

**PENGARUH RADIUS *PUNCH* TERHADAP *STRAIN RATIO*
PADA PROSES *DRY DEEP DRAWING* ALUMINIUM 6060
DENGAN *DIE KERAMIK***

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun oleh :

ENDRI W. HARJO WIGUNO
NIM. 0110620054 – 62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007

**PENGARUH RADIUS *PUNCH* TERHADAP *STRAIN RATIO*
PADA PROSES *DRY DEEP DRAWING* ALUMINIUM 6060
DENGAN *DIE KERAMIK***

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun oleh :

ENDRI W. HARJO WIGUNO
NIM. 0110620054 – 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

DOSEN PEMBIMBING I

DOSEN PEMBIMBING II

Sugiarto, ST.,MT.
NIP. 132 137 966

Ir. Tjuk Oerbandono, Msc.CSE.
NIP. 132 048 543

**PENGARUH RADIUS *PUNCH* TERHADAP *STRAIN RATIO*
PADA PROSES *DRY DEEP DRAWING* ALUMINIUM 6060
DENGAN *DIE KERAMIK***

Disusun oleh :

**ENDRI W. HARJO WIGUNO
NIM. 0110620054-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 23 Agustus 2007

DOSEN PENGUJI

Skripsi I

Skripsi II

**Ir. Wahyono Suprapto, MT.Met.
NIP. 131 574 846**

**Ir. Bambang Indrayadi, MT.
NIP. 131 653 469**

Komprehensif

**Ir. Abdul Hadi Djaelani
NIP. 130 518 942**

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 132 159 708**

RINGKASAN

ENDRI W. HARJO WIGUNO, 2007. Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2007 Pengaruh Radius Punch Terhadap Strain Ratio Pada Proses Dry Deep Drawing Aluminium 6060 Dengan Die Keramik. Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya. **Dosen Pembimbing I : Sugiarto, ST., MT., Dosen Pembimbing II : Ir. Tjuk Oerbandono M.Sc.CSE.**

Dalam proses *deep drawing* dibutuhkan adanya *drawing compound*, sehingga setelah proses *deep drawing* selesai perlu dilakukan proses tambahan untuk membersihkan *drawing compound* yang menempel pada produk. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi pemakaian *drawing compound* dalam proses *deep drawing* diantaranya pemakaian *die* yang berasal dari keramik, karena keramik memiliki sifat dan karakteristik yang baik. Dalam proses *deep drawing* yang tidak menggunakan *drawing compound* maka prosesnya disebut dengan *dry deep drawing*. *Dry deep drawing* mempunyai kelebihan *zero emission of lubricant*, *die* keramik merupakan salah satu pilihan yang dapat digunakan dalam *dry deep drawing*. Untuk mendapatkan *strain ratio* maka pada penelitian ini radius *punch* divariasikan karena *punch* mempengaruhi bentuk akhir produk yang dihasilkan.

Jenis mesin *deep drawing* yang dipakai dalam penelitian ini adalah mesin *deep drawing steady blank holder* dengan material uji *sheet aluminium 6060*. *Die* keramik dibuat dengan komposisi *feldsfar*, *kwarsa* dan *ball clay*. Variabel bebas pada penelitian ini adalah radius *punch* divariasikan 3 mm, 5 mm, 7 mm dan 9 mm. Sedangkan untuk variabel terikat adalah *strain ratio* dan parameter terkendalinya adalah radius *die*, *clearance* (kelonggaran), kedalaman, diameter dalam *die*, radius luar *die*, ketebalan awal *blank* dan diameter *punch*. Selanjutnya data yang diperoleh diolah menggunakan analisis kecukupan data dan analisis varian satu arah untuk mengetahui pengaruh radius *punch* terhadap *strain ratio* pada proses *dry deep drawing* aluminium 6060 dengan *die* keramik.

Dari penelitian didapat nilai *strain ratio* rata-rata terkecil diperoleh pada pengujian *deep drawing* aluminium 6060 dengan menggunakan radius *punch* 3 mm yaitu sebesar -0,83416 dan nilai *strain ratio* rata-rata terbesar diperoleh pada pengujian *deep drawing* aluminium 6060 dengan menggunakan radius *punch* 9 mm yaitu sebesar -0,92929. Tanda negatif menunjukkan adanya penyempitan.

Kata Kunci : Radius *punch*, *strain ratio*, *dry deep drawing*, *die* keramik.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Pengaruh Radius Punch terhadap Strain Ratio pada Proses Dry Deep Drawing Aluminium 6060 dengan Die Keramik**”. Penulis sadar bahwa banyak pihak yang telah membantu didalam pengerjaan karya tulis ilmiah ini. Untuk itu ucapan terima kasih yang tulus penulis haturkan kepada:

- Dr. Slamet Wahyudi ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Ir. Tjuk Oerbandono M.Sc.CSE., selaku sekretaris jurusan, dosen pembimbing II dan pembimbing akademik yang juga telah banyak memberikan sumbangan pemikiran, bimbingan dan masukan pada penulis.
- Ir. Djarot B. Darmadi MT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Sugiarto ST., MT., selaku dosen pembimbing I yang banyak memberikan bimbingan dan masukan pada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
- Ir. Wahyono Suprapto, MT.Met., selaku dosen pembimbing dalam pelaksanaan pengambilan data.
- Seluruh Staf Pengajar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Seluruh Staf Administrasi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Orang tua dan keluarga di Sidoarjo dan Aceh yang telah memberikan segalanya yang terbaik untuk penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
- Semua pihak yang secara langsung atau tidak langsung terutama Arek Mesin khususnya Angkatan 2001, *Deep Drawing Team*, Geng@22A yang telah membantu demi kelancaran pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, karena itu kritik dan saran sangat kami harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini.

Malang, Agustus 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 3
2.1 Penelitian Sebelumnya	3
2.2 Ruang Lingkup Teknologi Pengepresan Logam	3
2.3 Proses <i>Deep Drawing</i>	4
2.4 Komponen Utama <i>Die Set Deep Drawing</i>	5
2.5 Tahapan dan Kondisi Proses <i>Deep Drawing</i>	6
2.5.1 <i>Initial Contact</i> (kontak awal)	6
2.5.2 <i>Bending</i> (pembengkokan)	6
2.5.3 <i>Straightening</i> (pelurusan)	7
2.5.4 <i>Friction</i> (gesekan)	7
2.5.5 <i>Compression</i> (kompresi atau tekanan)	7
2.6 Variabel Proses <i>Deep Drawing</i>	8
2.6.1 <i>Bending</i> (pembengkokan) dan <i>Straightening</i> (pelurusan)	8
2.6.2 <i>Friction</i> (gesekan)	8
2.6.3 <i>Compression</i> (kompresi atau tekanan)	9
2.7 Variabel Proses <i>Deep Drawing</i> yang lain	10
2.7.1 Kelonggaran (<i>clearance</i>)	10
2.7.2 <i>Strain ratio</i> (β)	10

2.7.3 Drawability	11
2.7.4 Diameter Blank	11
2.8 Komponen Deformasi pada Proses <i>Deep Drawing</i>	12
2.8.1 Regangan pada Proses <i>Deep Drawing</i>	12
2.8.2 Tegangan pada Proses <i>Deep Drawing</i>	14
2.8.2.1 Tegangan Radial pada <i>Flange</i> (σ_r)	14
2.8.2.2 Tegangan Tangensial pada <i>Flange</i> (σ_t)	16
2.8.2.3 Tegangan Aksial pada Dinding <i>Cup</i> (σ_a)	16
2.8.2.4 Tegangan dan Gaya <i>Bending</i>	17
2.8.3 Tekanan <i>Blank Holder</i>	19
2.9 Dasar Perhitungan Proses <i>Blanking</i>	19
2.10 Dasar Perhitungan Variabel <i>Deep Drawing</i>	21
2.10.1 Radius <i>Punch</i>	21
2.10.2 Radius <i>Die</i>	21
2.10.3 <i>Limiting Drawing Ratio</i> dan <i>Drawing Ratio</i>	21
2.10.4 Kelonggaran (<i>clearance</i>)	21
2.11 Aluminium	22
2.11.1 Sifat-sifat Bahan Aluminium	22
2.11.2 Aluminium 6060	23
2.11.3 Pengujian Tarik <i>Sheet Aluminium</i> 60660	23
2.12 Keramik	24
2.12.1 Keramik Tradisional	25
2.12.2 Keramik Industri	27
2.13 Hipotesis	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Metode Penelitian	29
3.2 Variabel dan Parameter Penelitian	29
3.3 Bahan dan Peralatan Penelitian	29
3.4 Prosedur Penelitian	30
3.4.1 Prosedur Umum	30
3.4.2 Prosedur Percobaan	32
3.5 Rancangan Penelitian	32
3.6 Analisis Statistik	32

3.6.1 Analisis Kecukupan Data	32
3.6.2 Analisis Varian Satu Arah	34
3.7 Geometri <i>Blank</i>	36
3.8 Diagram Alir Penelitian	37
 BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN	 38
4.1 Perhitungan Parameter <i>Deep Drawing</i>	38
4.1.1 Perhitungan <i>Blank</i>	38
4.2 Data Pengujian <i>Sheet Aluminium 6060</i>	40
4.2.1 Data Hasil Uji Tarik Aluminium 6060	40
4.3 Perhitungan Regangan dan Tegangan	41
4.3.1 Perhitungan Regangan Proses <i>Deep Drawing</i>	41
4.3.2 Perhitungan Tegangan Proses <i>Deep Drawing</i>	42
4.3.3 Perhitungan <i>Limiting Drawing Ratio</i> dan <i>Drawing Ratio</i>	43
4.4 Analisis Statistik	44
4.4.1 Data Hasil Pengujian <i>Deep Drawing Aluminium 6060</i>	44
4.4.2 Analisis Kecukupan Data	44
4.4.3 Analisis Varian Satu Arah	47
4.5 Grafik dan Pembahasan	49
4.5.1 Analisis Hubungan antara Radius <i>Punch</i> terhadap <i>Strain Ratio</i> ..	49
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	 53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN - LAMPIRAN**

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	<i>Clearance</i> (kelonggaran) untuk Bermacam-Macam Jenis Material	21
Tabel 2.2	Ukuran Spesimen Standar Pengujian Tarik ASTM B 557M.....	23
Tabel 2.3	Material Properties Keramik Industri dan Aplikasinya	27
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian.....	32
Tabel 3.2	Analisis Kecukupan Data	33
Tabel 3.3	Nilai k.	33
Tabel 3.4	Analisis Varian Satu Arah.	35
Tabel 4.1	Perhitungan Diameter <i>Blank</i> Awal	39
Tabel 4.2	Data Hasil Uji Tarik Aluminium 6060	40
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Tegangan Ideal dan Regangan Ideal Aluminium 6060. 40	40
Tabel 4.4	Perhitungan Regangan dengan Radius <i>Punch</i> 3, 5, 7 dan 9 mm	42
Tabel 4.5	Perhitungan Tegangan dengan Radius <i>Punch</i> 3, 5, 7 dan 9 mm	44
Tabel 4.6	Data Hasil Pengujian <i>Deep Drawing</i> Aluminium 6060	44
Tabel 4.7	Analisis Kecukupan Data <i>Strain Ratio</i> dengan Radius <i>Punch</i> 3 mm	44
Tabel 4.8	Hasil Analisis Kecukupan Data Semua Variasi Radius <i>Punch</i>	46
Tabel 4.9	Tabel Analisis Varian Satu Arah	48



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram Tegangan – Regangan.....	4
Gambar 2.2	<i>Blank dan Draw piece</i>	4
Gambar 2.3	Ilustrasi Proses <i>Deep Drawing</i> dan Koordinat Aksisnya.....	5
Gambar 2.4	Bagian Utama <i>Die Set Deep Drawing</i>	5
Gambar 2.5	Kontak Awal dalam <i>Deep Drawing</i>	6
Gambar 2.6	<i>Bending</i> pada Permulaan Proses <i>Deep Drawing</i>	6
Gambar 2.7	Langkah Pelurusan dalam <i>Deep Drawing</i>	7
Gambar 2.8	Arah Kompresi dalam <i>Deep Drawing</i>	7
Gambar 2.9	Tarikan pada Dinding dan Bentuk Deformasi Lainnya pada <i>Cup</i>	8
Gambar 2.10	Regangan pada <i>Grid Lingkaran</i>	11
Gambar 2.11	Parameter Perhitungan yang Digunakan dalam <i>Deep Drawing</i>	12
Gambar 2.12	Tahap <i>Deep Drawing</i> dan Tegangan dalam <i>Deep Drawing</i>	12
Gambar 2.13	Kondisi Gesekan pada Radius <i>Die</i>	16
Gambar 2.14	Hubungan Geometris <i>Bending</i> dan <i>Unbending</i> pada Radius <i>Die</i>	17
Gambar 2.15	Potongan Melintang <i>Draw piece</i>	20
Gambar 2.16	Persamaan untuk Menghitung Luas Permukaan <i>Draw Piece</i>	20
Gambar 2.17	Spesimen Standar Pengujian Tarik ASTM B 557M.....	23
Gambar 3.1	<i>Die Keramik</i>	30
Gambar 3.2	<i>Draw piece</i> yang Direncanakan.....	31
Gambar 3.3	Mesin <i>Deep Drawing</i>	31
Gambar 3.4	<i>Blank</i> yang Direncanakan	31
Gambar 3.5	Spesifikasi Geometri <i>Blank</i> yang Digunakan	36
Gambar 3.6	Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 4.1	Spesifikasi Luas <i>Disc</i>	38
Gambar 4.2	Spesifikasi Luas <i>Cylinder</i>	38
Gambar 4.3	Spesifikasi Luas <i>Fillet</i>	39
Gambar 4.4	Spesifikasi Luas Total dan Diameter <i>Blank</i> Awal	39
Gambar 4.5	Grafik Hubungan antara Radius <i>Punch</i> terhadap <i>Strain Ratio</i>	49
Gambar 4.6	Grafik Hubungan antara Radius <i>Punch</i> dengan Tegangan Radial, Aksial dan <i>Bending</i>	50

Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara Radius *Punch* dengan Tegangan Tangensial 51



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	: Data Perubahan <i>Grid</i> Lingkaran, Data Penghitungan <i>Major Strain</i> dan <i>Minor Strain</i> serta Data Penghitungan <i>Strain Ratio</i> setelah Proses <i>Deep Drawing</i>	54
Lampiran 2	: Gambar Perencanaan <i>Die</i> Keramik dan <i>Draw Piece</i>	58
Lampiran 3	: Foto Alat Penelitian	60
Lampiran 4	: Foto <i>Punch</i> dan <i>Die</i> Keramik	61
Lampiran 5	: Foto <i>Draw Piece</i>	62
Lampiran 6	: Spesifikasi Aluminium 6060	63



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Deep drawing adalah suatu proses pembentukan logam, dimana *blank* atau benda kerja ditahan oleh *blank holder* kemudian ditekan oleh *punch* ke dalam melalui *die* untuk membentuk komponen berlembah (*hollow*) (Lange, Kurt. 1996: 20.3). Dalam proses *deep drawing* dibutuhkan adanya *drawing compound*, sehingga setelah proses *deep drawing* selesai perlu dilakukan proses tambahan untuk membersihkan *drawing compound* yang menempel pada produk. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi pemakaian *drawing compound* dalam proses *deep drawing* diantaranya pemakaian *die* yang berasal dari keramik, karena keramik memiliki sifat dan karakteristik yang baik. Dalam proses *deep drawing* yang tidak menggunakan *drawing compound* maka prosesnya disebut dengan *dry deep drawing* (Kataoka, S., et al. 2005).

Dalam proses *deep drawing* benda kerja biasa disebut dengan *blank* dan produk dari proses *deep drawing* disebut dengan *cup*. Pada proses *deep drawing* terjadi tarikan dan tekanan sehingga menyebabkan *blank* mengalami peregangan. Ada beberapa variabel yang mempengaruhi *deep drawing* seperti: radius *punch*, radius *die*, *strain ratio*, dan lain-lain (Eary, F. Donald. 1974: 100). Dan variabel yang berkaitan dengan peregangan adalah *strain ratio*. *Strain ratio* adalah kemampuan *blank* untuk mengalami peregangan. Dengan menganalisa *strain ratio* akan memungkinkan untuk menganalisa distribusi, nilai dan arah regangan pada *blank*. Selain itu analisa yang berkaitan dengan distribusi regangan diperoleh lebih cepat karena pengesetan alat lebih mudah dilakukan. Aplikasi dari metode ini banyak terdapat pada tangki bahan bakar otomotif, perabotan rumah tangga seperti bak cuci dari bahan logam, industri makanan dan minuman seperti kaleng minuman, pada industri pertahanan seperti selongsong peluru, dan lain-lain (Bagger, C., et. al. 2004: 2). Untuk mendapatkan *strain ratio* maka pada penelitian ini radius *punch* divariasikan karena *punch* mempengaruhi bentuk akhir produk yang dihasilkan. *Punch* adalah komponen pada mesin *deep drawing* yang bergerak ke bawah untuk meneruskan gaya dari sumber tenaga sehingga *blank* tertekan ke bawah sedangkan radius *punch* adalah lekukan (*fillet*) yang terdapat pada ujung *punch*.

Dari uraian tersebut, menjadi menarik untuk dikaji tentang pengaruh radius *punch* terhadap *strain ratio* pada proses *dry deep drawing* aluminium 6060 dengan *die* keramik.



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan diteliti dalam skripsi ini adalah bagaimana pengaruh radius *punch* terhadap *strain ratio* pada proses *dry deep drawing* aluminium 6060 dengan *die* keramik?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah maka perlu ditetapkan batasan-batasan masalah antara lain:

1. Spesimen uji yang digunakan adalah aluminium 6060 dan tidak diterapkan perlakuan panas pada tiap-tiap spesimen uji.
2. Dalam pengambilan data yang divariasi adalah radius *punch* dengan variasi 3 mm, 5 mm, 7 mm, dan 9 mm.
3. Lingkup penelitian adalah proses *dry deep drawing* dengan *sheet* dari aluminium 6060 pada suhu ruang, sedangkan konstruksi dan mekanisme dari mesin press serta proses pembentukan *die* keramik tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian, selain itu koefisien gesek pada penelitian ini dianggap konstan.
4. Dalam penelitian ini digunakan mesin *deep drawing* dengan sistem *steady blank holder*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan radius *punch* terhadap *strain ratio* pada proses *dry deep drawing* aluminium 6060 dengan *die* keramik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui karakteristik perbedaan radius *punch* terhadap *strain ratio* pada proses *dry deep drawing* aluminium 6060 dengan *die* keramik.
2. Mengetahui manfaat dan penggunaan keramik sebagai *die*, serta dapat memberikan sumbangsih bagi pengembangan teknologi ramah lingkungan.
3. Sebagai sumbangsih bagi industri manufaktur dan referensi penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan teknologi pembentukan logam terutama dengan proses *dry deep drawing*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

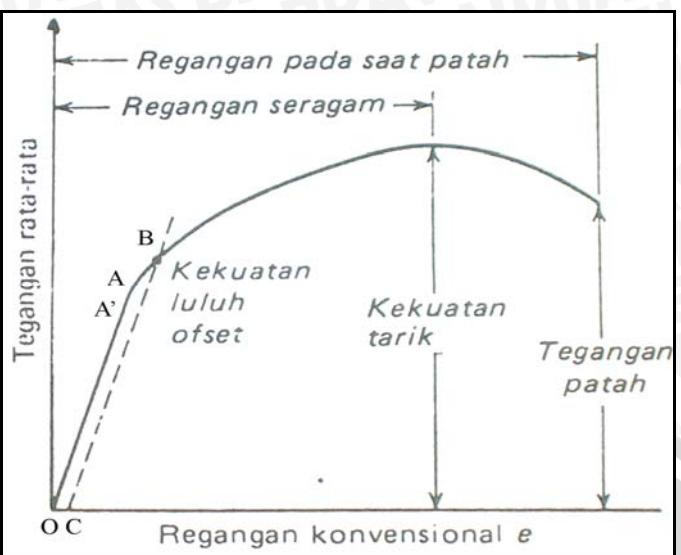
2.1 Penelitian Sebelumnya.

Kataoka, S., et. al. 2005. Meneliti pemakaian keramik sebagai *die* pada proses *deep drawing*, karena keramik mempunyai sifat dan karakteristik tertentu (sifat licin dan halus pada permukaannya). Hasil penelitian tersebut adalah *die* keramik mempengaruhi *Limiting Drawing Ratio* dari *deep drawing* dengan $LDR(\text{SiC}) > LDR(\text{Si}_3\text{N}_4) > LDR(\text{Al}_2\text{O}_3) > LDR(\text{ZrO}_2)$ sedangkan gaya *drawing* tidak mengalami perubahan yang nyata sampai dengan 100 kali proses *drawing*, *die* keramik untuk *drawing* dapat digunakan dengan sukses pada aluminium dan tembaga tapi gagal pada titanium. Sedangkan kekasaran permukaan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah proses *drawing* kecuali pada *die* keramik jenis Al_2O_3 dan SiC .

Setyafanani, A. Hasnan. 2006. Menyatakan *dry deep-drawing* mempunyai kelebihan *zero emission of lubricant* namun umumnya sulit untuk dilakukan pada lembaran logam, *die* keramik merupakan salah satu pilihan yang dapat digunakan dalam *dry deep drawing*, karena keramik dapat menggantikan pelumas yang merupakan polutan bagi tanah dan air. Untuk mengevaluasi bentuk *die*, digunakan radius *die* dan kedalaman *drawing* sebagai variabel bebas untuk mengetahui pengaruhnya terhadap gaya, dan kemampuan *drawing sheet metal*. *Sheet metal* yang digunakan untuk *blank* dalam penelitian adalah aluminium 6060. Dari penelitian diperoleh bahwa penambahan radius *die* akan mengurangi gaya *drawing* yang dibutuhkan sedangkan penambahan kedalaman *drawing* diikuti oleh meningkatnya gaya *drawing* yang dibutuhkan.

2.2 Ruang Lingkup Teknologi Pengepresan Logam

Proses pengepresan digunakan dalam berbagai bidang rekayasa seperti otomotif, rumah tangga, dan pengepakan, pada umumnya bahan dasar yang dipakai adalah lembaran logam (*sheet metal*). Proses pengepresan sering disebut juga dengan *cold stamping*. Proses pengepresan secara garis besar di bagi dalam dua bagian yaitu proses pemotongan dan proses pembentukan. Pada proses pemotongan gaya yang diberikan ke material sudah melalui *ultimate tensile* (gambar 2.1) sedang untuk proses pembentukan gaya yang diberikan tidak sampai melampaui *ultimate tensile* namun pada daerah plastis material sehingga saat gaya dilepas material yang terdeformasi tidak kembali pada bentuknya semula.

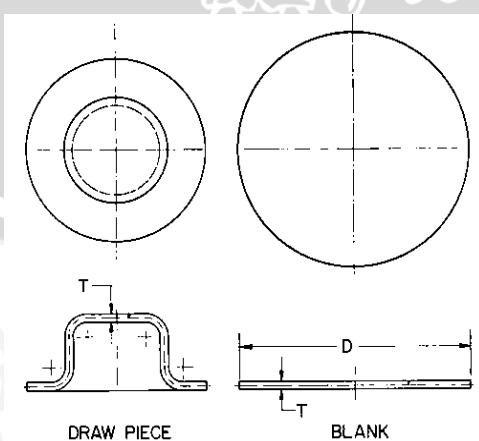


Gambar 2.1. Diagram Tegangan – Regangan

Sumber: Dieter, George E. 1992: 9

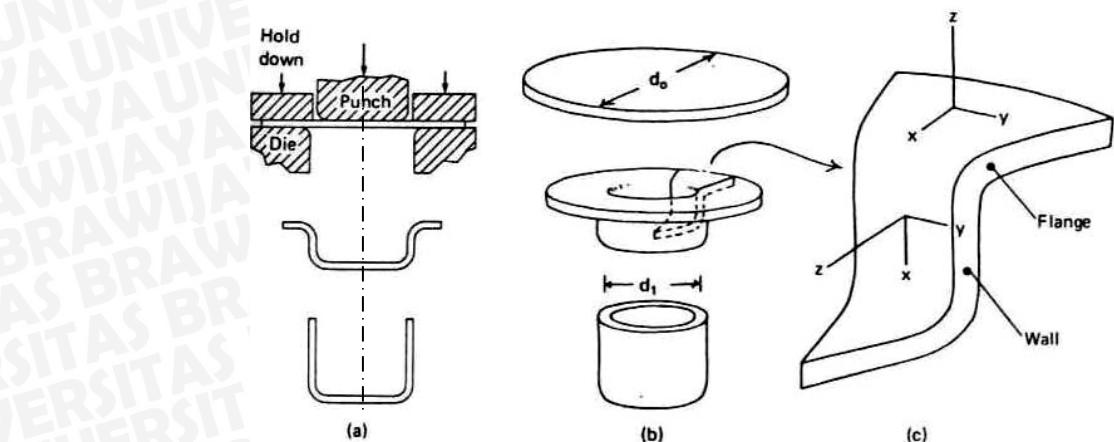
2.3 Proses Deep Drawing

Deep drawing adalah suatu proses pembentukan logam, dimana *blank* atau benda kerja ditahan oleh *blank holder* kemudian ditekan oleh *punch* ke dalam melalui *die* untuk membentuk komponen berlembah (*hollow*) (Lange, Kurt. 1996: 20.3). Pada penelitian kali ini proses *deep drawing* dilakukan dengan menggunakan *die* keramik dan prosesnya dilakukan tanpa menggunakan pelumas sehingga disebut dengan proses *dry deep drawing* (Kataoka, S., et. al. 2005). Bahan dasar dari proses *deep drawing* adalah lembaran logam (*sheet metal*) yang disebut dengan *blank*. Produk dari hasil proses *deep drawing* disebut dengan *draw piece*. Gambar 2.2 dan 2.3 menunjukkan bentuk *blank*, *draw piece* serta koordinat sumbu yang akan digunakan sebagai acuan dalam perhitungannya.



Gambar 2.2. Blank dan Draw Piece

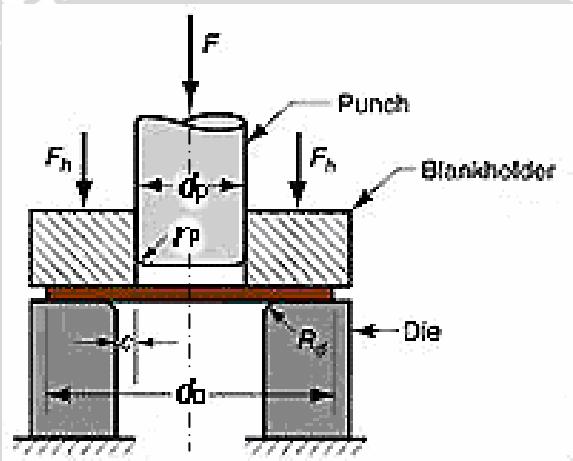
Sumber: Ostergaard, D. Eugene. 1967: 131



Gambar 2.3. Ilustrasi Proses *Deep Drawing* dan Koordinat Aksisnya

Sumber: Hosford, W. F. dan Caddell, R.M. 1993: 287

2.4 Komponen Utama *Die Set Deep Drawing*



Gambar 2.4. Bagian Utama *Die Set Deep Drawing*

Sumber: Midraj, M. 2005: 2

Pada gambar 2.4 dalam satu unit *die set deep drawing* terdapat komponen utama yaitu:

1. **Blank holder**

Blank holder berfungsi untuk memegang *blank*, meskipun demikian *blank* harus tetap dapat bergerak saat proses *deep drawing* dilakukan, sebab saat proses *deep drawing* berlangsung *blank* yang dijepit oleh *blank holder* akan bergerak ke arah pusat sesuai dengan bentuk dari *die*.

2. **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 *deep drawing*.

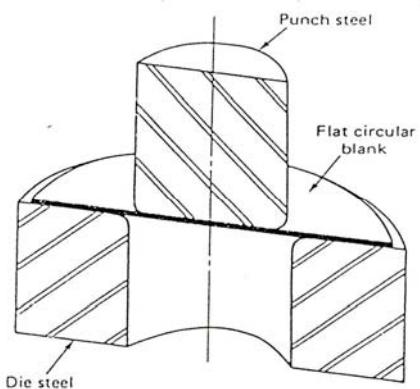
3. Die

Die merupakan komponen utama yang berperan dalam menentukan bentuk akhir dari *draw piece*, bentuk dan ukuran *die* bervariasi sesuai dengan bentuk akhir yang diinginkan. *Die* memiliki radius tertentu (radius *die*) yang berfungsi mempermudah reduksi benda saat proses deformasi berlangsung, dengan adanya jari-jari diharapkan tidak terjadi sobek pada material yang akan dideformasi.

2.5 Tahapan dan Kondisi Proses *Deep Drawing*

2.5.1 Initial contact (kontak awal)

Tahap dimana *punch* digerakkan hingga menyentuh permukaan *blank* tetapi belum terjadi proses penekanan.

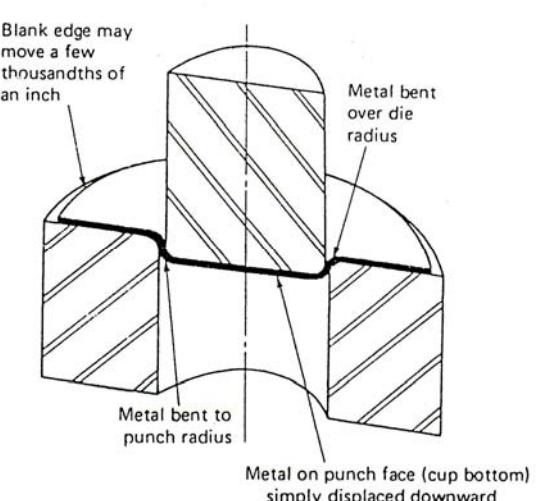


Gambar 2.5. Kontak Awal dalam *Deep Drawing*

Sumber: Eary, F. Donald. 1974: 101

2.5.2 Bending (pembengkokan)

Pada tahap ini *blank* dibengkokan sepanjang radius *punch*, dan bagian yang berdekatan dengannya akan dibengkokan melewati radius *die*, seperti pada gambar 2.6.

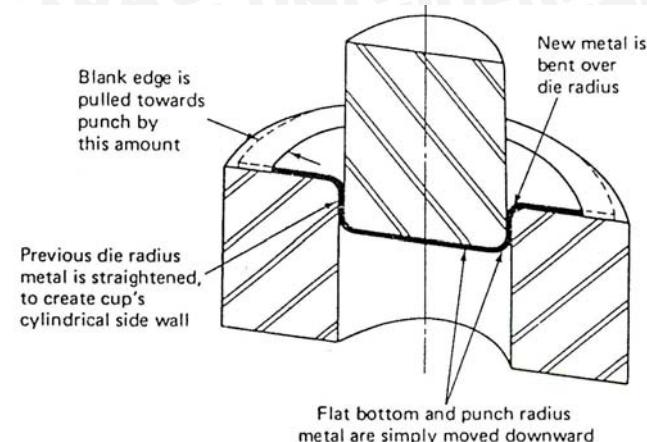


Gambar 2.6. Bending pada Permulaan Proses *Deep Drawing*

Sumber: Eary, F. Donald. 1974: 102

2.5.3 Straightening (pelurusan)

Bagian yang telah dibengkokan oleh *punch* akan bergerak seiring dengan pergerakan dasar *cup*. Pada tahap ini terjadi kondisi pelurusan kembali bagian logam yang sebelumnya telah dibengkokan diatas radius *die* seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Langkah Pelurusan dalam *Deep Drawing*

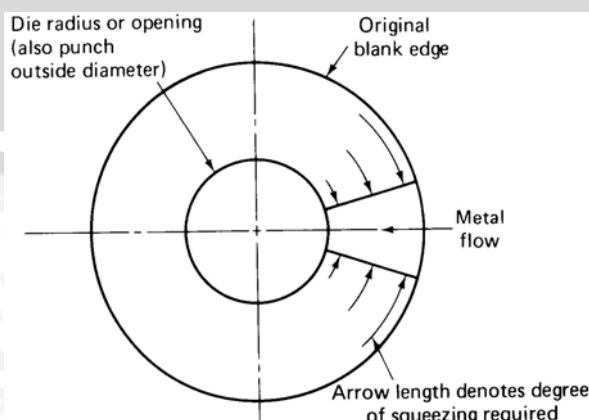
Sumber: Eary, F. Donald. 1974: 103

2.5.4 Friction (gesekan)

Pada tahap ini *blank* akan mengalami *friction* (gesekan). Gesekan tersebut terjadi pada *blank* dengan permukaan *die*, juga terjadi antara *blank holder* dan permukaan *blank*. Disini terdapat gesekan statis yang terjadi pada saat sebuah benda memulai luncuran dan gesekan dinamis yang terjadi pada saat benda tersebut sedang meluncur.

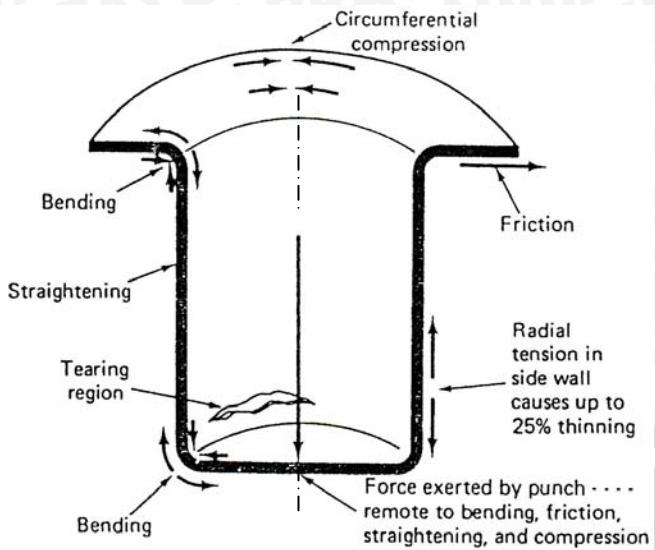
2.5.5 Compression (kompresi atau tekanan) dan tension (tarikan)

Kompresi terjadi selama tepi *blank* bergerak ke tengah, tepi *blank* akan mengalami pengurangan di sepanjang kelilingnya. Pada saat *punch* bergerak ke bawah juga terjadi kompresi dan tarikan pada *blank* sesuai dengan gambar 2.8 dan gambar 2.9.



Gambar 2.8. Arah Kompresi dalam *Deep Drawing*

Sumber: Eary, F. Donald. 1974: 105



Gambar 2.9. Tarikan pada Dinding dan Bentuk Deformasi Lainnya pada *Cup*

Sumber: Eary, F. Donald. 1974: 106

2.6 Variabel Proses *Deep Drawing*

Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan dan merupakan variabel yang mempengaruhi proses *deep drawing* adalah:

2.6.1 *Bending* (pembengkokan) dan *Straightening* (pelurusian)

Variabel ini terjadi pada saat *blank* dibengkokan (*bending*) dan diluruskan sepanjang sisi dinding dalam *die* (*straightening*). Adapun variabel yang mempengaruhi proses ini adalah:

a. Radius *punch*

Radius *punch* disesuaikan dengan radius *die*, radius *punch* akan mempengaruhi bentuk akhir produk *deep drawing*. Radius *punch* yang tajam berarti memperbesar gaya *bending*.

b. Radius *die*

Radius *die* disesuaikan dengan bentuk produk *deep drawing* yang akan dihasilkan. Semakin tajam radius *die* maka akan memperbesar gaya *bending*.

2.6.2 *Friction* (gesekan)

Friction (gesekan) terjadi antara permukaan *punch* dengan *blank*, *die* dengan *blank*, *blank holder* dengan *blank*. Gesekan mempengaruhi produk yang dihasilkan. Adapun faktor yang mempengaruhi gesekan adalah:

a. Pelumasan

Pelumasan digunakan dengan tujuan menurunkan koefisien gesekan antara permukaan material yang bersinggungan.

b. Gaya *Blank Holder*

Fungsi dari gaya *blank holder* adalah untuk mengontrol gerakan *blank* pada saat gaya *drawing* bekerja sehingga kemungkinan cacat pada benda kerja dapat dikurangi. Jika gaya *blank holder* semakin tinggi maka dapat meningkatkan gesekan yang terjadi, sehingga aliran material tidak sempurna dan dapat menyebabkan terjadinya cacat pada *blank*.

c. Kekasaran Permukaan *Blank, Punch, Die* dan *Blank Holder*

Permukaan *blank*, *punch*, *die* dan *blank holder* yang semakin kasar menimbulkan koefisien gesek semakin tinggi sehingga gesekan yang terjadi juga semakin meningkat.

2.6.3 *Compression* (kompresi atau tekanan)

Variabel *compression* (tekanan) timbul setelah proses *straightening* (pelurusian) dan *tension* (tarikan). Variabel dalam kategori ini adalah:

a. *Ultimate Tensile* atau kekuatan tarik

Tegangan maksimum material akan menentukan kemampuan material untuk dibentuk dalam beraneka ragam bentuk dan tidak mengalami cacat. Sedangkan material dengan tegangan maksimum yang kecil akan mudah cacat dan berkerut

b. *Limiting Drawing Ratio* (β_{maks})

Limiting drawing ratio (β_{maks}) adalah nilai yang menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk di-*deep drawing*. Nilai *LDR* dipengaruhi antara lain oleh tegangan alir material, efisiensi deformasi dan *ultimate tensile* material.

c. Keuletan *Blank*

Blank yang semakin ulet akan mudah untuk dibentuk dan tidak mudah mengalami sobek.

d. Ketebalan *Blank*

Ketebalan *blank* berkaitan dengan kemampuan *blank* menahan *compression* (tekanan). *Blank* yang tebal dibutuhkan gaya tekan yang besar sebaliknya *blank* yang tipis dibutuhkan pula gaya tekan yang kecil.

e. *Temperature* atau Suhu

Semakin tinggi temperatur material maka akan semakin mudah untuk dibentuk atau di-*deep drawing*.

2.7 Variabel Proses *Deep Drawing* yang Lain

2.7.1 Kelonggaran (*clearance*)

Kelonggaran atau *clearance* adalah jarak atau celah antara *punch* dan *die* untuk memudahkan gerakan *blank* saat proses *drawing*. Jika *clearance* terlalu besar, akan menyebabkan kerutan pada *draw piece* dan jika terlalu kecil, maka dapat terjadi sobek pada *draw piece*.

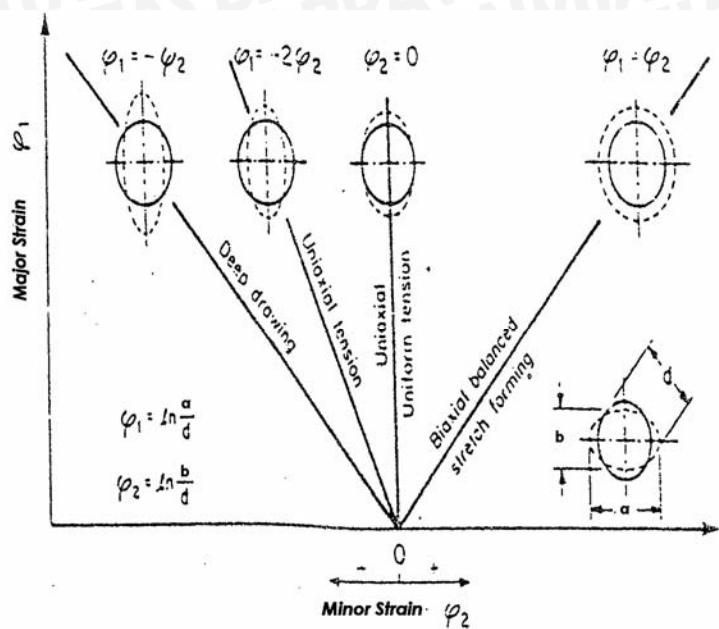
2.7.2 Strain Ratio (β)

Adalah ketahanan *blank* untuk mengalami peregangan atau penipisan. Jika *blank* memiliki rasio regangan yang tinggi, maka kemungkinan terjadinya cacat atau sobek akan semakin kecil (Eary, F. Donald. 1974: 110). *Strain ratio* identik dengan φ_1 / φ_2 dimana φ_1 adalah regangan mayor (*major strain*) dan φ_2 regangan minor (*minor strain*). Untuk mengukur φ_1 dan φ_2 digunakan metode dengan menggunakan *grid* lingkaran-lingkaran kecil yang digoreskan pada permukaan *blank*. *Grid* lingkaran akan berubah bentuk sesuai dengan jenis beban atau proses pembentukannya (Bagger, C., et al. 2004: 3), seperti pada gambar 2.10. Pola *grid* biasanya dibentuk dari lingkaran-lingkaran kecil. Kelebihan menggunakan *grid* lingkaran adalah *grid* tersebut dapat berubah menjadi elips selama proses deformasi dan sumbu-sumbunya melambangkan arah dari regangan utama. Nilai β , φ_1 dan φ_2 didapatkan setelah dilakukan proses *deep drawing* dan dihitung dengan menggunakan rumus (Bagger, C., et al. 2004: 3):

$$\beta = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \quad \text{dan} \quad \varphi_1 = \ln \frac{a}{d} \quad \varphi_2 = \ln \frac{b}{d} \quad (2.1)$$

dengan: β = strain ratio
 φ_1 = major strain
 φ_2 = minor strain





Gambar 2.10. Regangan pada Grid Lingkaran

Sumber: Bagger, C., et al. 2004: 3

Strain ratio merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi proses *deep drawing* disamping variabel-variabel lainnya seperti gaya *blank holder*, kedalaman *deep drawing*, dan lain-lain. Dengan menganalisa *strain ratio* akan memungkinkan untuk menganalisa distribusi, nilai dan arah regangan pada *blank*. Selain itu analisa yang berkaitan dengan distribusi regangan diperoleh lebih cepat karena pengesetan alat lebih mudah dilakukan. Aplikasi dari metode ini misalnya terdapat pada industri otomotif seperti pada tangki bahan bakar; pada perabotan rumah tangga seperti bak cuci dari bahan logam; pada industri makanan dan minuman seperti kaleng, kaleng minuman; pada industri pertahanan seperti selongsong peluru; dan lain-lain.

2.7.3 Drawability

Adalah kemampuan material untuk dilakukan proses *deep drawing* tanpa mengalami kegagalan. Nilai *drawability* ditentukan dengan nilai *Limiting Drawing Ratio* (LDR), yang merupakan batas dimana bila material mengalami proses penarikan melebihi nilai limitnya akan mengalami *cracking*.

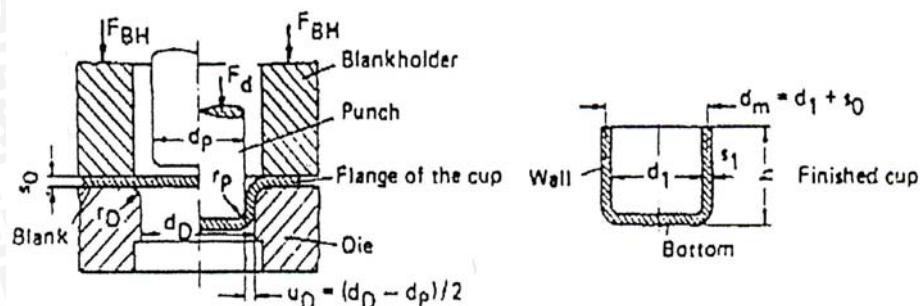
2.7.4 Diameter Blank

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

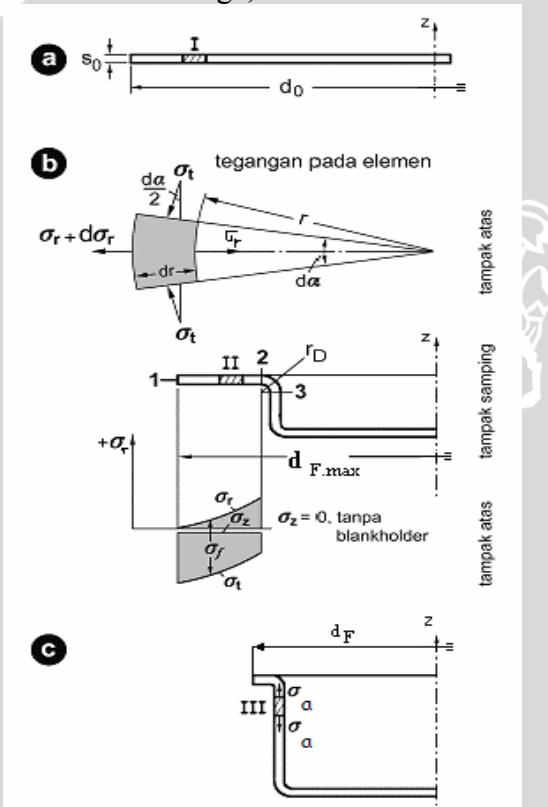


2.8 Komponen Deformasi Pada Proses Deep Drawing

Gambar 2.11 menunjukkan skema perkakas dan *draw piece* pada *first draw* dengan parameter perhitungan yang akan digunakan pada pembahasan selanjutnya mengenai komponen hasil deformasi serta variabel *deep drawing*.



Gambar 2.11. Parameter Perhitungan yang Digunakan dalam *Deep Drawing*
Sumber: Lange, Kurt. 1996: 20.4



Gambar 2.12. Tahap *Deep Drawing* dan Tegangan dalam *Deep Drawing*
(a) tahap awal (b) tahap pertengahan, dan (c) *cup* yang hampir selesai
Sumber: Lange, Kurt. 1996: 20.5

2.8.1 Regangan pada Proses Deep Drawing

Untuk menentukan regangan, digunakan titik 1, 2 dan 3 pada gambar 2.12b, maka terlebih dahulu ukuran diameter luar *flange* pada saat pembebahan maksimum yang dinotasikan dengan $d_{F,max}$. Dimana menurut Siebel dan Beiswanger nilai:

$$d_{F,max} \approx 0,77d_0 \quad (2.2)$$



Setelah diketahui ukuran diameter pada pembebangan maksimum, maka regangan pada masing-masing titik pun dapat diketahui. Dan regangan di titik 1 dihitung dengan persamaan (Lange, Kurt. 1996: 20.9):

$$\varphi_{\max,1} = |\varphi_1| = -\ln \left(\frac{d_{F,\max}}{d_0} \right) \quad (2.3)$$

dengan: $\varphi_{\max,1}$ = regangan terbesar titik 1

φ_1 = regangan tangensial titik 1

$d_{F,\max}$ = diameter luar *flange* pada saat pembebangan maksimum (mm)

Regangan pada titik 2, $\varphi_{\max,2}$, pada beban maksimum adalah (Lange, Kurt. 1996: 20.9):

$$\varphi_{\max,2} = |\varphi_2| = \ln d_1 - \ln(d_D + 2r_D) \quad (2.4)$$

$$\varphi_{\max,2} = \ln \frac{\sqrt{d_1^2 + (d_D + 2r_D)^2} - d_{F,\max}}{d_D + 2r_D} \quad (2.5)$$

dengan: $\varphi_{\max,2}$ = regangan terbesar titik 2

φ_2 = regangan tangensial titik 2

Dalam *bending*, kenaikan regangan, ε_s , dapat ditentukan dari radius *bending*, r_D , serta ketebalan, s_0 (Lange, Kurt. 1996: 20.10):

$$\varepsilon_s = \frac{s_0}{2r_D + s_0} \quad (2.6)$$

Karena distribusi regangan adalah linier sepanjang ketebalan *blank*, regangan *bending* rata-rata $\bar{\varepsilon}$ pada potongan melintang tersebut adalah (Lange, Kurt. 1996: 20.10):

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_s}{2} \quad (2.7)$$

Karena benda kerja mengalami dua kali *bending* pada daerah radius *die* sehingga regangan *bending* total rata-rata adalah (Lange, Kurt. 1996: 20.10):

$$\bar{\varepsilon}_{\text{tot}} = 2\bar{\varepsilon} = \varepsilon_s \quad (2.8)$$

dengan: $\bar{\varepsilon}_{\text{tot}}$ = regangan *bending* total rata-rata setelah *unbending*

$\bar{\varepsilon}$ = regangan *bending* rata-rata

ε_s = regangan serat luar *blank*

Apabila dihubungkan dengan regangan ideal, maka persamaan yang diperoleh adalah (Lange, Kurt. 1996: 20.10):



$$\varphi_{\text{tot}} = \ln(1 + \bar{\varepsilon}_{\text{tot}}) \quad (2.9)$$

Dengan menggunakan hasil tersebut, regangan di titik 3 $\varphi_{\max,3}$ pada beban maksimum dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini (Lange, Kurt. 1996: 20.10):

$$\varphi_{\max,3} = \varphi_{\text{tot}} + \varphi_{\max,2} \quad (2.10)$$

dengan: $\varphi_{\max,3}$ = regangan terbesar titik 3

φ_{tot} = regangan total

$\varphi_{\max,2}$ = regangan terbesar titik 2

2.8.2 Tegangan pada Proses Deep Drawing

Selama gerakan logam menuju *die*, elemen akan mengalami tegangan tarik ke arah pusat (tegangan radial) dan tegangan kompresi ke arah melingkar (tegangan tangensial), pada saat melewati radius *die*, material akan mengalami proses *bending* dan pelurusan.

Pembahasan yang akan dilakukan mengacu pada gambar 2.12. Dimana sebuah elemen kecil bervolume yang terletak di posisi I pada *blank* sebelum *deep drawing* dimulai, berpindah ke posisi II ketika *punch* bergerak kebawah, dan akhirnya mencapai posisi III pada dinding *cup*. Sepanjang pergerakannya, elemen tersebut mengalami tegangan tarik pada arah radial dan tegangan kompresi pada arah sirkumferensial. Sehingga elemen itu merentang (*stretch*) secara radial dan terkompresi secara tangensial. Selain itu, *bending* juga turut berperan ketika elemen tersebut berpindah dari *flange* diatas radius *die* menuju dinding *cup*. Arah sumbu koordinat yang tegak lurus terhadap permukaan disesuaikan dengan posisi perhitungannya, pada *flange* (sumbu z) atau pada dinding (sumbu x).

2.8.2.1 Tegangan Radial Pada *Flange* (σ_r)

Dengan mengabaikan terjadinya gesekan, kondisi kesetimbangan ke arah radial pada *flange* dalam gambar 2.12b dapat dituliskan dengan persamaan (Lange, Kurt. 1996: 20.4):

$$(\sigma_r + d\sigma_r)(r + dr)d\alpha \cdot s_0 - \sigma_r \cdot r \cdot d\alpha \cdot s_0 + 2|\sigma_t| \cdot s_0 \cdot dr \cdot \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) = 0 \quad (2.11a)$$

Karena sudut α terlalu kecil dan syarat-syarat diferensial pada persamaan (2.11a) mendekati nol, maka $\sin(d\alpha/2) = da/2$ dan hasil hubungan diferensialnya diabaikan. Sehingga persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi (Lange, Kurt. 1996: 20.4):

$$d\sigma_r = -(\sigma_r + |\sigma_t|) \frac{dr}{r} \quad (2.11b)$$



Dari kriteria *yield* Tresca dengan faktor koreksinya menyatakan bahwa:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 1,1 \cdot \sigma_f \quad (2.12)$$

Karena $\sigma_1 = \sigma_r$ dan $\sigma_3 = -\sigma_t$ dengan σ_r adalah tegangan tarik (positif) sedangkan σ_t adalah tegangan kompresif (negatif), sehingga persamaan itu berubah menjadi:

$$\sigma_r + |\sigma_t| = 1,1 \cdot \sigma_{f,m,I} \quad (2.13)$$

Apabila persamaan (2.11b) dan (2.12) digabungkan, akan diperoleh persamaan:

$$d\sigma_r = -1,1 \cdot \sigma_{f,m,I} \frac{dr}{r} \quad (2.14)$$

Tegangan radial pada *flange* dapat diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan (2.14) dari radius luar *flange* R sampai dengan radius dalam r .

$$\int_{\sigma_r=0}^{\sigma_r} d\sigma_r = -1,1 \cdot \int_{r=R}^r \sigma_{f,m,I} \frac{dr}{r} \quad (2.15a)$$

atau,

$$\sigma_r(r) = 1,1 \cdot \sigma_{f,m,I} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) \quad (2.15b)$$

dengan: R = radius luar *flange* pembebahan maksimum (mm)

r = radius *cup* (mm)

$\sigma_{f,m,I}$ = tegangan aliran rata-rata pada *flange* antara titik 1 dan 2 (Kg/mm^2)

Dengan mempertimbangkan faktor *blank holder* maka tegangan radial yang terjadi pada *flange* secara keseluruhan dapat ditentukan melalui persamaan berikut (Lange, Kurt. 1996: 20.5):

$$\sigma_r(r) = 1,1 \cdot \sigma_{f,m,I} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) + 2\mu(R-r) \frac{P_{BH}}{S_0} \quad (\text{Kg/mm}^2) \quad (2.16)$$

dengan: s_0 = ketebalan awal *blank* (mm)

μ = Koefisien gesek

P_{BH} = tekanan *blank holder* (Kg/mm^2)

Untuk nilai $\sigma_{f,m,I}$ dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$\sigma_{f.m.I} = \frac{K}{\varphi_2 - \varphi_1} \left[\frac{\varphi^{n+1}}{n+1} \right]_{\varphi_1}^{\varphi_2} \quad (2.17)$$

Selanjutnya nilai $\sigma_{f,m,II}$ dihitung sebagai dengan persamaan dibawah ini:

$$\sigma_{f.m.II} = \frac{K}{\varphi_3 - \varphi_2} \left[\frac{\varphi^{n+1}}{n+1} \right]_{\varphi_2}^{\varphi_3} \quad (2.18)$$

dengan: φ_3 = regangan tangensial pada titik 3



K = Koefisien kekuatan yang didapat dari $\sigma_f = K \cdot \varepsilon^n$ (Dieter, George E. 1992: 73). n adalah *strain hardening eksponent*, dimana untuk penggeraan dingin nilainya 0,14 (Kalpakjian, Serope. 1990: 68). Sedangkan σ_f dan ε adalah tegangan ideal dan regangan ideal material.

2.8.2.2 Tegangan Tangensial Pada *Flange* (σ_t)

Setelah tegangan radial diketahui, maka tegangan tangensial pada *flange* antara titik 1 dan 2 dapat ditentukan melalui perubahan yang dilakukan terhadap persamaan (2.13). Maka persamaan tegangan tangensialnya adalah (Lange, Kurt. 1996: 20.5):

$$\sigma_t = \sigma_r - 1,1 \cdot \sigma_{f,m,I} \quad (2.19)$$

2.8.2.3 Tegangan Aksial Pada Dinding *Cup* (σ_x)

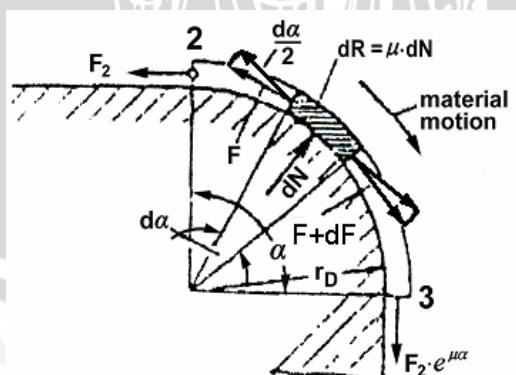
Jika gesekan dan *bending* pada radius *die* diabaikan, maka tegangan aksial pada dinding *cup* sama dengan tegangan radial *flange* pada titik 2 (gambar 2.12b). Namun bagaimanapun, komponen tegangan yang disebabkan oleh terjadinya gesekan dan *bending* akan meningkatkan tegangan radial pada dinding *cup* secara signifikan.

Pembahasan berikut ini mengacu pada gambar 2.13 yang merupakan daerah radius *die* antara titik 2 dan 3. Kondisi keseimbangan arah radial bagi elemen-elemen yang berkaitan adalah (Lange, Kurt. 1996: 20.6):

$$dN - F \cdot \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) - (F + dF) \cdot \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) = 0 \quad (2.20a)$$

dengan: N = gaya normal antara *sheet* dan radius *die* (N)

F = gaya tarik radial di dalam *sheet* (N)



Gambar 2.13. Kondisi Gesekan pada Radius *Die*

Sumber: Lange, Kurt. 1996: 20.6



Karena $\frac{d\alpha}{2}$ sangat kecil maka $\sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) = \frac{d\alpha}{2}$, sehingga persamaan (2.20a)

dapat ditulis menjadi (Lange, Kurt. 1996: 20.6):

$$dN - F \cdot d\alpha = 0 \quad (2.20b)$$

Sedangkan kondisi kesetimbangan terhadap arah tangensial adalah:

$$dF = dR = \mu \cdot dN \quad (2.21)$$

Dengan substitusi persamaan (2.20b) kedalam persamaan (2.21), diperoleh persamaan:

$$\frac{dF}{F} = \mu \cdot d\alpha \quad (2.22a)$$

Dan setelah diintegrasikan sepanjang daerah antara titik 2 dan 3, maka:

$$\ln\left(\frac{F_3}{F_2}\right) = \mu \cdot \alpha \quad (2.22b)$$

atau,

$$F_3 = F_2 \cdot e^{\mu\alpha} \quad (2.22c)$$

dengan: F_2 = gaya tarik radial di dalam *blank* pada titik 2 (Kg)

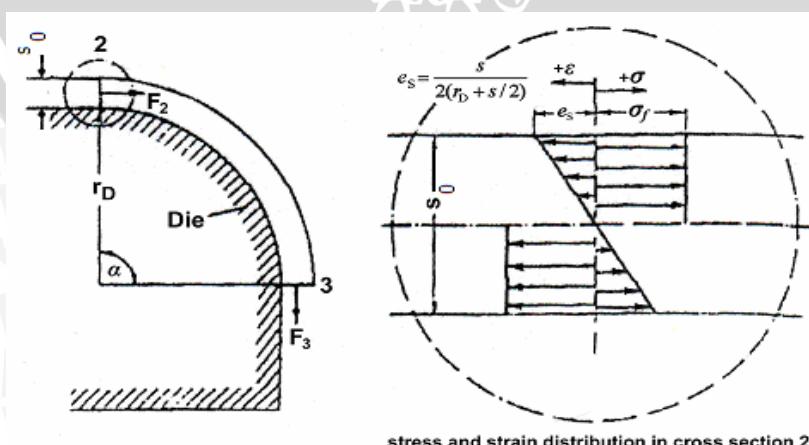
F_3 = gaya tarik radial di dalam *blank* pada titik 3 (Kg)

Sesuai dengan gambar 2.12b dan gambar 2.13 maka komponen F_2 diganti dengan tegangan radial σ_r , dan komponen F_3 diganti dengan tegangan aksial σ_a . Untuk $\alpha = 90^\circ = \pi/2$ dapat dihitung melalui persamaan dibawah ini (Lange, Kurt. 1996: 20.6):

$$\sigma_a = \sigma_r \cdot e^{\mu\pi/2} \quad (2.23)$$

2.8.2.4 Tegangan dan Gaya Bending

Pada gambar 2.14 pada bagian masuk radius *die* (potongan 2), sebuah elemen dengan ketebalan s dan lebar b , di-bending diatas radius *die* r_D .



Gambar 2.14. Hubungan Geometris *Bending* dan *Unbending* pada Radius *Die*
Sumber: Lange, Kurt. 1996: 20.7

Dalam *bending*, kerja W yang dibutuhkan sama dengan hasil perkalian momen *bending* M_b dengan sudut *bending* α sebagaimana persamaan berikut (Lange, Kurt. 1996: 20.6):

$$W = M_b \cdot \alpha = F_2 \cdot r_D \cdot \alpha \quad (2.24a)$$

atau,

$$F_2 = \frac{M_b}{r_D} \quad (2.24b)$$

Dengan asumsi bahwa material bersifat plastis maka momen *bending* dihitung dengan persamaan (Lange, Kurt. 1996: 20.6):

$$M_b = \frac{\sigma_f \cdot b \cdot s_o^2}{4} \quad (2.25)$$

Apabila persamaan (2.24b) dan (2.25) digabungkan, maka diperoleh persamaan:

$$F_2 = \frac{\sigma_f \cdot b \cdot s_o^2}{4 \cdot r_D} \quad (2.26)$$

Pada saat keluar dari radius *die*, *blank* diluruskan kembali. Karena kembali ke keadaan semula, maka diperlukan jumlah kerja yang sama seperti masuk radius *die*. Gaya total yang dibutuhkan untuk melakukan *bending* adalah (Lange, Kurt. 1996: 20.7):

$$F_b = 2F_2 = \frac{\sigma_f \cdot b \cdot s_o^2}{2 \cdot r_D} \quad (2.27)$$

Untuk *deep drawing* yang berbentuk bulat, lebar b ditentukan dengan rumus (Lange, Kurt. 1996: 20.7):

$$b = \pi \cdot d_m \quad (2.28)$$

Dengan d_m adalah diameter rata-rata dinding *cup*. Sehingga gaya *bending* pada potongan 2 dapat diperoleh dengan persamaan dibawah ini (Lange, Kurt. 1996: 20.7):

$$F_b = \frac{\pi \cdot \sigma_f \cdot d_m \cdot s_0^2}{2 \cdot r_D} \quad (2.29)$$

Tegangan *bending* yang terjadi pada radius *die* adalah:

$$\sigma_b = \frac{\sigma_{f,m,II} \cdot s_0}{2r_D} \quad (2.30)$$

dengan: $\sigma_f = \sigma_{f,m,II}$ (Kg/mm²)

σ_f = tegangan aliran (Kg/mm²)

$\sigma_{f,m,II}$ = tegangan aliran rata-rata pada *flange* antara titik 2 dan 3 (Kg/mm²)



- r_D = radius *die* (mm)
 s_0 = ketebalan awal *blank* (mm)
 F_b = gaya *bending* total (Kg)
 d_m = diameter rata-rata dinding *cup* (mm)

2.8.3 Tekanan *Blank holder*

Untuk menghitung tekanan *blank holder* dapat digunakan persamaan (Lange, Kurt. 1996: 20.11):

$$P_{BH} = 10^{-3} c \left[(\beta - 1)^3 + \frac{0,005 \cdot d_0}{s_0} \right] S_u \quad (2.31)$$

- dengan: c = faktor koreksi nilainya antara 2 hingga 3
 β = *Limiting Drawing Ratio* material
 d_0 = diameter *blank* awal (mm)
 S_u = nilai *ultimate tensile* material (Kg/mm²)

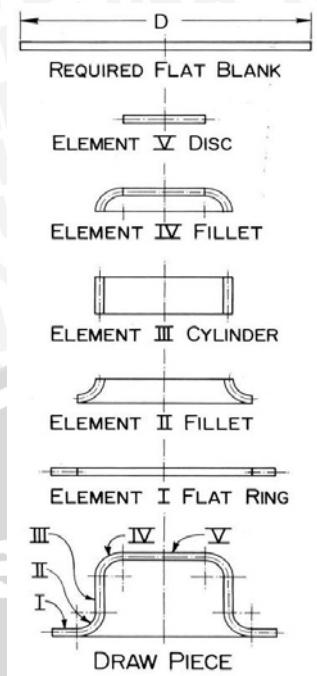
2.9 Dasar Perhitungan Proses *Blanking*

Berikut beberapa rumus dasar yang digunakan dalam proses perhitungan dan pembuatan *blank*.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam menghitung diameter *blank* yang dibutuhkan, metode paling praktis adalah metode luas bidang, prosedur perhitungnya adalah:

1. Seperti yang terlihat pada gambar 2.15, dari potongan melintang *draw piece* yang dihasilkan, dibagi kedalam beberapa potongan sehingga bisa dihitung menurut bagian-bagian tersebut.
2. Hitung luasan permukaan masing-masing bagian tersebut, untuk mempermudah perhitungan dapat digunakan gambar 2.16 sebagai rumus bantu menghitung luasan permukaan masing-masing bagian sesuai dengan bentuk potongan dari *draw piece* dengan A adalah luasan yang dibutuhkan.
3. Jumlah dari kebutuhan material untuk *blank* sesuai dengan jumlah dari luasan permukaan total, luasan permukaan total didapat dengan menjumlahkan semua luasan permukaan masing-masing bagian.





Gambar 2.15. Potongan Melintang *Draw Piece*

Sumber: Ostergaard, D. Eugene. 1967: 156

- Menghitung luasan permukaan (A_t) ke dalam diameter *blank* awal (d_0) yang dibutuhkan, dengan persamaan (Ostergaard, D. Eugene. 1967: 157):

$$d_0 = 1,128 \cdot \sqrt{A_t} \text{ (mm)} \quad (2.32)$$

① DISC		$A = 0.7854 D^2$ $D = 1.128 \sqrt{A}$
② FLAT RING		$A = 0.7854 (D^2 - d^2)$
③ CYLINDER		$A = 3.1416 DH$
④ FILLET		$A = 4.935 RD + 6.283 R^2$
⑤ FILLET		$A = 4.935 RD - 6.283 R^2$
⑥ HEMISPHERE		$A = 6.283 R^2$
⑦ RING (SPHERICAL) DISH		$A = 6.283 RH$
⑧ CONE RING		$S = \sqrt{H^2 + B^2}$ $A = 3.1416 S \frac{(D+d)}{2} H$
⑨ DOUBLE FILLETS		
		$A = 9.87 RD$

Gambar 2.16. Persamaan untuk Menghitung Luas Permukaan *Draw Piece*

Sumber: Ostergaard, D. Eugene. 1967: 156

2.10 Dasar Perhitungan Variabel Deep Drawing

2.10.1 Radius Punch

Pada ujung *punch* terdapat lekukan (*fillet*) yang disebut radius *punch* dimana nilai minimumnya adalah sebesar empat kali tebal awal *blank* ($r_p = 4s_0$) (Ostergaard, D. Eugene. 1967: 140).

2.10.2 Radius Die

Radius *die* r_D tergantung pada ukuran benda kerja dan ketebalannya. Persamaan secara empiris untuk menghitung radius *die* didapat dengan menggunakan persamaan (Eary, F. Donald. 1974: 113):

$$r_D = 2s_0 \text{ sampai dengan } 14s_0 \quad (2.33)$$

dengan: s_0 = ketebalan awal *blank* (mm)

2.10.3 Limiting Drawing Ratio dan Drawing Ratio

Untuk menghitung *Limiting Drawing Ratio* (LDR) β_{maks} berdasarkan persamaan (Lange, Kurt. 1996: 20.14):

$$\frac{1,1 \cdot \sigma_{f.m.1}}{\eta_{\text{def}}} \left[\ln \left(\frac{d_0}{d_p} \right)_{\text{maks}} - 0,25 \right] = S_u \quad (2.34)$$

dengan: η_{def} = efisiensi deformasi = 0,5 hingga 0,7

Dari persamaan (2.36) didapatkan nilai *drawing ratio* (Lange, Kurt. 1996: 20.14):

$$\beta = \frac{d_0}{d_p} \quad (2.35)$$

dengan: d_0 = diameter *blank* awal (mm)

d_p = diameter *punch* (mm) (adalah ukuran lebar *punch* dan tidak berkaitan dengan radius *punch*)

2.10.4 Kelonggaran (*clearance*)

Nilai dari kelonggaran atau *clearance* ditentukan oleh tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1. Kelonggaran (*clearance*) untuk Bermacam Jenis Material

Material	Rumus
Steel sheet	$U_D = s_0 + 0,07\sqrt{10.s_0}$
Aluminium sheet	$U_D = s_0 + 0,02\sqrt{10.s_0}$
Non ferrous metal	$U_D = s_0 + 0,04\sqrt{10.s_0}$
High temperatur Alloy	$U_D = s_0 + 0,2\sqrt{10.s_0}$

Sumber: Lange, Kurt. 1996: 20.41

2.11 Aluminium

Paduan aluminium mempunyai sifat ringan dan penghantar panas yang baik. Al-Si, Al-Cu-Si, dan Al-Si-Mg adalah deretan dari paduan aluminium yang banyak dipergunakan untuk bagian-bagian mesin. Al-Cu-Ni-Mg dan Al-Cu-Ni-Mg-Si adalah deretan untuk bagian-bagian mesin yang tahan panas dan Al-Mg untuk bagian-bagian yang tahan korosi (Tata Surdia, 1986: 6)

2.11.1 Sifat-sifat Bahan Aluminium

Sifat-sifat aluminium mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan material yang lainnya. Secara singkat sifat-sifat dari aluminium paduan akan diuraikan berikut ini:

1. Konduktivitas panas

Aluminium adalah salah satu bahan yang mempunyai konduktivitas panas yang sangat baik. Hal ini dapat kita amati melalui kecepatan air panas dari daerah temperatur tinggi ke temperatur rendah, sehingga aluminium menjadi alternatif yang tepat untuk peralatan pemindah panas.

2. Konduktivitas listrik

Konduktivitas listrik aluminium adalah sekitar 65% dari konduktivitas tembaga. Tetapi karena berat jenis tembaga maka untuk berat yang sama hantaran listrik aluminium dua kali lebih besar dari hantaran listrik tembaga.

3. Tegangan tarik maksimum

Tegangan tarik maksimum dari aluminium dengan kandungan 99,99% Al mendekati $4,9 \text{ Kg/mm}^2$. Harga ini dapat ditingkatkan dengan memadukan unsur-unsur tertentu, dan bisa juga dengan jalan pengerasan pemanasan. Kekuatan tarik maksimum didefinisikan sebagai kekuatan tarik yang dapat ditahan oleh suatu material sebelum putus.

4. Ketahanan korosi

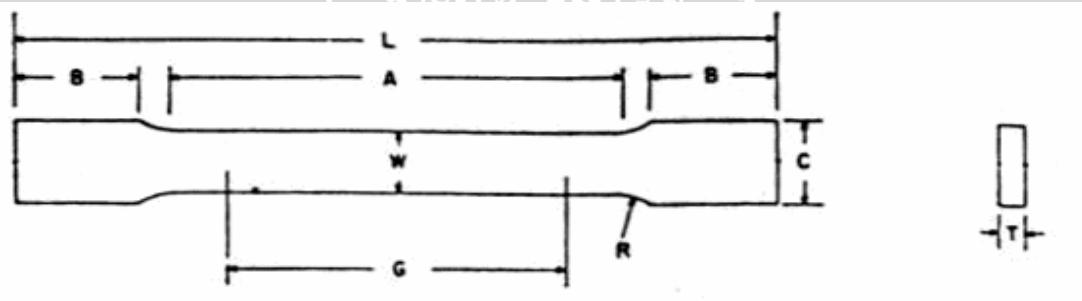
Sifat tahan korosi dari aluminium paduan yang disebabkan oleh udara bahkan air dikarenakan adanya lapisan tipis yang dikenal sebagai aluminium *oxide*. Lapisan ini terbentuk secara spontan pada permukaan ketika kontak dengan udara. Dengan sifat tahan korosi ini memungkinkan penggunaan yang luas bagi aluminium paduan dari elemen konstruksi pesawat terbang, komponen-komponen kendaraan bermotor sampai dengan peralatan rumah tangga.

2.11.2 Aluminium 6060

Aluminium 6060 merupakan paduan aluminium yang memiliki sifat mampu bentuk yang baik, *good machine ability*, mampu las, tahan korosi, dapat dilakukan perlakuan panas dan *ultimate tensile* 100 N/mm². Aluminium seri 6060 memiliki massa jenis 2,7 gr/cc. Dalam aplikasinya paduan aluminium ini digunakan untuk struktur bangunan yang membutuhkan ketahanan korosi tinggi, pemipaian, komponen kendaraan dan konstruksi kelautan. Data kandungan unsur spesimen Aluminium 6060 (www.matweb.com, Maret 2006) adalah: Al: 97,8 %, Cr: 0,05 %, Cu: 0,01 %, Fe: 0,1 – 0,3 %, Mg: 0,35 – 0,6 %, Si: 0,3 – 0,6 %, Mn: 0,1 %, Ti: 0,1 %, Zn: 0,15 % dan unsur lain maksimum: 0,15 %.

2.11.3 Pengujian Tarik Sheet Alumunium 6060

Pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan standar ASTM B 557M. Gambar 2.17 dan tabel 2.2 menunjukkan spesimen standar pengujian tarik terhadap material *sheet* sesuai standar ASTM B 557M.



Gambar 2.17. Spesimen Standar Pengujian Tarik ASTM B 557M

Sumber: ASTM International Handbook, Parts 10. 1982: 133.

Tabel 2.2. Ukuran Spesimen Standar Pengujian Tarik ASTM B 557M

	Dimension, mm	
	Standard Specimen <i>Sheet</i> -Type 12.5 mm Wide	Subsize Specimen 6 mm Wide
G – Gage length	50.00 ± 0.10	25.00 ± 0.10
W – Width	12.50 ± 0.05	6.00 ± 0.05
T – Thickness	thickness of material	thickness of material
R - Radius of fillet, min	12.5	6
L -Over-all length, min	200	100
A - Length reduced section, min	57	32
B - Length of grip section, min	50	30
C – Width of grip section, approximate	20	10

Sumber: ASTM International Handbook, Parts 10. 1982: 133.

Besarnya tegangan ideal didefinisikan sebagai (Marciniak, 2002: 5):

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2.36)$$

dengan: P = Gaya (N)

A = Luasan dimana pada saat gaya bekerja (mm^2)

Pada saat terjadi deformasi diantara batas *yield* sampai dengan beban maksimum volume benda uji tarik tidak mengalami perubahan:

$$A_0 l_0 = A l \quad (\text{mm}^3) \quad (2.37)$$

Sehingga tegangan ideal dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \cdot \frac{l}{l_0} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2.38)$$

dengan: σ = tegangan ideal (N/mm^2)

A_0 = luasan awal benda kerja (mm^2)

l = panjang awal saat gaya bekerja (mm)

l_0 = panjang awal benda kerja (mm)

Untuk kasus lebar *sheet* metal uji tarik yang hampir tidak mengalami perubahan pertambahan panjang didefinisikan sebagai (Marciniak, 2002: 6):

$$d\varepsilon = \frac{dl}{l} \quad (2.39)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (2.39) didapatkan regangan ideal:

$$\varepsilon = \int d\varepsilon \quad (2.40)$$

$$\varepsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} \quad (2.41)$$

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \quad (2.42)$$

2.12 Keramik

Keramik berasal dari bahasa Yunani “*Keramik*” yang berarti periuk atau belanga yang dibuat dari tanah. Dan yang dimaksud dengan barang keramik ialah semua barang yang dibuat dari bahan-bahan tanah/batuhan silikat dan yang proses pembuatannya melalui pembakaran pada temperatur vetrifikasi yaitu temperatur saat sebagian bahan penyusun keramik meleleh dan mengikat bahan penyusun yang lain.



Keramik dalam aplikasinya banyak digunakan sebagai barang seni maupun barang industri misalnya sebagai *cutting tools*, alat listrik, isolator busi dan lain-lain. Luasnya penggunaan keramik ini didasari oleh sifat mekanik yang dimiliki keramik. Keramik merupakan material yang sangat tahan terhadap korosi dan keras. Selain itu, melting point yang dimiliki keramik juga tinggi ($\pm 3000^{\circ}\text{C}$) dan koefisien gesek keramik yang kecil, yaitu 0,08. Berdasarkan material penyusunnya, keramik diklasifikasikan menjadi dua, yaitu keramik tradisional dan keramik industri.

2.12.1 Keramik Tradisional

Keramik tradisional terdiri dari bahan plastis (tanah liat) antara lain: *Kaolin*, *Ball Clay* (tanah bola), *Bentonite*, dan lain-lain. Selain itu keramik juga dapat terdiri dari bahan-bahan non-plastis (tidak plastis) diantaranya: *Silica* (SiO_2), *Flint*, *Feldspar* ($\text{KNaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), *Aluminium* (Al_2O_3), dan lain-lain. Tetapi keramik pada umumnya terbuat dari tiga bahan utama yaitu *clay*, *flint* dan *felspar*. *Clay* atau tanah liat terdiri dari komponen utama *hydrated aluminum silica* ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dan sejumlah kecil oksida seperti MgO , CaO dan Na_2O , *clay* merupakan komponen utama dari keramik yang mempunyai kemampuan bentuk tinggi. *Flint* atau kwarsa mempunyai titik lebur yang tinggi, fungsi pemakaian kwarsa adalah untuk mengurangi penusutan baik pada saat proses pengeringan maupun pada proses pembakaran. *Feldspar* mempunyai titik lebur rendah, pada saat proses pembakaran *felspar* akan mengikat komponen keramik lainnya proses ini sering disebut dengan menggelas. Bahan baku pembantu terdiri dari *water glass* yang berfungsi sebagai bahan pengikat bahan-bahan baku pada pembuatan slip. Bila *water glass* terlalu banyak digunakan maka slip akan mengendap. Sedangkan bila terlalu sedikit, slip akan sulit mencair dan sulit dicetak. Proses pembuatannya keramik tradisional meliputi tiga tahap, yaitu pengolahan tanah, pembentukan, pengeringan dan pembakaran.

1. Pengolahan Tanah

Sebelum dibentuk menjadi keramik, tanah liat harus diolah lebih dulu karena biasanya tanah liat masih mengandung terlalu banyak *grit* (bahan yang kasar dalam bahan yang halus) yang harus dipisahkan lebih dulu. Ada dua cara untuk memisahkan kotoran atau batuan yang berbutir kasar yaitu cara manual (dengan tangan) dan cara lain dengan menggunakan mesin yaitu mesin *extruder* atau *ballmill*. Dalam hal ini penulis hanya akan menjelaskan cara manual, dimana dalam cara ini ada dua tahap, yaitu:



1. Cara kering

Bila lempung mengandung batuan yang berbutir kasar dan keras, maka diperlukan alat penghancur atau penggiling dan ayakan untuk melumatkan dan memisahkan butiran-butiran kasar dari yang halus. Lempung yang halus lalu dicampur air secukupnya hingga didapatkan adonan lempung yang cukup plastis.

2. Cara basah

Pemisahan kotoran-kotoran tanah ini dilakukan dengan pencucian tanah dengan banyak air. Setelah membentuk suatu suspensi yang encer, lalu disaring dan dibiarkan mengendap, sedangkan bahan sangat halus yang belum mengendap disaring lagi serta akhirnya dikeringkan. Kemudian ditambah dengan air secukupnya sehingga diperoleh adonan tanah yang cukup plastis.

2. Pembentukan

Bahan yang sudah menjadi *slip* (larutan lempung yang tidak terlalu encer) siap dilakukan proses pembentukan. Lempung yang akan dibentuk menjadi keramik biasanya plastis atau berupa cairan, dapat pula tepung atau gumpalan keras, sehingga teknik atau cara pembentukannya pun bermacam-macam diantaranya dibentuk dengan tangan, dengan putaran (*jigger*), dengan ditekan (*press*), dengan dicetak, dan sebagainya.

3. Pengeringan

Proses pengeringan bertujuan untuk menghilangkan apa yang disebut air plastisnya saja, sedang air yang terikat dalam molekul tanah liat hanya bisa dihilangkan melalui pembakaran, selain itu untuk memberikan kekuatan kepada bahan mentah atau lempung. Pengeringan dapat dilakukan dengan cara diangin-anginkan atau dipanaskan. Setelah keramik kering dapat dilakukan penggelasiran, glasir dipoleskan pada badan keramik dengan menggunakan kuas atau sikat seperti pada proses pengecatan, karena badan keramik menghisap air dengan cepat maka pemolesan harus dilakukan dengan cepat, tujuan dari penggelasiran adalah memperhalus permukaan keramik, melindungi, dan memperindah dengan variasi warna.

4. Pembakaran

Di dalam proses pembakaran sendiri ada tiga tahap. Tahap pertama bertujuan menghilangkan uap air dimana suhu pembakaran pada tahap ini berlangsung dari awal hingga sekitar 500°C . Pembakaran pada tahap ini dilakukan secara berlahan-lahan

dimaksudkan agar uap air tidak dapat keluar segera dari pori-pori sehingga tidak menimbulkan letusan. Tahap kedua adalah tahap penggelasan atau pengerasan. Suhu penggelasan dimulai dari suhu 500°C sampai terjadi taraf penggelasan (verifikasi) pada suhu 1150°C . Seperti diketahui bahwa sebagian dari unsur pembentuk gelas dalam tanah liat pada waktu suhu tinggi akan mencair kemudian menjadi gelas dan kalau didinginkan akan menjadi keras. Pada umumnya pada tahap ini berlangsung lebih cepat dari tahap sebelumnya. Hal yang perlu diperhatikan dalam proses pembakaran keramik adalah peningkatan temperatur yang tiba-tiba. Temperatur yang meningkat secara tiba-tiba akan mengakibatkan terjadinya *shock termal* sehingga mengakibatkan keramik retak bahkan pecah. Tahap terakhir adalah tahap pendinginan. Jika suhu pembakaran telah mencapai sekitar 1150°C dan benda keramik telah matang, maka suluh pembakar dipadamkan dan tungku dibiarkan menjadi dingin.

2.12.2 Keramik Industri

Keramik jenis ini umumnya tersusun dari satu unsur *metal* dan satu unsur *Non Metal Elemen Solids* (NMESS) atau NMESS dan unsur non *metal*. Sebagai contohnya, untuk keramik dengan paduan satu unsur *metal* dan NMESS adalah MgO, dimana Mg sebagai unsur *metal*-nya dan O₂ sebagai unsur NMESS. Beberapa keramik industri yang ada saat ini antara lain SiC, Si₃N₄, TiC, TaC, WC, B₄C, BN, UO₂, ZnO₂, BaTiO₃, BeO. Tabel 2.2 berikut menjelaskan mengenai *material properties* dari keramik industri dan aplikasinya.

Tabel 2.3. Material Properties Keramik Industri dan Aplikasinya

Material Properties	Aplikasi
Sifat Thermal <ul style="list-style-type: none"> Sifat ini meliputi konduktivitas termal dan ketahanan pada temperatur tinggi. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Heat sink</i> pada komponen elektronik. Material penyusun tungku pembakaran.
Sifat Elektrik	<ul style="list-style-type: none"> Konduktor. Isolator pada tegangan rendah. Busi. Komponen semi konduktor.
Sifat Kimia <ul style="list-style-type: none"> Sifat ini meliputi ketahanan terhadap korosi dan interaksinya terhadap lingkungan. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Heat exchanger.</i> Filter gas buang.
Sifat Magnetik	<ul style="list-style-type: none"> Magnet kuat. Magnet lemah.
Sifat Mekanik <ul style="list-style-type: none"> Sifat ini meliputi kekerasan, ketahanan terhadap aus dan kestabilan kekuatan pada temperatur tinggi. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Cutting tools.</i> <i>Stator</i> dan turbin <i>Blades</i>. <i>Bearing.</i>

Sumber : Barsoum, Michel. 1997.



2.13 Hipotesis

Peningkatan radius *punch* akan menurunkan *major strain* (regangan mayor) dan menaikkan *minor strain* (regangan minor), sehingga *strain ratio* (perbandingan antara regangan mayor dengan regangan minor) semakin naik.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode penelitian yang sebenarnya (*true experiment research*). Penelitian dilakukan dengan melakukan proses *dry deep drawing* pada *sheet aluminium* 6060 dengan model analisa varian satu arah dengan satu variabel bebas dan satu variabel terikat.

3.2 Variabel dan Parameter Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Variabel bebas:
 - Radius *punch* (r_p): 3 mm, 5 mm, 7 mm dan 9 mm.
- b. Variabel terikat:
 - *Strain ratio*
- c. Parameter terkendali:
 - Radius *die* (r_D): 2 mm
 - *Clearence* (U_D): 0,65 mm
 - Kedalaman *deep drawing* (H): 15 mm
 - Diameter dalam *die* (d_D): 57,5 mm
 - Radius luar *die*: 90 mm
 - Ketebalan awal *blank* (s_0): 0,6 mm
 - Diameter *punch* (d_p): 55 mm

3.3 Bahan dan Peralatan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang untuk pengujian tarik *sheet aluminium* dan Laboratorium αβγ Jl. Tirto Utomo V/10 Malang untuk pengujian *deep drawing*. Waktu pengujian pada bulan Desember 2006 – April 2007, peralatan yang digunakan antara lain:

1. Mesin *deep drawing*
2. Mesin uji tarik
3. Mesin *press*
4. Gunting logam
5. Amplas

6. Jangka sorong
7. Alat pencatat waktu
8. Mistar ukur
9. Jangka
10. Kamera
11. Gelas ukur
12. Timbangan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium 6060 yang merupakan paduan aluminium dengan *ultimate tensile strength* 100 N/mm², massa jenis 2,7 gr/cc, sifat mampu bentuk yang baik, *good machine ability*, mampu las, tahan korosi dan dapat dilakukan perlakuan panas.

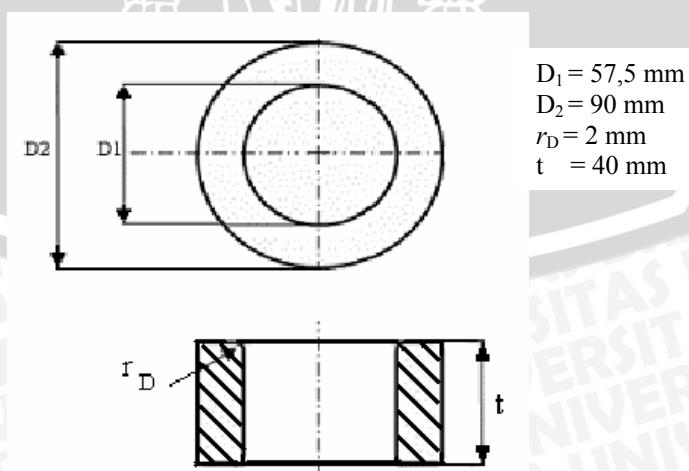
Data kandungan unsur spesimen Aluminium 6060 (www.matweb.com, Maret 2006) adalah: Al: 97,8 %, Mg: 0,35 – 0,6 %, Si: 0,3 – 0,6%, Cr: 0,05 %, Cu: 0,01 %, Fe: 0,1 – 0,3 %, Mn: 0,1 %, Ti: 0,1 %, Zn: 0,15 % dan unsur lain maksimum: 0,15 %.

3.4 Prosedur Penelitian

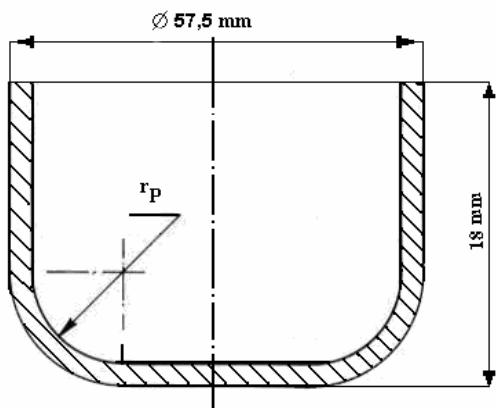
3.4.1 Prosedur Umum

Prosedur yang dilakukan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

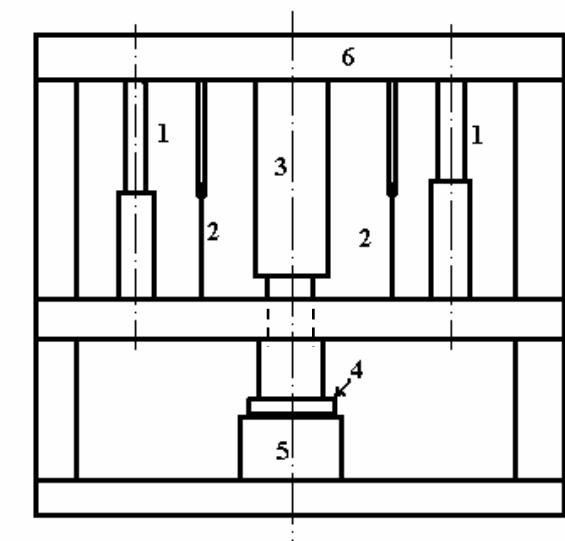
1. Dilakukan studi literatur untuk mendapatkan informasi yang mendukung dan data-data yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan.
2. Mendesain *draw piece*, mendesain dan membuat *die keramik*, mesin *deep drawing*, dan *blank* yang akan digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1. *Die Keramik.*

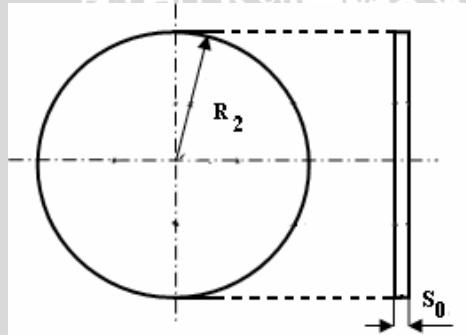


Gambar 3.2. Draw Piece yang Direncanakan.



Keterangan:
 1. Hidrolik blank holder
 2. Stabilizer
 3. Hidrolik punch
 4. Blank holder
 5. Die keramik
 6. Rangka mesin deep drawing

Gambar 3.3. Mesin Deep Drawing.



$$R_2 = d_0 / 2$$

$$S_0 = 0,6 \text{ mm}$$

Gambar 3.4. Blank yang Direncanakan.

3. Melakukan uji tarik untuk lembaran aluminium 6060 sesuai dengan standar pengujian tarik ASTM B 557M ($T = 0,6 \text{ mm}$ dan $W = 12,5 \text{ mm}$).
4. Melakukan percobaan dan penelitian.
5. Analisis data.
6. Pembahasan dan evaluasi.
7. Kesimpulan dan saran.

3.4.2 Prosedur Percobaan

Langkah – langkah percobaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian
2. Meletakkan dan mengatur posisi *die* keramik.
3. Mengatur posisi kedalaman pada *die* keramik.
4. Melakukan proses *deep drawing* tanpa *blank*.
5. Membersihkan *die* keramik dan *blank* yang akan digunakan.
6. Meletakkan dan mengatur posisi *blank* dan *blank holder* pada *die* keramik.
7. Menggerakkan *punch* hingga menyentuh *blank*.
8. Mengatur perekam gaya hingga menunjukkan angka nol.
9. Mesin *deep drawing* dijalankan.
10. Mencatat data yang diperoleh.
11. Pengulangan langkah 1-10 untuk radius *punch* yang berbeda.

3.5 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini akan mencari pengaruh dari radius *punch* terhadap *strain ratio* pada proses *deep drawing* aluminium 6060 dengan *die* keramik. Variasi radius punch ada empat macam dan pengulangan sebanyak tiga kali.

Tabel 3.1. Rancangan Penelitian

Faktor		Radius <i>Punch</i> (mm)			
		3	5	7	9
<i>Strain Ratio</i>	1	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	$Y_{1,4}$
	2	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	$Y_{2,4}$
	3	$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	$Y_{3,3}$	$Y_{3,4}$
Total		$\Sigma Y_{i,1}$	$\Sigma Y_{i,2}$	$\Sigma Y_{i,3}$	$\Sigma Y_{i,4}$
Rata – rata		\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	\bar{Y}_3	\bar{Y}_4

3.6 Analisis Statistik

3.6.1 Analisis Kecukupan Data

Analisis kecukupan data adalah metode statistik yang digunakan untuk menyatakan apakah data yang diperoleh dapat diproses secara langsung atau perlu diadakan penambahan data. Tabel 3.2 merupakan contoh tabel yang dipakai dalam analisis kecukupan data.

Tabel 3.2. Analisis Kecukupan Data

No.	(X_i)	(X_i^2)	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1				
2				
3				
Total	$\sum X_i$	$\sum X_i^2$	$\sum (X_i - \bar{X})$	$\sum (X_i - \bar{X})^2$

- Rata-rata sampel (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

- Variasi sampel (σ^2)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

- Standart deviasi (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

- Tingkat ketelitian (DA)

$$DA = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\%$$

- Tingkat keyakinan (CL)

$$CL = 100\% - DA$$

Tingkat keyakinan digunakan untuk mencari nilai k berdasarkan tabel 3.3 berikut :

Tabel 3.3. Nilai k

Tingkat keyakinan	k
99,73%	3
99%	2,58
98%	2,33
96%	2,05
95,45%	2
95%	1,96
90%	1,645
80%	1,28
68,27%	1
50%	0,6745

- Batas kontrol

- Batas kontrol atas (UCL)

$$UCL = \bar{X} + k\sigma$$



- Batas kontrol bawah (LCL)

$$UCL = \bar{X} - k\sigma$$

- Tingkat ketelitian (S)

$$S = DA/100$$

- Kecukupan data observasi (N')

$$N' = \left[\frac{\frac{k}{S} \sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}}{\sum_{i=1}^n X_i} \right]^2$$

$N' > n$ maka perlu adanya penambahan data.

$N' < n$ maka tidak perlu adanya penambahan data

3.6.2 Analisis Varian Satu Arah

Dari tabel 3.1 maka *strain ratio* yang disebut sebagai variabel terikat dianggap sebagai μ_1 , μ_3 dan μ_4 sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

- $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

(Tidak ada pengaruh nyata variasi radius *punch* terhadap *strain ratio* pada proses *deep drawing* menggunakan *die* keramik)

- $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$

(Ada pengaruh nyata variasi radius *punch* terhadap *strain ratio* pada proses *deep drawing* menggunakan *die* keramik)

Berdasarkan tabel 3.1 dapat dihitung:

- Jumlah seluruh perlakuan (JK)

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}$$

- Kuadrat seluruh perlakuan (K_P)

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2$$

- Faktor koreksi (fk)

$$= \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2 / nk$$

- Jumlah kuadrat total (JK_T)

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JK_p) $= \frac{\sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n} - fk$
- Jumlah kuadrat galat (JK_g) $= JK_T - JK_p$
- Kuadrat tengah perlakuan (KT_p) $= \frac{JK_p}{k-1}$
- Kuadrat tengah galat (KT_g) $= \frac{JK_g}{n-k}$

Dari data perhitungan diatas dapat dicari F_{hitung} dengan rumus:

$$F_{hitung} = \frac{KT_p}{KT_g}$$

Untuk menguji hipotesis diatas kita mencari harga F_{hitung} kemudian hasilnya dibandingkan dengan F_{tabel} pada derajat bebas yang sesuai dengan nilai α tertentu, nilai dari KT dan F_{hitung} dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut:

Tabel 3.4. Analisis Varian Satu Arah

Sumber varian	db	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan (katagori)	$k-1$	$JK_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n} - fk$	$KT_p = \frac{JK_p}{k-1}$	$F_{hitung} = \frac{KT_p}{KT_g}$	$F(\alpha, k, db)$
Galat	$n-k$	$JK_g = JK_T - JK_p$	$KT_g = \frac{JK_g}{n-k}$		
Total	$n-1$	$JK_T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk$			

Kesimpulan diperoleh dengan cara membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} adalah sebagai berikut:

1. Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

Ini berarti ada perbedaan yang berarti antara variasi radius *punch* terhadap *strain ratio* pada proses *deep drawing* menggunakan *die* keramik.

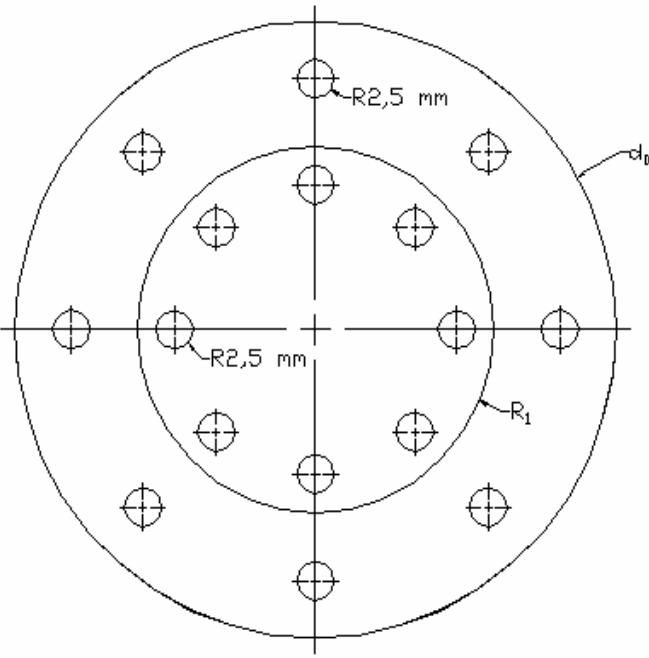
2. Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima.

Ini berarti tidak ada perbedaan yang berarti antara variasi radius *punch* terhadap *strain ratio* pada proses *deep drawing* menggunakan *die* keramik.



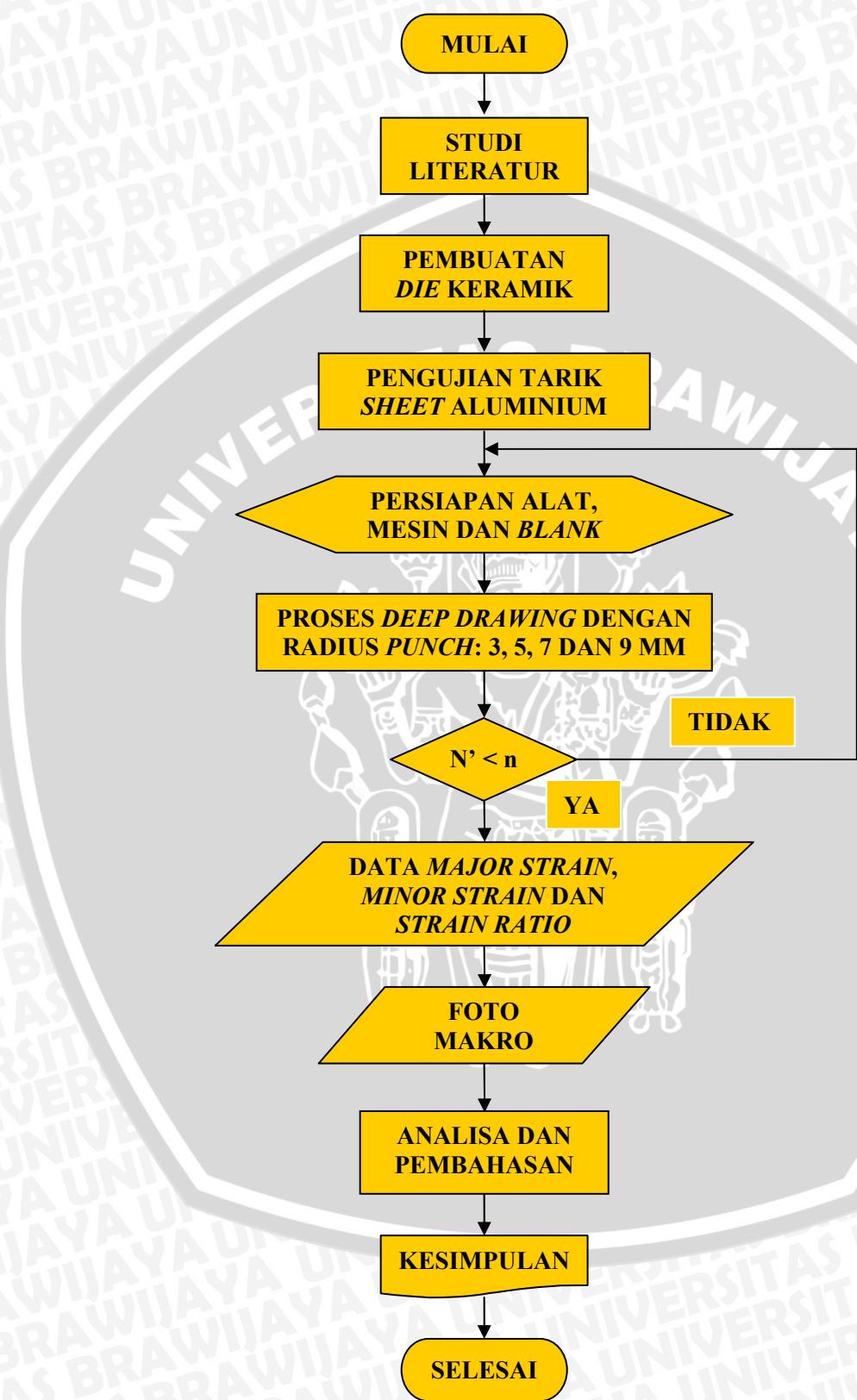
3.7 Geometri *Blank*

Blank yang akan dipakai dalam penelitian diberi tanda dengan menggoreskan *grid* lingkaran-lingkaran kecil yang berjumlah 8 buah untuk tiap-tiap daerah *disc* dan *cylinder* dengan diameter 5 mm. Ukuran d_0 adalah diameter *blank* awal dan R_1 adalah batas luas daerah *disc* sesuai dengan perhitungan akibat perbedaan radius *punch*. Sesuai dengan gambar 3.5 berikut:



Gambar 3.5. Spesifikasi Geometri *Blank* yang Digunakan

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

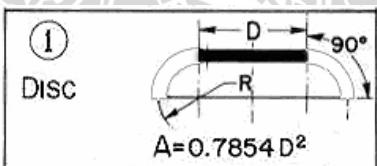
DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Parameter *Deep Drawing*

4.1.1 Perhitungan *Blank*

Diketahui :

- Diameter dalam *die* (d_D): 57,5 mm
- Tebal *blank* awal (s_0): 0,6 mm
- Kedalaman *deep drawing* (H): 15 mm
- Radius *die* (r_D): 2 mm
- Radius *punch* (r_P): 3, 5, 7 dan 9 mm
- Clearance (kelonggaran): $U_D = s_0 + 0,02\sqrt{10.s_0} = 0,64899 \approx 0,65$ mm
- Diameter *punch* (d_P): $d_D - (2.s_0 + 2.U_D) = 57,5 - (2.0,6 + 2.0,65) = 55$ mm
- Untuk radius *punch*: 3 mm
 - Daerah *disc*

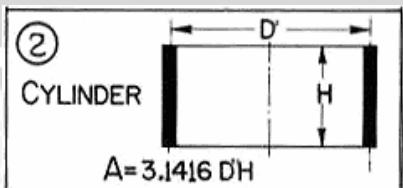


Gambar 4.1. Spesifikasi Luas *Disc*

$$\begin{aligned} D &= d_D - (2.U_D + 2.s_0 + 2.R) \\ &= 57,5 - (2.0,65 + 2.0,6 + 2.3) \\ &= 49 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= 0,7854.D^2 \\ A_1 &= 0,7854.49^2 \text{ mm}^2 \\ A_1 &= 1885,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

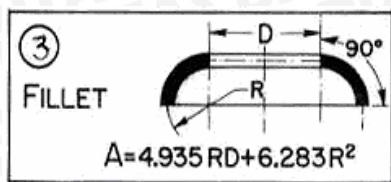
- Daerah *cylinder*



Gambar 4.2. Spesifikasi Luas *Cylinder*

$$\begin{aligned} A_2 &= 3,1416.D'.H \\ A_2 &= 3,1416.55,6.15 \text{ mm}^2 \\ A_2 &= 2620,09 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Daerah fillet



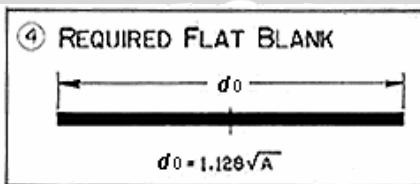
Gambar 4.3. Spesifikasi Luas Fillet

$$A_3 = 4,935 \cdot R \cdot D$$

$$A_3 = 4,935 \cdot 3,49 + 6,283 \cdot 3^2 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = 781,99 \text{ mm}^2$$

Luas total dari benda *drawing* yang dibutuhkan adalah:



Gambar 4.4. Spesifikasi Luas Total dan Diameter Blank Awal

$$A_t = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_t = 5287,83 \text{ mm}^2$$

Sehingga didapatkan ukuran *blank* awal yang dibutuhkan:

$$d_0 = 1,128 \cdot \sqrt{A_t}$$

$$d_0 = 1,128 \cdot \sqrt{5287,83} \text{ mm}$$

$$d_0 = 82,03 \text{ mm}$$

Untuk ukuran *blank* awal dengan radius *punch* 3,5,7 dan 9 mm, disajikan pada tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1. Perhitungan Diameter Blank Awal

No.	r_p	Disc		Cylinder			Fillet			Luas total	Diameter blank awal
		A ₁	D	A ₂	D'	H	A ₃	D	R ²		
		mm	mm ²	mm	mm ²	mm	mm ²	mm	mm ²		
1.	3	1885,75	49	2620,09	55,6	15	781,99	49	9	5287,83	82,03
2.	5	1590,44	45	2270,75	55,6	13	1267,45	45	25	5128,63	80,78
3.	7	1320,26	41	1921,40	55,6	11	1724,21	41	49	4965,87	79,49
4.	9	1075,21	37	1572,06	55,6	9	2152,28	37	81	4799,55	78,15

4.2 Data Pengujian *Sheet* Aluminium 6060

4.2.1 Data Hasil Uji Tarik Aluminium 6060

Data hasil uji tarik aluminium 6060 diberikan pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2. Data Hasil Uji Tarik Aluminium 6060

No.	Panjang Awal	Panjang Akhir	UTS	Beban Yield
	(l ₀) (mm)	(l) (mm)	(Kg)	(Kg)
1.	50	50,69	102,041	71,429
2.	50	51,10	107,143	81,633
3.	50	50,89	102,041	81,633
4.	50	50,86	102,041	81,633
5.	50	50,46	107,143	81,633

Berikut adalah contoh perhitungan untuk mendapatkan tegangan ideal berdasarkan tabel 4.2 (untuk spesimen pertama).

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \cdot \frac{l}{l_0} \text{ Kg/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{102,041}{7,5} \cdot \frac{50,69}{50} \text{ Kg/mm}^2$$

$$\sigma = 15,483 \text{ Kg/mm}^2$$

sedangkan regangan ideal dihitung dengan persamaan:

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$$

$$\varepsilon = \ln \frac{50,69}{50}$$

$$\varepsilon = 0,00137$$

Hasil perhitungan untuk spesimen pertama sampai kelima dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Tegangan Ideal dan Regangan Ideal Aluminium 6060

No.	Tegangan ideal (σ) (Kg/mm ²)	Regangan ideal (ε)
1	15,483	0,0137
2	14,6	0,0218
3	15,483	0,0176
4	15,483	0,0171
5	14,417	0,0092

4.3 Perhitungan Regangan dan Tegangan

4.3.1 Perhitungan Regangan Proses *Deep Drawing*

➢ Untuk radius *punch* 3 mm

- Regangan pada Titik 1

$$\varphi_{\max,1} = |\varphi_{t,1}| = -\ln\left(\frac{d_{F,\max}}{d_0}\right)$$

$$= -\ln\left(\frac{0,77.82,025}{82,025}\right) \\ = 0,26137$$

- Regangan pada Titik 2

$$\varphi_{\max,2} = \ln \frac{\sqrt{d_0^2 + (d_D + 2r_D)^2 - d_{F,\max}^2}}{d_D + 2r_D}$$

$$= \ln \frac{\sqrt{82,025^2 + (57,5 + 2,2)^2 - 63,16^2}}{57,5 + 2,2} \\ = 0,27238$$

- Regangan pada Daerah *Bending*

$$\varepsilon_s = \frac{s_0}{2r_D + s_0}$$

$$= \frac{0,6}{2,2 + 0,6} \\ = 0,13044$$

$$\varphi_{tot} = \ln(1 + \bar{\varepsilon}_{tot}) \\ = \ln(1 + 0,1304) \\ = 0,1226$$

- Regangan pada Titik 3

$$\varphi_{\max,3} = \varphi_{tot} + \varphi_{\max,2} \\ = 0,123 + 0,272 \\ = 0,39498$$



Tabel 4.4. Perhitungan Regangan dengan Radius *Punch* 3, 5, 7 dan 9 mm.

No.	$\varphi_{\max,1}$	$\varphi_{\max,2}$	ε_s	φ_{tot}	$\varphi_{\max,3}$
1	0,26137	0,27238	0,13044	0,1226	0,39498
2	0,26137	0,26601	0,13044	0,1226	0,38862
3	0,26137	0,25942	0,13044	0,1226	0,38203
4	0,26137	0,2526	0,13044	0,1226	0,3752

4.3.2 Perhitungan Tegangan Proses *Deep Drawing*

➤ Untuk radius *punch* 3 mm

$$\sigma_f = K \cdot \varepsilon^n$$

$$\log \sigma_f = \log K + n \log \varepsilon$$

$$\log 15,093 = \log K + 0,14 \cdot \log 0,0159$$

$$K = 26,95 \text{ Kg/mm}^2$$

- **Tegangan Alir pada Daerah I**

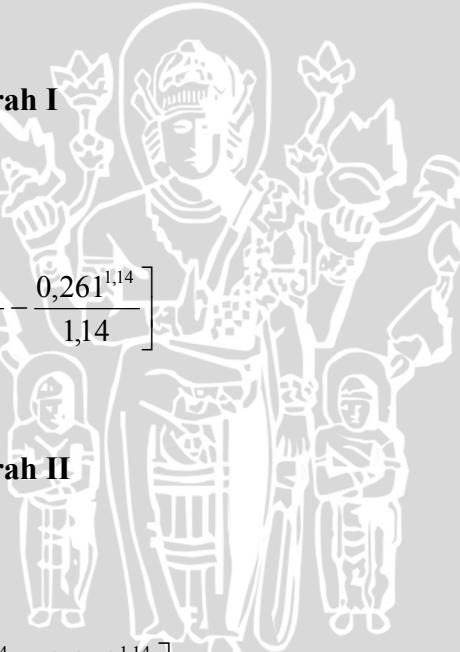
$$\begin{aligned}\sigma_{f,m,I} &= \frac{K}{\varphi_2 - \varphi_1} \left[\frac{\varphi^{n+1}}{n+1} \right]_{\varphi_1}^{\varphi_2} \\ &= \frac{26,95}{0,272 - 0,261} \left[\frac{0,272^{1,14}}{1,14} - \frac{0,261^{1,14}}{1,14} \right] \\ &= 22,3994 \text{ Kg/mm}^2\end{aligned}$$

- **Tegangan Alir pada Daerah II**

$$\begin{aligned}\sigma_{f,m,II} &= \frac{K}{\varphi_3 - \varphi_2} \left[\frac{\varphi^{n+1}}{n+1} \right]_{\varphi_2}^{\varphi_3} \\ &= \frac{26,95}{0,395 - 0,272} \left[\frac{0,395^{1,14}}{1,14} - \frac{0,272^{1,14}}{1,14} \right] \\ &= 23,0955 \text{ Kg/mm}^2\end{aligned}$$

- **Tegangan Radial**

$$\begin{aligned}\sigma_r(r) &= 1,1 \cdot \sigma_{f,m,I} \cdot \ln \left(\frac{R}{r} \right) + 2\mu(R-r) \frac{p_{BH}}{s_0} \\ &= 1,1 \cdot 22,699 \cdot \ln \left(\frac{31,58}{27,8} \right) + 2 \cdot 0,08 \cdot (31,58 - 27,8) \cdot \frac{0,0278}{0,6} \\ &= 3,1691 \text{ Kg/mm}^2\end{aligned}$$



- **Tegangan Tangensial**

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \sigma_r - 1,1 \cdot \sigma_{f,m,I} \\ &= 3,169 - 1,1 \cdot 22,399 \\ &= -21,4703 \text{ Kg/mm}^2\end{aligned}$$

- **Tegangan Aksial**

$$\begin{aligned}\sigma_a &= \sigma_r \cdot e^{\frac{\mu\pi}{2}} \\ &= 3,169 \cdot e^{0,08 \cdot \frac{\pi}{2}} \\ &= 3,5934 \text{ Kg/mm}^2\end{aligned}$$

- **Tegangan Bending**

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{\sigma_{f,m,II} \cdot S_0}{2r_D} \\ &= \frac{23,096 \cdot 0,6}{2,2} \\ &= 3,4643 \text{ Kg/mm}^2\end{aligned}$$

4.3.3 Limiting Drawing Ratio dan Drawing Ratio

➤ Untuk radius *punch* 3 mm

- **Limiting Drawing Ratio**

$$\frac{1,1 \cdot \sigma_{f,m,I}}{\eta_{def}} \left[\ln \left(\frac{d_0}{d_p} \right)_{maks} - 0,25 \right] = S_u$$

$$\frac{1,1 \cdot 22,399}{0,5} \left[\ln \left(\frac{d_0}{d_p} \right)_{maks} - 0,25 \right] = 13,878$$

$$\ln \left(\frac{d_0}{d_p} \right)_{maks} = 0,532$$

$$\left(\frac{d_0}{d_p} \right)_{maks} = 1,7017$$

- **Drawing Ratio**

$$\beta = \frac{d_0}{d_p}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{82,025}{55} \\ &= 1,4914\end{aligned}$$



Tabel 4.5. Perhitungan Tegangan dengan Radius *Punch* 3, 5, 7 dan 9 mm.

r_p	$\sigma_{f,m,I}$	$\sigma_{f,m,II}$	P_{BH}	R	r	σ_r	σ_t	σ_a	σ_b	β_{maks}	β
mm	kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	mm	mm	kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²		
3	22,3994	23,0955	0,0278	31,5798	27,8	3,1691	-21,4703	3,5934	3,4643	1,7017	1,4914
5	22,3620	23,0327	0,0269	31,1007	27,8	2,7835	-21,8147	3,1563	3,4549	1,7025	1,4688
7	22,3227	22,9665	0,0261	30,6033	27,8	2,3785	-22,1765	2,697	3,445	1,7033	1,4453
9	22,2814	22,8967	0,0252	30,0864	27,8	1,9525	-22,557	2,214	3,4345	1,7042	1,4208

$\beta_{maks} > \beta$ yang berarti proses *deep drawing* ini dapat dilakukan tanpa adanya potensi *blank sobek*.

4.4 Analisis Statistik

4.4.1 Data Hasil Pengujian *Deep Drawing* Aluminium 6060

Data yang diperoleh dari pengujian adalah *strain ratio*. Untuk mendapatkan *strain ratio* maka terlebih dahulu dihitung *major strain* dan *minor strain*. Data untuk penghitungan *major strain*, *minor strain* dan *strain ratio* dicantumkan pada lampiran 1 (halaman 54). *Strain ratio* yang diperoleh dari semua variasi variabel bebas ditampilkan dalam tabel 4.6:

Tabel 4.6. Data Hasil Pengujian *Deep Drawing* Aluminium 6060

Faktor		Radius <i>Punch</i>			
		3	5	7	9
Strain ratio	1	-0,76436	-0,86008	-0,90021	-0,97296
	2	-0,81517	-0,83933	-0,95929	-0,91844
	3	-0,81089	-0,90321	-0,96384	-0,9824
Total		-2,39042	-2,60262	-2,82334	-2,8738
Rata-rata		-0,79681	-0,86754	-0,94111	-0,95793

4.4.2 Analisis Kecukupan Data

Tabel 4.7. Analisis Kecukupan Data *Strain Ratio* dengan Radius *Punch* 3 mm.

No.	(X _i)	(X _i ²)	(X _i - \bar{X})	(X _i - \bar{X}) ²
1	0,76436	0,58425	-0,03245	0,00105
2	0,81517	0,6645	0,01836	0,00034
3	0,81089	0,65755	0,01409	0,0002
Total	2,39042	1,9063	0	0,00159

- Rata-rata sampel (\bar{X})

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$= \frac{2,39042}{3}$$

$$= 0,79681$$

- Variasi sampel (σ^2)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

$$= \frac{0,00159}{2}$$

$$= 0,0008$$

- Standart deviasi (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$= \sqrt{0,0008}$$

$$= 0,02828$$

- Tingkat ketelitian (DA)

$$DA = \frac{\sigma}{X} \times 100\%$$

$$= \frac{0,02828}{0,79681} \times 100\%$$

$$= 3,54915\%$$

- Tingkat keyakinan (CL)

$$CL = 100\% - DA$$

$$= 100\% - 3,54915\%$$

$$= 96,45085\%$$

- Batas kontrol

Batas kontrol atas (UCL)

$$UCL = \bar{X} + k\sigma$$

$$= 0,79681 + 2,11487 \cdot 0,02828$$

$$= 0,85662$$



Batas kontrol bawah (LCL)

$$LCL = \bar{X} - k\sigma$$

$$= 0,79681 - 2,11487 \cdot 0,02828$$

$$= 0,737$$

- Tingkat ketelitian (S)

$$S = DA/100$$

$$= 3,54915/100$$

$$= 0,03549$$

- Kecukupan data observasi (N')

$$N' = \left[\frac{k}{S} \sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \right]^2$$

$$= \left[\frac{\frac{2,11487}{0,03549} \sqrt{3,19063 - (2,39042)^2}}{2,39042} \right]^2$$

$$= 2,97813$$

Dengan perhitungan yang sama, untuk radius *punch* 3, 5, 7 dan 9 disajikan pada tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8. Hasil Analisis Kecukupan Data Semua Variasi Radius *Punch*.

Nilai	Radius <i>Punch</i> (mm)			
	3	5	7	9
n	3	3	3	3
\bar{X}	0,79681	0,86754	0,94111	0,95793
σ^2	0,0008	0,00106	0,00126	0,00119
σ	0,02828	0,03259	0,0355	0,03453
DA%	3,54915	3,75632	3,77187	3,6044
CL	96,45085	96,24368	96,22813	96,3956
UCL	0,85662	0,93546	1,01502	1,03063
LCL	0,737	0,79962	0,86721	0,88524
S	0,03549	0,03756	0,03772	0,03604
k	2,11487	2,08412	2,08194	2,10539
N'	2,97813	2,89569	2,88964	2,9551



4.4.3 Analisis Varian Satu Arah

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh radius *punch* terhadap *strain ratio* menggunakan *die* keramik dapat dilihat dari hasil analisa variannya. Apabila nilai F_{hitung} yang diperoleh lebih besar dari F_{tabel} berarti faktor yang diuji memberi pengaruh yang nyata. Namun apabila nilai F_{hitung} lebih kecil dari nilai F_{tabel} maka faktor yang diuji tidak memberikan pengaruh yang nyata.

- Jumlah seluruh perlakuan (JK)

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \\
 &= 0,76436 + 0,81517 + 0,81089 + \dots + 0,91844 + 0,9824 \\
 &= 10,69018
 \end{aligned}$$

- Kuadrat seluruh perlakuan (K_p)

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 \\
 &= 0,76436^2 + 0,81517^2 + 0,81089^2 + \dots + 0,91844^2 + 0,9824^2 \\
 &= 9,5812
 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (fk)

$$\begin{aligned}
 &= \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2 \\
 &= \frac{[10,69018]^2}{n \cdot k} \\
 &= \frac{[10,69018]^2}{3 \cdot 4} \\
 &= 9,52334
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JK_T)

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk \\
 &= 9,5812 - 9,52334 \\
 &= 0,05786
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JK_p)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n} - fk
 \end{aligned}$$



$$= \frac{2,39042^2 + 2,60262^2 + 2,82334^2 + 2,8738^2}{3} - 9,52334 \\ = 0,04924$$

- Jumlah kuadrat galat (JK_G)
 $= JK_T - JK_P$
 $= 0,05786 - 0,04924$
 $= 0,00862$
- Kuadrat tengah perlakuan (KT_P)

$$= \frac{JK_P}{k-1} \\ = \frac{0,04924}{4-1} \\ = 0,01641$$

- Kuadrat tengah galat (KT_G)
 $= \frac{JK_G}{k(n-1)}$
 $= \frac{0,00862}{4(3-1)}$
 $= 0,00108$
- Nilai F_{hitung}

$$= \frac{KT_P}{KT_G} \\ = \frac{0,01641}{0,00108} \\ = 15,23925$$



Tabel 4.9. Tabel Analisis Varian Satu Arah

Sumber varian	db	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan (kategori)	3	0,04924	0,01641	15,23925	4,0718
Galat	8	0,00862	0,00108		
Total	11	0,05786	-	-	-

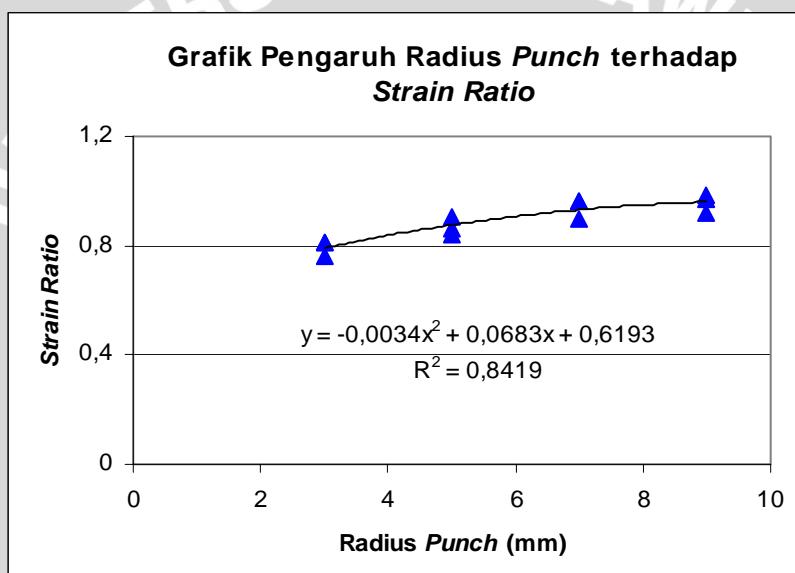
Dari tabel 4.9 diperoleh hasil F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} yang berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi radius *punch* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap *strain ratio* pada proses *deep drawing* menggunakan *die* keramik.

4.5 Grafik dan Pembahasan

4.5.1 Analisis Hubungan antara Radius *Punch* terhadap *Strain Ratio*

Setelah dilakukan perhitungan kecukupan data, didapatkan bahwa nilai N' lebih kecil dari nilai n untuk setiap variasi radius *punch* yang digunakan, sesuai dengan tabel 4.8. Hal ini menunjukkan bahwa data secara keseluruhan layak untuk dianalisa.

Hasil perhitungan analisis varian satu arah yang ditunjukkan pada tabel 4.9, menunjukkan bahwa nilai F_{hitung} lebih besar daripada nilai F_{tabel} , sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini berarti bahwa variasi radius *punch* mempengaruhi *strain ratio blank* aluminium 6060 pada proses *deep drawing* dengan *die* keramik dengan tingkat keyakinan 95%.



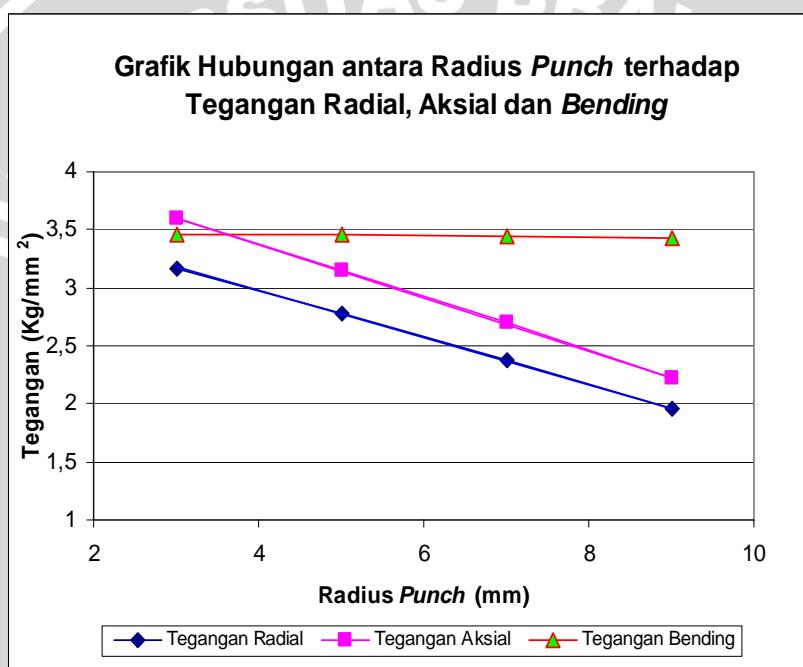
Gambar 4.5. Grafik Hubungan antara Radius *Punch* terhadap *Strain Ratio*

Pada grafik di atas terlihat bahwa perubahan radius *punch* akan mempengaruhi nilai *strain ratio*, dimana jika radius *punch* semakin besar maka nilai *strain ratio* akan semakin naik. Hal ini juga dapat dilihat pada tabel 4.6 yang menunjukkan pada radius *punch* 3 mm nilai *strain ratio* rata-rata sebesar -0,79681, pada radius *punch* 5 mm nilai *strain ratio* rata-rata sebesar -0,86754, pada radius *punch* 7 mm nilai *strain ratio* rata-rata sebesar -0,94111 dan trend ini berlanjut hingga pada radius *punch* 9 mm dengan nilai *strain ratio* rata-rata sebesar -0,95793. Tanda negatif menunjukkan adanya penyempitan pada grid lingkaran akibat deformasi.

Hal ini disebabkan karena semakin besar radius *punch* maka tegangan *bending* yang terjadi akan semakin turun. Pada radius *punch* 3 mm tegangan *bending* sebesar 3,4643 Kg/mm², pada radius *punch* 5 mm tegangan sebesar 3,4549 Kg/mm², pada

radius *punch* 7 mm tegangan *bending* sebesar 3,4448 Kg/mm² dan pada radius *punch* 9 mm tegangan *bending* yang terjadi sebesar 3,4345 Kg/mm² (tabel 4.5).

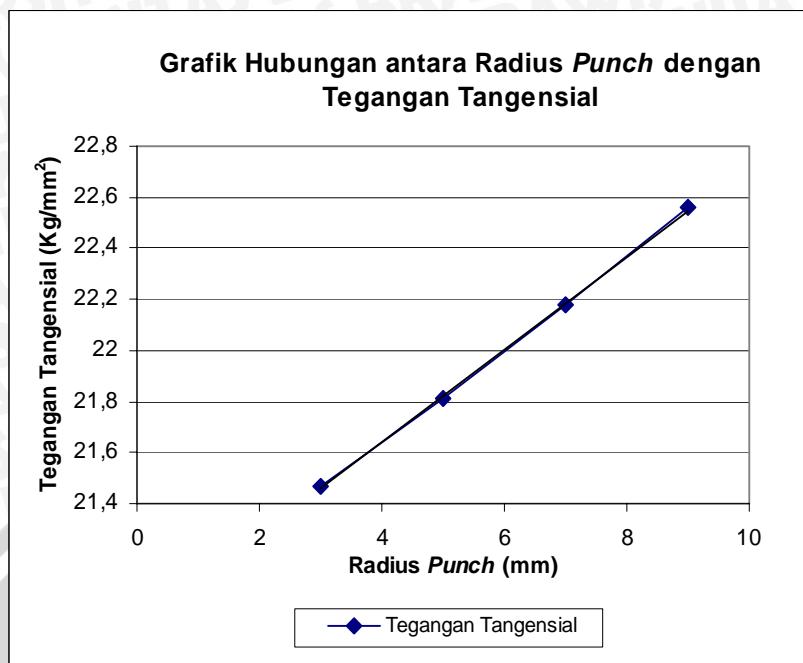
Nilai tegangan *bending* dipengaruhi diameter *blank* awal, dimana semakin besar radius *punch* maka semakin kecil diameter *blank* awal, sehingga luas penampang yang terkena gaya *drawing* akan semakin kecil dan luas penampang yang terkena gaya *blank holder* semakin sedikit sehingga semakin sedikit pula gaya yang menahan *blank* untuk masuk ke arah radius *die*. Sebaliknya semakin kecil radius *punch* maka semakin besar diameter *blank* awal, sehingga luas penampang yang terkena gaya *deep drawing* akan semakin besar dan luas penampang yang terkena gaya *blank holder* semakin lebar sehingga semakin besar pula gaya yang menahan *blank* untuk masuk ke arah radius *die*.



Gambar 4.6. Grafik Hubungan antara Radius *Punch* dengan Tegangan Radial, Aksial dan *Bending*

Sesuai dengan gambar 4.6 diketahui bahwa radius *punch* yang semakin besar akan menyebabkan nilai tegangan radial semakin turun. Hal ini disebabkan karena semakin besar radius *punch* diameter *blank* awal akan semakin kecil, karena pada awal proses *deep drawing* luas penampang terutama pada *flange* yang terkena gaya *blank holder* semakin kecil. Tegangan radial terjadi disebabkan karena adanya gaya *deep drawing* yang bekerja, sehingga *blank* pada kondisi awal akan bergerak mengalir sepanjang permukaan *die* hingga memasuki radius *die*. Hal ini sesuai dengan rumus:

$$\sigma_r(r) = 1,1 \cdot \sigma_{f,m,l} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) + 2\mu(R - r) \frac{P_{BH}}{s_0}$$



Gambar 4.7. Grafik Hubungan antara Radius *Punch* dengan Tegangan Tangensial

Pada saat yang sama selain mengalami tegangan radial *blank* juga akan mengalami tegangan tangensial disepanjang keliling *blank*. Tegangan tangensial sendiri adalah tegangan akibat pengurangan sepanjang keliling *blank* karena proses kompresi (tekanan). Pada gambar 4.7 terlihat bahwa nilai tegangan tangensial adalah negatif. Hal ini sesuai dengan ketentuan bahwa tegangan kompresi yang terjadi pada setiap proses pembentukan logam selalu bernilai negatif. Tegangan tangensial yang diperoleh dari percobaan nilainya terus meningkat, hal ini terjadi karena tegangan radial yang terjadi mengalami penurunan akibat dari luas penampang yang terkena gaya *blank holder* semakin kecil seiring dengan meningkatnya radius *punch*. Sesuai dengan rumus:

$$\sigma_t = \sigma_r - 1,1 \cdot \sigma_{f,m,I}$$

Setelah *blank* pada kondisi hingga akan memasuki radius *die* mengalami tegangan radial dan tangensial, maka *blank* memasuki radius *die* untuk di-*bending*. Tegangan yang terjadi saat *blank* memasuki daerah *bending* adalah tegangan *bending*. Tegangan *bending* dipengaruhi oleh nilai tebal *blank*, radius *die* dan tegangan alir material pada daerah *bending* ($\sigma_{f,m,II}$). Pada penelitian ini nilai tebal *blank* dan radius *die* adalah konstan, tetapi nilai $\sigma_{f,m,II}$ semakin turun, sehingga nilai tegangan *bending* juga menurun meskipun nilai penurunannya sangat kecil.

Setelah *blank* mengalami tegangan *bending*, maka *blank* akan diluruskan. Selama proses pelurusan ini *blank* mengalami tegangan aksial. Tegangan aksial sendiri

adalah tegangan pada sepanjang dinding *cup* dan memiliki arah yang sama dengan gaya *deep drawing*. Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa tegangan aksial menurun seiring dengan semakin besarnya radius *punch*. Penurunan ini terjadi karena besar tegangan aksial dipengaruhi oleh tegangan radial sesuai dengan persamaan:

$$\sigma_a = \sigma_r \cdot e^{\mu\pi/2}$$

Dari gambar 4.6 dan 4.7 di atas yang menjelaskan hubungan antara radius *punch* dengan masing-masing tegangan radial, aksial dan *bending* dimana masing-masing nilainya semakin turun, sedangkan nilai tegangan tangensial semakin naik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar radius *punch* maka nilai *strain ratio* akan semakin meningkat.



BAB V**KESIMPULAN DAN SARAN****5.1 Kesimpulan**

Dari pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Nilai *strain ratio* rata-rata terkecil diperoleh pada pengujian *deep drawing* aluminium 6060 dengan menggunakan radius *punch* 3 mm yaitu sebesar -0,79681 dan nilai *strain ratio* rata-rata terbesar diperoleh pada pengujian *deep drawing* aluminium 6060 dengan menggunakan radius *punch* 9 mm yaitu sebesar -0,95793. Tanda negatif menunjukkan adanya penyempitan pada *grid* lingkaran.

5.2 Saran

Dari penelitian di atas maka saran yang dapat diperoleh adalah:

1. Berdasarkan penelitian awal yang dilakukan, maka dapat dilakukan penelitian tentang *strain ratio* yang berkaitan dengan analisa distribusi, nilai dan arah regangan pada *blank*.
2. Dapat dikembangkan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh radius *punch* terhadap terjadinya kerutan pada *draw piece* pada *die* keramik.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1982. *ASTM International Handbook*, Parts 10. USA: West Conshohocken PA.
- Anonim. <http://www.matweb.com>, Maret 2006.
- Anonim. <http://www.teledometal spinning.com>, Sepember 2005.
- Anonim. <http://www.thefabricator.com>, September 2005.
- Bagger, C., et al. 2004. *Formability of Stainless Steel Tailored Blanks*. Denmark: Institute for Product Development. <http://tempo.ipl.dtu.dk/ipl/upload/publ/>
- Barsoum, Michel. 1997. *Fundamentals of Ceramics*. Singapore: McGraw-hill.
- Dieter, George E. 1992. *Metalurgi Mekanik*. Edisi tiga. Terjemahan Sriati Djaprie. Jakarta : Erlangga.
- Eary, F. Donald. 1974. *Techniques of Pressworking Sheet Metal*. New Jersey: Prentice Hall.
- Hosford, W. F. Dan Caddell, R.M. 1993. *Metal Forming – Mechanics and Metallurgy*. 2nd Ed. New Jersey: PTR Prentice-Hall.
- Kalpakjian, Serope. 1990. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Kataoka, S., et. al. 2005. *Tribology of Dry Deep-Drawing of Various Metal Sheets With Use of Ceramics Tools*. Japan, <http://www.sciencedirect.com>.
- Lange, Kurt. 1996. *Handbook of Metal Forming*. New York, USA: McGraw Hill Book Co.
- Marciniak, Z., et. al. 2002. *Mechanics of Sheet Metal Forming*. London: Butterworth-Heinemann.
- Midraj, M. 2005. *Lecture Sheet Metal Forming*. United Kingdom. <http://www.shef.ac.uk/mecheng>.
- Ostergaard, D. Eugene, 1967. *Advanced Die Making*. New Jersey: Prentice Hall.
- Setyafanani, A. Hasnan. 2006. “Pengaruh kedalaman *drawing* dan radius *die* terhadap gaya *drawing* pada *die* keramik”. Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Mesin FT Unibraw.
- Surdia, Tata dan Shinroku Saito. 1985. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Dainippon Gitakarya Printing.



Lampiran 1

➤ Data Perubahan *Grid* Lingkaran setelah Proses *Deep Drawing* dengan:

- Radius *Punch* 3 mm

No.	<i>Blank I</i>		<i>Blank II</i>		<i>Blank III</i>	
	a	b	a	b	a	b
1	6	4	6	4	6	4
2	6	4	6	4	6	4
3	6	4	5,8	4,2	6	4
4	6	4	5,8	4,2	5,8	4
5	5,8	4	5,8	4,2	6	4
6	5,8	4	5,8	4,2	5,8	4,2
7	5,8	4	5,8	4	5,8	4,2
8	5,8	4,2	6	4	5,8	4,2

- Radius *Punch* 5 mm

No.	<i>Blank I</i>		<i>Blank II</i>		<i>Blank III</i>	
	a	b	a	b	a	b
1	5,8	4,2	5,6	4,4	5,6	4,4
2	5,8	4,2	5,6	4,4	5,6	4,4
3	5,8	4,2	5,6	4,2	5,8	4,2
4	5,6	4,4	5,8	4,2	5,8	4,2
5	5,6	4,4	5,8	4,2	5,8	4,2
6	5,8	4,2	5,8	4,2	5,8	4,2
7	5,8	4,2	5,8	4,2	5,8	4,4
8	5,8	4,2	5,6	4,4	5,6	4,4

- Radius *Punch* 7 mm

No.	<i>Blank I</i>		<i>Blank II</i>		<i>Blank III</i>	
	a	b	a	b	a	b
1	5,4	4,6	5,4	4,6	5,4	4,6
2	5,4	4,6	5,4	4,6	5,4	4,6
3	5,6	4,4	5,6	4,6	5,4	4,6
4	5,6	4,4	5,6	4,4	5,6	4,6
5	5,6	4,4	5,6	4,4	5,6	4,4
6	5,6	4,4	5,6	4,4	5,6	4,4
7	5,6	4,4	5,6	4,4	5,6	4,4
8	5,4	4,6	5,4	4,6	5,4	4,6

- Radius *Punch* 9 mm

No.	<i>Blank I</i>		<i>Blank II</i>		<i>Blank III</i>	
	a	b	a	b	a	b
1	5,6	4,6	5,4	4,6	5,2	4,8
2	5,4	4,6	5,4	4,6	5,2	4,8
3	5,4	4,6	5,4	4,6	5,4	4,6
4	5,4	4,6	5,4	4,6	5,4	4,6
5	5,4	4,6	5,4	4,6	5,4	4,6
6	5,4	4,6	5,4	4,6	5,4	4,6
7	5,4	4,6	5,4	4,6	5,6	4,6
8	5,6	4,4	5,6	4,4	5,6	4,4

- Data Penghitungan *Major Strain* dan *Minor Strain* setelah Proses *Deep Drawing* dengan:

- Radius *Punch* 3 mm

No.	<i>Major strain</i>			<i>Minor strain</i>		
	<i>Blank I</i>	<i>Blank II</i>	<i>Blank III</i>	<i>Blank I</i>	<i>Blank II</i>	<i>Blank III</i>
	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>
1	0,18232	0,18232	0,18232	-0,22314	-0,22314	-0,22314
2	0,18232	0,18232	0,18232	-0,22314	-0,22314	-0,22314
3	0,18232	0,14842	0,18232	-0,22314	-0,17435	-0,22314
4	0,18232	0,14842	0,14842	-0,22314	-0,17435	-0,22314
5	0,14842	0,14842	0,18232	-0,22314	-0,17435	-0,22314
6	0,14842	0,14842	0,14842	-0,22314	-0,17435	-0,17435
7	0,14842	0,14842	0,14842	-0,22314	-0,22314	-0,17435
8	0,14842	0,18232	0,14842	-0,17435	-0,22314	-0,17435
Total	1,32296	1,28906	1,32296	-1,73636	-1,58999	-1,63878
Rata-rata	0,16537	0,16113	0,16537	-0,21704	-0,19875	-0,20485

- Radius *Punch* 5 mm

No.	<i>Major strain</i>			<i>Minor strain</i>		
	<i>Blank I</i>	<i>Blank II</i>	<i>Blank III</i>	<i>Blank I</i>	<i>Blank II</i>	<i>Blank III</i>
	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>
1	0,14842	0,11333	0,11333	-0,17435	-0,12783	-0,12783
2	0,14842	0,11333	0,11333	-0,17435	-0,12783	-0,12783
3	0,14842	0,11333	0,14842	-0,17435	-0,17435	-0,17435
4	0,11333	0,14842	0,14842	-0,12783	-0,17435	-0,17435
5	0,11333	0,14842	0,14842	-0,12783	-0,17435	-0,17435
6	0,14842	0,14842	0,14842	-0,17435	-0,17435	-0,17435
7	0,14842	0,14842	0,14842	-0,17435	-0,17435	-0,12783
8	0,14842	0,11333	0,11333	-0,17435	-0,12783	-0,12783
Total	1,11718	1,047	1,08209	-1,30179	-1,25527	-1,20875
Rata-rata	0,13965	0,13088	0,13526	-0,16272	-0,15691	-0,15109

- Radius *Punch* 7 mm

No.	<i>Major strain</i>			<i>Minor strain</i>		
	<i>Blank I</i>	<i>Blank II</i>	<i>Blank III</i>	<i>Blank I</i>	<i>Blank II</i>	<i>Blank III</i>
	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>	<i>cylinder</i>
1	0,07696	0,07696	0,07696	-0,08338	-0,08338	-0,08338
2	0,07696	0,07696	0,07696	-0,08338	-0,08338	-0,08338
3	0,11333	0,11333	0,07696	-0,12783	-0,08338	-0,08338
4	0,11333	0,11333	0,11333	-0,12783	-0,12783	-0,08338
5	0,11333	0,11333	0,11333	-0,12783	-0,12783	-0,12783
6	0,11333	0,11333	0,11333	-0,12783	-0,12783	-0,12783
7	0,11333	0,11333	0,11333	-0,12783	-0,12783	-0,12783
8	0,07696	0,07696	0,07696	-0,08338	-0,08338	-0,08338
Total	0,79753	0,79753	0,76116	-0,88931	-0,84486	-0,80041
Rata-rata	0,09969	0,09969	0,09515	-0,11116	-0,10561	-0,10005



- Radius Punch 9 mm

No.	Major strain			Minor strain		
	Blank I	Blank II	Blank III	Blank I	Blank II	Blank III
	cylinder	cylinder	cylinder	cylinder	cylinder	cylinder
1	0,11333	0,07696	0,03922	-0,08338	-0,08338	-0,04082
2	0,07696	0,07696	0,03922	-0,08338	-0,08338	-0,04082
3	0,07696	0,07696	0,07696	-0,08338	-0,08338	-0,08338
4	0,07696	0,07696	0,07696	-0,08338	-0,08338	-0,08338
5	0,07696	0,07696	0,07696	-0,08338	-0,08338	-0,08338
6	0,07696	0,07696	0,07696	-0,08338	-0,08338	-0,08338
7	0,07696	0,07696	0,11333	-0,08338	-0,08338	-0,08338
8	0,11333	0,11333	0,11333	-0,12783	-0,12783	-0,12783
Total	0,68842	0,65206	0,61294	-0,7115	-0,7115	-0,62639
Rata-rata	0,08605	0,08151	0,07662	-0,08894	-0,08894	-0,0783

➤ Data Penghitungan *Strain Ratio* setelah Proses Deep Drawing dengan:

- Radius Punch 3 mm

No.	Strain ratio		
	Blank I	Blank II	Blank III
	cylinder	cylinder	cylinder
1	-0,81706	-0,81706	-0,81706
2	-0,81706	-0,81706	-0,81706
3	-0,81706	-0,85126	-0,81706
4	-0,81706	-0,85126	-0,66513
5	-0,66513	-0,85126	-0,81706
6	-0,66513	-0,85126	-0,85126
7	-0,66513	-0,66513	-0,85126
8	-0,85126	-0,81706	-0,85126
Total	-6,11489	-6,52135	-6,48715
Rata-rata	-0,76436	-0,81517	-0,81089

- Radius Punch 5 mm

No.	Strain ratio		
	Blank I	Blank II	Blank III
	cylinder	cylinder	cylinder
1	-0,85126	-0,88653	-0,88653
2	-0,85126	-0,88653	-0,88653
3	-0,85126	-0,64999	-0,85126
4	-0,88653	-0,85126	-0,85126
5	-0,88653	-0,85126	-0,85126
6	-0,85126	-0,85126	-0,85126
7	-0,85126	-0,85126	-1,16104
8	-0,85126	-0,88653	-0,88653
Total	-6,88062	-6,71462	-7,22567
Rata-rata	-0,86008	-0,83933	-0,90321

- Radius Punch 7 mm

No.	Strain ratio		
	Blank I	Blank II	Blank III
	cylinder	cylinder	cylinder
1	-0,923	-0,923	-0,923
2	-0,923	-0,923	-0,923
3	-0,88653	-1,35916	-0,923
4	-0,88653	-0,88653	-1,35916
5	-0,88653	-0,88653	-0,88653
6	-0,88653	-0,88653	-0,88653
7	-0,88653	-0,88653	-0,88653
8	-0,923	-0,923	-0,923
Total	-7,20165	-7,67428	-7,71075
Rata-rata	-0,90021	-0,95929	-0,96384

- Radius Punch 9 mm

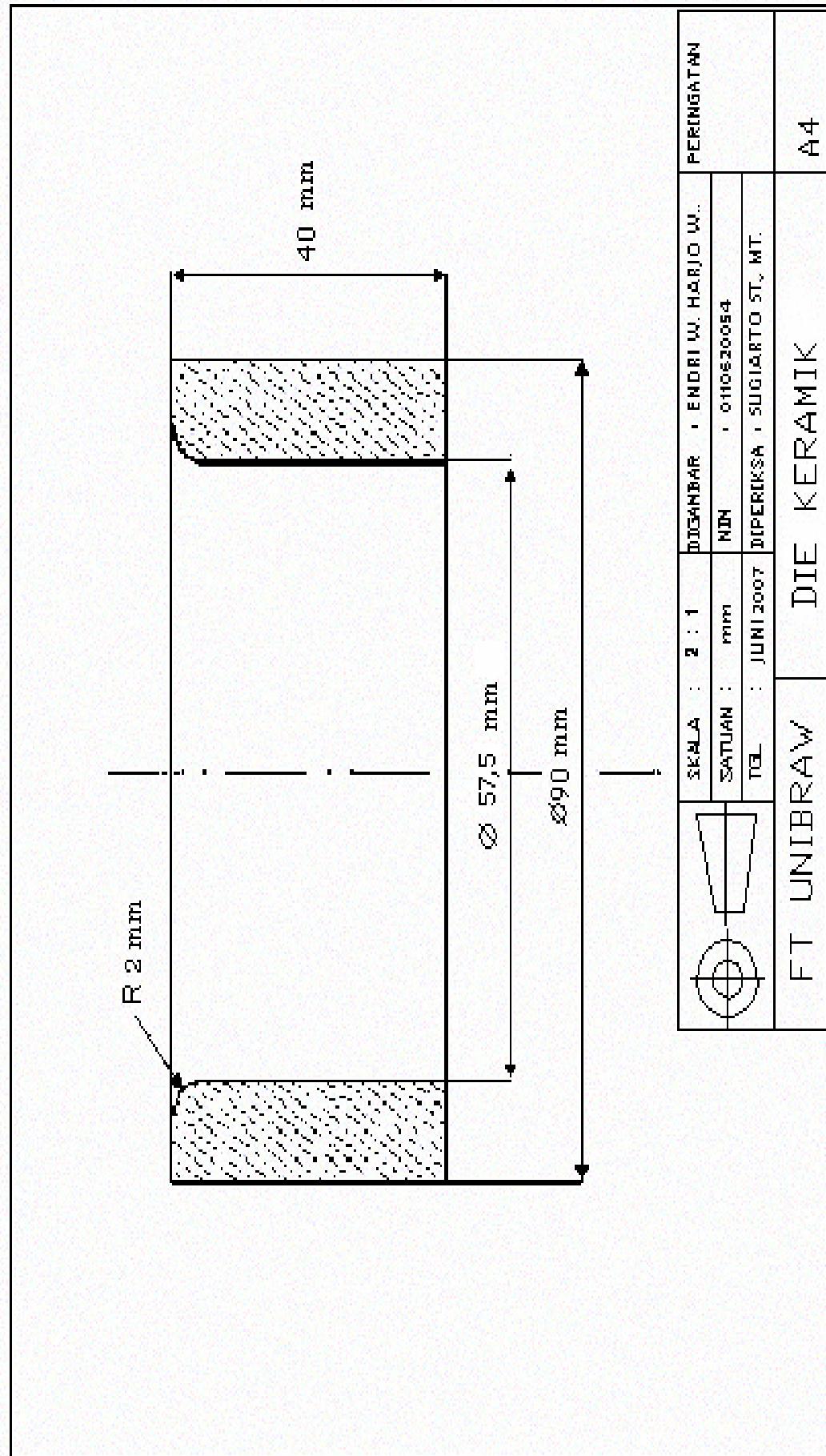
No.	Strain ratio		
	Blank I	Blank II	Blank III
	cylinder	cylinder	cylinder
1	-1,35916	-0,923	-0,96077
2	-0,923	-0,923	-0,96077
3	-0,923	-0,923	-0,923
4	-0,923	-0,923	-0,923
5	-0,923	-0,923	-0,923
6	-0,923	-0,923	-0,923
7	-0,923	-0,923	-1,35916
8	-0,88653	-0,88653	-0,88653
Total	-7,78369	-7,34753	-7,85923
Rata-rata	-0,97296	-0,91844	-0,9824

Rumus Menghitung Major Strain, Minor Strain dan Strain Ratio:

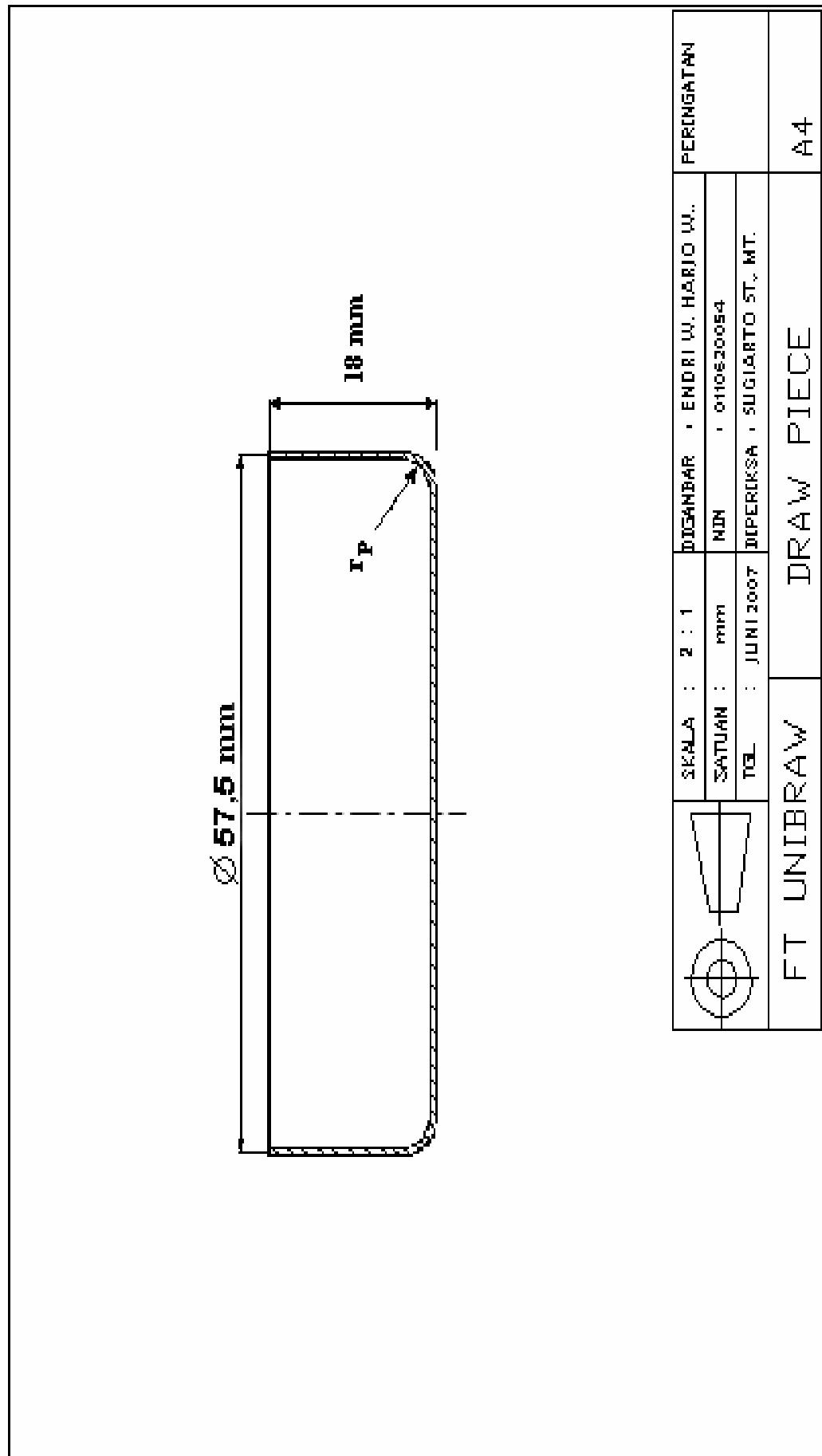
$$\varphi_1 = \ln \frac{a}{d}, \quad \varphi_2 = \ln \frac{b}{d} \quad \text{dan} \quad \beta = \frac{\varphi_1}{\varphi_2}$$

Keterangan: φ_1 = major strain
 φ_2 = minor strain
 β = strain ratio



Lampiran 2

Lampiran 2



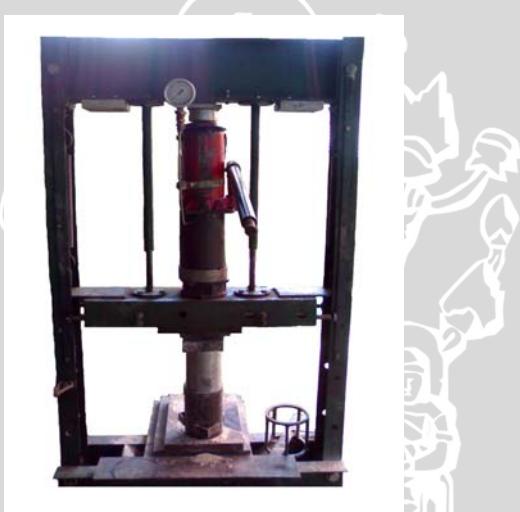
LAMPIRAN 3

Foto Alat Penelitian.

- Mesin *deep drawing*



- Mesin *press keramik*



- Tungku pembakaran keramik.



LAMPIRAN 4

Foto *Punch* dan *Die* Keramik.

■ *Punch* dengan radius *punch* 3 mm



■ *Punch* dengan radius *punch* 5 mm



■ *Punch* dengan radius *punch* 7 mm



■ *Punch* dengan radius *punch* 9 mm



■ *Die* Keramik



LAMPIRAN 5

Draw Piece Hasil Penelitian

- *Draw piece dengan radius punch 3 mm*
- *Draw piece dengan radius punch 5 mm*



- *Draw piece dengan radius punch 7 mm*
- *Draw piece dengan radius punch 9 mm*



Lampiran 6

Spesifikasi Aluminium 6060



[Advertise with MatWeb!](#)

Data sheets for over **62,000** metals, plastics, ceramics, and composites.

MATERIAL PROPERTY DATA

[HOME](#) • [SEARCH](#) • [TOOLS](#) • [SUPPLIERS](#) • [FOLDERS](#) • [ABOUT US](#) • [FAQ](#) • [LOGIN](#) • 中文站

Searches: [Advanced](#) | Material Type | Property | Composition | Trade Name | Manufacturer

Aluminum 6060 Composition Spec

Subcategory: 6000 Series Aluminum Alloy; Aluminum Alloy; Metal; Nonferrous Metal

Close Analogs:

Composition Notes:

Aluminum content reported is calculated as remainder.

Composition information provided by the Aluminum Association and is not for design.

Key Words: Aluminium 6060; AA6060

Component	Wt. %	Component	Wt. %	Component	Wt. %
Al	Max 97.8	Mg	0.35 - 0.6	Si	0.3 - 0.6
Cr	Max 0.05	Mn	Max 0.1	Ti	Max 0.1
Cu	Max 0.1	Other, each	Max 0.05	Zn	Max 0.15
Fe	0.1 - 0.3	Other, total	Max 0.15		