

**PENGARUH GAYA *BLANK HOLDER* TERHADAP KUANTITAS
CACAT KERUT PADA *DRAWPIECE OF DRY DEEP DRAWING*
MENGUNAKAN *DIE* KERAMIK**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

**PRASETYO LAKSONO
NIM. 0210620100**

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007

**PENGARUH GAYA *BLANK HOLDER* TERHADAP KUANTITAS
CACAT KERUT PADA *DRAWPIECE OF DRY DEEP DRAWING*
MENGUNAKAN *DIE* KERAMIK**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

**PRASETYO LAKSONO
NIM. 0210620100**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met
NIP. 131 574 846

Dosen Pembimbing II

Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.CSE
NIP. 132 048 543

**PENGARUH GAYA *BLANK HOLDER* TERHADAP KUANTITAS
CACAT KERUT PADA *DRAWPIECE OF DRY DEEP DRAWING*
MENGUNAKAN *DIE* KERAMIK**


Disusun oleh :

PRASETYO LAKSONO
NIM. 0210620100

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 3 Oktober 2007

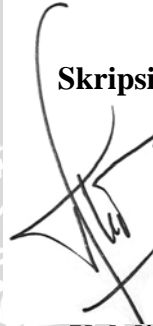
DOSEN PENGUJI

Skripsi I

8/11'07


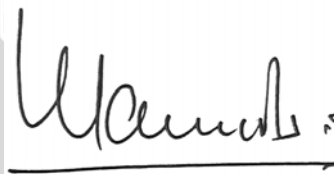
Ir. Bambang Indrayadi, MT
NIP. 131 653 469

Skripsi II



Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT
NIP. 131 280 655

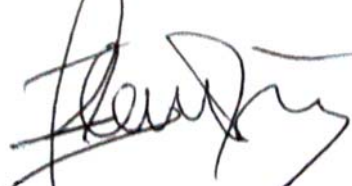
Komprehensif



Ir. Wardi Kasim, MT
NIP. 130 531 844

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. 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 yang telah membantu kelancaran pengerjaan skripsi ini.
- Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc, selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus dosen pembimbing II 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 atas masukan-masukannya.
- Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met, selaku dosen pembimbing I yang banyak memberikan bimbingan dan masukan pada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
- Orang tua dan keluarga di Jakarta yang telah memberikan segalanya yang terbaik untuk penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
- Semua pihak yang secara langsung atau tidak langsung khususnya Pakunang *family*, Dara-ku, Arek Mesin Angkatan 2002, *Deep Drawing team*, 145C *family*, Jakarta *Student Community* 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, 18 September 2007

Penyusun



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Proses Pembentukan Logam.....	5
2.2.1 Temperatur pengerjaan logam	5
2.2.2 Gaya pembentukan logam	6
2.2.3 Bentuk benda kerja logam	6
2.3 <i>Deep Drawing</i>	7
2.3.1 Komponen utama <i>deep drawing</i>	7
2.3.2 Tahapan proses <i>deep drawing</i>	8
2.3.3 Variabel <i>deep drawing</i>	11
2.3.4 Kondisi yang terjadi pada proses <i>deep drawing</i>	17
2.3.5 Regangan dan tegangan pada proses <i>deep drawing</i>	19
2.3.5.1 Analisis regangan pada proses <i>deep drawing</i>	19
2.3.5.2 Analisis tegangan pada proses <i>deep drawing</i>	21
2.4 Analisis Kecukupan Data.....	25
2.5 Analisis Varian	26
2.6 <i>Dry Deep Drawing</i>	28
2.7 Keramik	28

2.7.1 Bahan baku keramik	29
2.7.2 Proses pembuatan keramik	29
2.7.3 Jenis keramik	30
2.8 Cacat Pada Proses <i>Deep Drawing</i>	32
2.8.1 Cacat kerut	32
2.8.2 Jenis cacat kerut	33
2.9 Aluminium	33
2.9.1 Sifat umum dari berbagai jenis aluminium	33
2.10 Hipotesis	34

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian	35
3.2 Variabel Penelitian	35
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.4 Peralatan Dan Bahan Penelitian	35
3.4.1 Peralatan yang digunakan dalam penelitian	35
3.4.2 Bahan yang digunakan	36
3.5 Prosedur Penelitian	37
3.6 Rancangan Penelitian	38
3.7 Diagram Alir Penelitian	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan	40
4.1.1 Perhitungan variabel <i>deep drawing</i>	40
4.1.2 Perhitungan regangan dan tegangan	43
4.2 Data Hasil Penelitian	45
4.2.1 Data hasil uji tarik	45
4.2.2 Data cacat kerut.....	46
4.3 Analisis Statistik	48
4.3.1 Analisis kecukupan data	48
4.3.2 Analisis varian satu arah	49
4.4 Pembahasan	52
4.4.1 Pengaruh gaya <i>blank holder</i> terhadap kuantitas cacat kerut.....	53



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

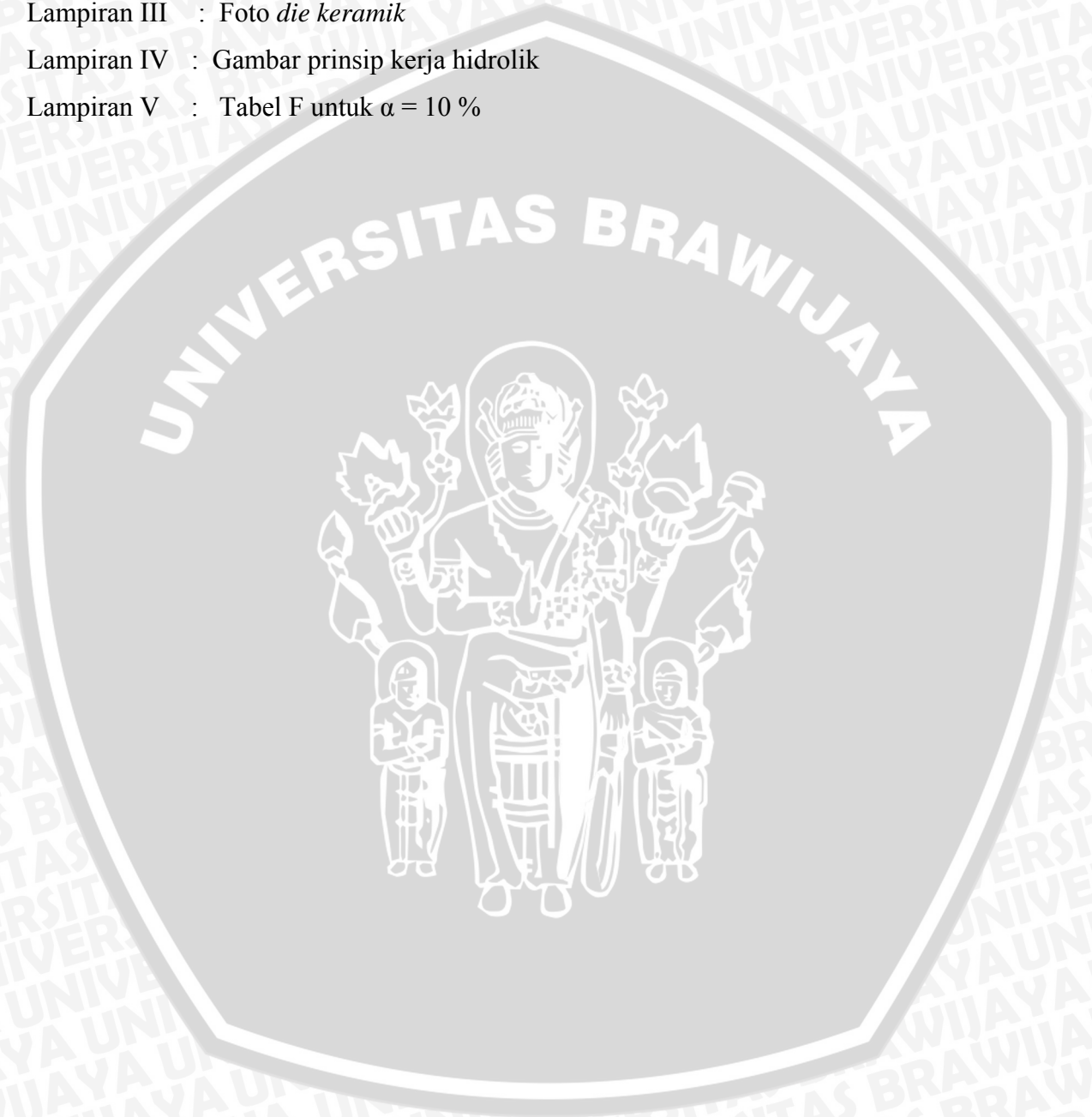
No.	Judul	hal.
Tabel 2.1	Jenis material dan kecepatan maksimal <i>deep drawing</i>	13
Tabel 2.2	Nilai β_{maks} beberapa material	15
Tabel 2.3	Analisis Kecukupan Data	25
Tabel 2.4	Nilai K_k	26
Tabel 2.5	Analisis varian satu arah	28
Tabel 2.6	Beberapa contoh aplikasi keramik tradisional	31
Tabel 2.7	Beberapa sifat keramik modern	31
Tabel 3.1	Ukuran standar pengujian ASTM – B 557 M.....	37
Tabel 3.2	Rancangan pengambilan data	38
Tabel 4.1	Data hasil pengujian uji tarik aluminium 6060.....	45
Tabel 4.2	Hasil perhitungan tegangan sejati dan regangan sejati aluminium 6060 ...	46
Tabel 4.3	Data kuantitas cacat kerut pada bagian <i>flange</i>	46
Tabel 4.4	Data kuantitas cacat kerut pada bagian dinding (<i>wall</i>).....	47
Tabel 4.5	Data tinggi kerutan pada bagian <i>flange</i>	47
Tabel 4.6	Data tinggi kerutan pada bagian dinding (<i>wall</i>)	47
Tabel 4.7	Analisis kecukupan data kuantitas cacat kerut variasi gaya <i>blank holder</i> 76 kgf pada <i>flange</i>	48
Tabel 4.8	Hasil analisis kecukupan data kuantitas cacat kerut pada bagian <i>flange</i>	49
Tabel 4.9	Hasil analisis kecukupan data kuantitas cacat kerut pada bagian <i>wall</i>	49
Tabel 4.10	Tabel analisis varian satu arah (pada <i>flange</i>).....	51
Tabel 4.11	Tabel analisis varian satu arah (pada <i>wall</i>).....	52

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	hal.
Gambar 2.1	<i>Komponen Utama Deep Drawing</i>	7
Gambar 2.2	Kontak awal proses <i>deep drawing</i>	8
Gambar 2.3	<i>Bending</i> proses <i>deep drawing</i>	9
Gambar 2.4	<i>Straightening</i> proses <i>deep drawing</i>	9
Gambar 2.5	Tahap akhir proses <i>deep drawing</i>	10
Gambar 2.6	Variabel pada proses <i>deep drawing</i>	10
Gambar 2.7	Persamaan untuk menghitung luas bagian <i>drawpiece</i>	11
Gambar 2.8	Kompresi pada <i>blank</i> selama proses <i>drawing</i>	17
Gambar 2.9	Tarikan pada dinding dan bentuk deformasi lainnya pada <i>Cup</i>	18
Gambar 2.10	Tahap <i>deep drawing</i> dan tegangan pada proses <i>deep drawing</i>	18
Gambar 2.11	Hubungan geometris <i>bending</i> dan <i>unbending</i> pada radius <i>die</i> ...	22
Gambar 2.12	Kondisi gesekan pada radius <i>die</i>	24
Gambar 2.13	Jenis <i>Wrinkle</i>	33
Gambar 3.1	Dimensi benda kerja/ <i>drawpiece</i>	36
Gambar 3.2	Dimensi <i>die</i>	36
Gambar 3.3	Skematis standar pengujian ASTM – B 557 M	37
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian	39
Gambar 4.1	Diagram <i>Limiting Drawing Ratio</i> dan <i>Drawing Ratio</i>	53
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara gaya <i>blank holder</i> dengan kuantitas cacat kerut pada bagian <i>flange</i>	54
Gambar 4.3	Grafik hubungan antara gaya <i>blank holder</i> dengan kuantitas cacat kerut pada bagian dinding (<i>wall</i>).....	54
Gambar 4.4	Grafik hubungan gaya <i>blank holder</i> dengan tinggi kerutan pada bagian <i>flange</i>	55
Gambar 4.5	Grafik hubungan gaya <i>blank holder</i> dengan tinggi kerutan pada bagian dinding (<i>wall</i>).....	55

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran I	: Foto <i>drawpiece</i> hasil pengujian <i>deep drawing</i>
Lampiran II	: Foto alat penelitian
Lampiran III	: Foto <i>die keramik</i>
Lampiran IV	: Gambar prinsip kerja hidrolik
Lampiran V	: Tabel F untuk $\alpha = 10\%$



RINGKASAN

PRASETYO LAKSONO, 2007. Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, September 2007 Pengaruh Gaya Blank Holder Terhadap Kuantitas Cacat Kerut Pada Drawpiece Of Dry Deep Drawing Menggunakan Die Keramik. Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya. **Dosen Pembimbing I : Ir. Wahyono Suprpto, MT. Met., Dosen Pembimbing II : Ir. Tjuk Oerbandono M.Sc.CSE.**

Penggunaan pelumas dalam proses *deep drawing* tidak dapat di eliminir karena pelumas berperan untuk mengurangi gesekan antara alat dan benda kerja. Tetapi pembuangan pelumas setelah proses *deep drawing* akan mengakibatkan pencemaran lingkungan. Untuk itu penggunaan *die* keramik dalam proses *deep drawing* dapat dijadikan alternatif agar proses *deep drawing* dapat dilakukan tanpa menggunakan pelumas. Parameter-parameter dalam proses *deep drawing* pun harus diketahui agar tidak terjadi cacat pada *drawpiece* yang dihasilkan dari proses tersebut. Salah satunya ialah gaya *blank holder*.

Pada penelitian ini, *die* keramik terbuat dari 50% *clay*, 25% silika, dan 25% *feldspar*. Material benda kerja yang digunakan ialah *sheet* alumunium 6060, sedangkan gaya *blank holder* yang digunakan adalah 76 kgf, 152 kgf, 228 kgf, 304 kgf dan 380 kgf berfungsi sebagai variabel bebas. Sedangkan untuk variabel terikatnya adalah kuantitas cacat kerut pada *drawpiece*, dan untuk parameter kendali adalah kedalaman *deep drawing*, radius *fillet die*, radius *fillet punch*, diameter awal *blank*, tebal *blank* dan diameter dalam *die*. Selanjutnya data yang diperoleh diolah menggunakan analisis kecukupan data dan analisis varian satu arah untuk mengetahui pengaruh gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut.

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa gaya *blank holder* berpengaruh terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi pada *drawpiece*, baik pada bagian *flange* maupun dinding (*wall*). Dari semua variasi gaya *blank holder*, kuantitas cacat kerut minimum pada *drawpiece* diperoleh pada pengujian dengan gaya *blank holder* sebesar 380 kgf yang menghasilkan kuantitas cacat kerut sebanyak 20 kerutan pada bagian *flange* dan 5 kerutan pada bagian dinding (*wall*).

Kata Kunci : *Deep drawing*, Gaya *blank holder*, *Die* keramik, Cacat kerut.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu produk manufaktur diharapkan dapat memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Untuk itu diperlukan pengupayaan dalam proses pembuatannya agar dapat mengurangi terjadinya cacat pada produk yang dihasilkan. Pada proses *deep drawing*, cacat yang umumnya terjadi pada produk ialah cacat kerut dan cacat sobek. Hal ini disebabkan karena pada proses *deep drawing* terjadi aliran *blank* menuju lubang *die* sehingga *blank* tersebut mengalami pengurangan diameter, dari diameter awal *blank* menjadi diameter lubang *die*. Cacat kerut terjadi apabila aliran *blank* tidak terkendali, sedangkan cacat sobek terjadi apabila *blank* tidak dapat mengalir.

Deep drawing merupakan proses pembentukan logam dimana *blank* atau *workpiece*, yang biasanya ditahan dengan *blank holder*, ditekan kedalam melalui *die* dengan menggunakan *punch* untuk membentuk komponen berlembah (*hollow*) (Kurt Lange, 1985). *Blank holder* umumnya digunakan pada proses *deep drawing* untuk menekan *blank* agar aliran *blank* dapat terkendali dan menghindari terjadinya cacat kerut pada produk yang dihasilkan. Akibat penekanan *blank holder*, maka timbul gesekan antara *blank* dengan *blank holder* dan *blank* dengan permukaan *die*, apabila gesekan yang terjadi terlalu besar maka dapat diperkirakan bahwa produk yang dihasilkan akan mengalami cacat sobek, sehingga diperlukan suatu pelumasan guna mereduksi gesekan yang terjadi ketika proses tersebut berlangsung.

Pelumas berperan penting dalam proses pembentukan logam guna mengurangi gesekan antara alat dan benda kerja. Karena itu, penggunaan pelumas sering kali tak terhindarkan dalam proses pembentukan logam guna mensukseskan proses produksi. Akan tetapi, pembuangan pelumas besar-besaran dalam proses produksi setiap harinya telah menjadi gangguan tersendiri terhadap lingkungan hidup secara global. Dari situs *wikipedia foundation, inc* didapat informasi bahwa pada tahun 2006 diperkirakan sekitar 40% dari pelumas sisa produksi industri pembentukan logam telah dibuang ke lingkungan. Untuk itu diperlukan suatu metode proses pembentukan logam yang tidak menghasilkan polutan pelumas atau dengan kata lain metode tersebut ramah lingkungan.

Beberapa upaya yang dilakukan telah menghasilkan suatu metode proses pembentukan logam yang ramah lingkungan, diantaranya dengan digunakannya (S. Kataoka, et al, 2003) : (1) pelumas bebas *chlorine*, (2) pelumas bebas *amine*,

(3) pelumas bebas *bonderite*, (4) penyederhanaan atau pengurangan proses pembersihan setelah pelumasan, dan akhirnya, (5) pembentukan logam dengan cara semi-kering atau kering. Dari beberapa metode diatas, metode pembentukan dengan cara kering (*dry deep drawing*) pun pada akhirnya menjadi pilihan karena tidak menghasilkan polutan pelumas, namun proses ini mengalami banyak kesulitan ketika diaplikasikan pada *die* logam secara umum. Salah satu solusi yang mulai dikembangkan saat ini adalah pemakaian keramik sebagai *die* (S. Kataoka, et al, 2003). Dalam aplikasinya *die* keramik tidak memerlukan pelumas, untuk itu perlu dilakukan evaluasi terhadap produk yang dihasilkan dari proses *dry deep drawing* dengan menggunakan *die* keramik.

Berdasarkan hal tersebut diatas maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi pada *drawpiece of dry deep drawing* menggunakan *die* keramik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan diungkap dalam skripsi ini adalah bagaimana pengaruh variasi gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi pada *drawpiece of dry deep drawing* menggunakan *die* keramik.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjadikan penelitian ini lebih terarah maka perlu ditetapkan batasan-batasan masalah yang meliputi hal-hal berikut ini :

1. *Blank* diperlakukan dalam kondisi yang sama untuk masing-masing perlakuan.
2. Lingkup penelitian adalah proses *deep drawing* dengan *sheet* Aluminium pada suhu ruang, menggunakan *die* keramik dengan koefisien gesek dianggap konstan sedangkan mikrostruktur dan ikatan kimia keramik tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian.
3. Konstruksi dan mekanisme alat penelitian tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian ini.
4. Rambatan panas yang terjadi selama proses *dry deep drawing* tidak melampaui suhu rekristalisasi sehingga dapat diabaikan.
5. Evaluasi tinggi cacat kerut hanya sebatas pada fungsinya untuk memprediksi gaya *blank holder* optimum.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pemanfaatan keramik dalam proses *deep drawing*.
2. Upaya untuk mereduksi cacat kerut yang terjadi pada *drawpiece*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang bisa didapatkan pada penelitian ini adalah :

1. Memberikan sumbangan berupa hasil penelitian kepada teknologi ramah lingkungan dalam bidang pembentukan logam khususnya *deep drawing*.
2. Dapat dijadikan referensi untuk pengembangan teknologi pembentukan logam dengan *dry deep drawing* dalam penelitian-penelitian selanjutnya.
3. Mengetahui proses *dry deep drawing* menggunakan *die* keramik terutama mengenai pengaruh gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi pada *drawpiece dry deep drawing*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

S. Kataoka , M. Murakawa , T. Aizawa , dan H. Ike. (2003); *Tribology of dry deep-drawing of various metal sheets with use of ceramics tools*, telah melakukan penelitian mengenai penggunaan *die* keramik untuk proses *dry deep drawing* terhadap *sheet* logam yang kemudian dibandingkan dengan penggunaan *die* baja. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diantaranya ialah efek signifikan dari *die* keramik ditemukan pada percobaan dengan material *sheet* berlapis seng, karena mampu menghasilkan nilai *LDR* yang tinggi

Mehmet Ali Piskin, (2005), *Computer Aided Modeling Of Wrinkling And Its Prevention*, telah melakukan penelitian simulasi tentang cacat kerut pada proses *deep drawing*. Dengan menggunakan *software* elemen hingga untuk mensimulasikan proses *deep drawing* untuk benda yang berbentuk silinder dan benda yang berbentuk persegi. Proses permodelan dilakukan dengan dua tahap, yang pertama dengan menggunakan program permodelan solid dimana *tools* dan *blank* dibuat model 3 dimensi. Dan yang kedua menggunakan *software* elemen hingga untuk pemberian *meshing* pada model solid yang telah dibentuk tadi. Proses simulasi *deep drawing* dilakukan menggunakan *blank holder* dan tanpa *blank holder* dengan memvariasikan kedalaman *deep drawing*. Dari penelitiannya diperoleh bahwa benda kerja hasil simulasi *deep drawing* dengan menggunakan *blank holder* lebih baik daripada hasil simulasi *deep drawing* tanpa menggunakan *blank holder*, hal ini karena tidak terjadi cacat kerut pada benda kerja hasil *deep drawing* dengan menggunakan *blank holder*.

Ahmad Hasnan, (2006) telah melakukan penelitian dengan judul “*Pengaruh kedalaman drawing dan radius die terhadap gaya drawing pada die keramik*”. Dalam penelitian ini material *blank* yang dipakai adalah *aluminium* 6060 dengan ketebalan 0,15 mm. Sedangkan untuk *die* dibuat dari keramik. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah gaya *drawing* semakin berkurang dengan bertambahnya radius *die*, tetapi gaya *drawing* semakin meningkat dengan bertambahnya kedalaman *drawing*.

2.2 Proses Pembentukan Logam

Prinsip dasar pembentukan logam adalah melakukan perubahan bentuk pada benda kerja (logam) dengan cara memberikan gaya dari luar sehingga logam mengalami deformasi plastis. Deformasi plastis dapat terjadi bila gaya yang diberikan lebih besar dari kekuatan luluh benda kerja sehingga benda kerja tersebut mengalami regangan permanen. Beberapa contoh proses pembentukan logam ialah pengerolan (*rolling*), tempa (*forging*), ekstrusi, *deep drawing*, dan lain – lain. Proses pembentukan logam itu sendiri dapat diklasifikasikan dengan berbagai cara, yaitu :

1. Berdasarkan temperatur pengerjaan
2. Berdasarkan gaya pembentukan
3. Berdasarkan bentuk benda kerja

2.2.1 Temperatur pengerjaan logam

Berdasarkan temperatur pengerjaannya, proses pembentukan logam diklasifikasikan menjadi 3, yaitu (Serhat, 2006) :

1. Proses pengerjaan panas (*Hot working*)

Proses pengerjaan panas didefinisikan sebagai proses pembentukan logam yang dilakukan pada temperatur 0,5-0,75 dari temperatur leburnya. Pada proses ini material menjadi lunak sehingga dengan gaya pembentukan yang relatif kecil deformasi yang terjadi pada material dapat relatif besar. Tetapi pada pengerjaan panas mudah terjadi oksidasi dan pembentukan kerak pada permukaan logam, sehingga permukaan benda hasil pengerjaan ini tidak halus.

2. Proses pengerjaan panas sedang (*Warm working*)

Proses *warm working* didefinisikan sebagai proses pembentukan logam yang dilakukan pada temperatur 0,3-0,5 dari temperatur leburnya. Gaya pembentukan pada pengerjaan panas sedang (*Warm working*) lebih kecil dibandingkan dengan pengerjaan dingin.

3. Proses pengerjaan dingin (*Cold working*)

Proses pengerjaan dingin didefinisikan sebagai proses pembentukan logam yang dilakukan pada temperatur ruangan. Pada proses ini benda kerja mengalami pengerasan regangan yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan material sehingga deformasi yang dihasilkan pada proses ini relatif kecil. Apabila

dipaksakan deformasi yang besar maka logam tersebut akan mengalami kegagalan (sobek/patah). Permukaan benda yang dihasilkan dari pengerjaan dingin memiliki permukaan yang halus.

2.2.2 Gaya pembentukan logam

Pembentukan logam berdasarkan gaya pembentukan dikelompokkan atas :

1. Pembentukan dengan tekanan

Tegangan yang bekerja pada daerah deformasi adalah tegangan tekan.

Contoh : *forging*

2. Pembentukan dengan tekanan dan tarikan

Tegangan yang terjadi pada daerah deformasi adalah tegangan tekan dan tegangan tarik.

Contoh : *deep drawing*

3. Pembentukan dengan tarikan

Perubahan bentuk di daerah deformasi disebabkan oleh tegangan tarik

Contoh : *stretch forming*

4. Pembentukan dengan tekukan

Perubahan bentuk di daerah deformasi disebabkan oleh tegangan tekuk

Contoh : *bending*

5. Pembentukan dengan geseran

Perubahan bentuk di daerah deformasi disebabkan oleh tegangan geser.

Contoh : *blanking*

2.2.3 Bentuk benda kerja logam

Berdasarkan bentuk benda kerjanya, proses pembentukan logam dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Pembentukan benda kerja pejal

Pada kelompok ini terjadi perubahan tebal yang signifikan pada benda kerja selama diproses. Biasanya dilakukan untuk membuat bahan setengah jadi.

2. Pembentukan benda kerja lembaran (*sheet*)

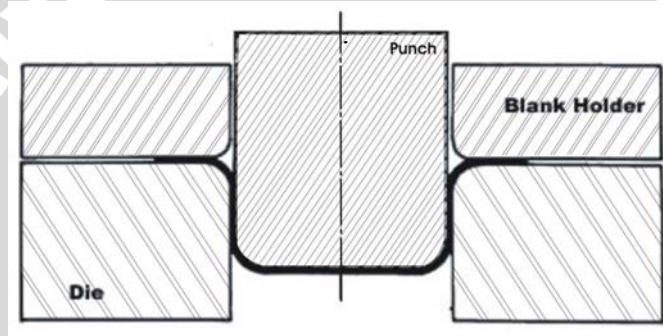
Benda kerja pada kelompok ini tebal benda kerja dapat dianggap tetap selama proses terjadi. Biasanya dilakukan untuk membuat suatu produk.

2.3 Deep Drawing

Deep drawing adalah sebuah proses dimana *blank* atau *workpiece*, yang biasanya ditahan dengan *blank holder*, ditekan kedalam melalui *die* dengan menggunakan *punch* untuk membentuk komponen menyerupai lembah (*hollow*) (Kurt Lange, 1985). Material dasar dalam proses *deep drawing* adalah lembaran logam (*sheet metal*) yang disebut *blank* sedangkan produk yang dihasilkan disebut *drawpiece*.

2.3.1 Komponen Utama Deep Drawing

Untuk melakukan proses *deep drawing*, diperlukan beberapa komponen agar proses *deep drawing* dapat berjalan dengan baik. Secara umum, komponen-komponen dalam proses *deep drawing* ditunjukkan dalam gambar 2.1 dibawah ini



Gambar 2.1 *Komponen Utama Deep Drawing*

Sumber : www.ercnsm.org, 2005

Dari gambar 2.1 Komponen – komponen tersebut ialah :

1. **Punch**

Punch merupakan bagian yang bergerak menuju lubang *die* dan berfungsi meneruskan gaya dari sumber gaya yang selanjutnya digunakan untuk menekan *blank* sampai kedalaman yang diinginkan.

2. **Die**

Die merupakan bagian yang membatasi gerakan *blank* yang tertekan oleh *punch* sehingga bentuk akhir *blank* sesuai dengan perencanaan. Bentuk dan dimensi *die* bervariasi sesuai dengan *drawpiece* yang direncanakan.

3. **Blank holder**

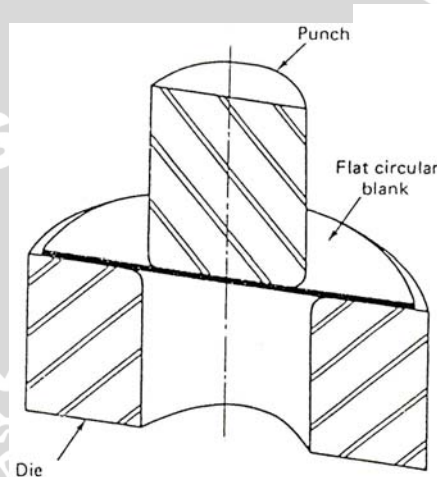
Blank holder merupakan bagian yang menjepit *blank* agar aliran *blank* dapat terkendali.

2.3.2 Tahapan Proses *Deep Drawing*

Dalam proses *deep drawing*, terdapat tahapan – tahapan untuk membentuk suatu produk. Secara umum tahapan tersebut ialah :

1. Kontak awal (*Initial contact*)

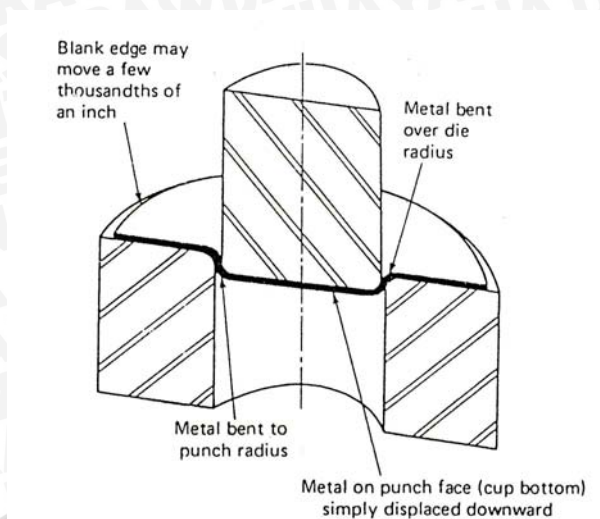
Blank ditekan oleh *blank holder* agar tidak bergeser dan *punch* bergerak dari atas ke bawah hingga menyentuh permukaan *blank*, seperti pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Kontak awal proses *deep drawing*
Sumber : Eary. F. D, 1974

2. Pembengkokan (*Bending*)

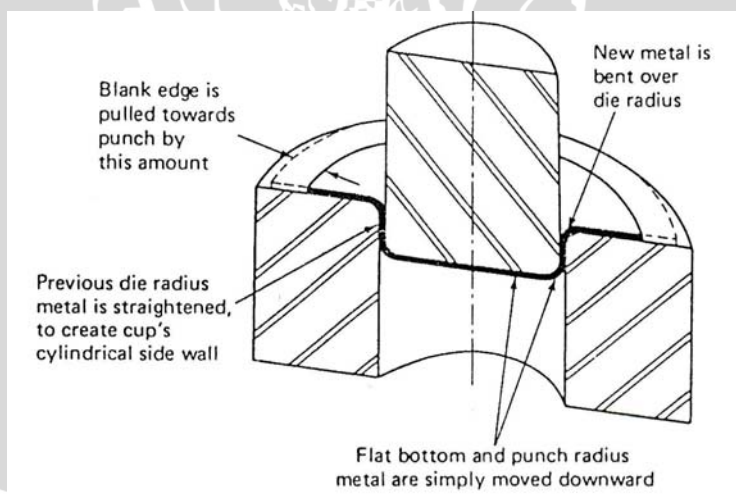
Seiring gerakan awal turunnya *punch* kedalam *die*, *blank* dibengkokkan sepanjang radius *punch*, dan bagian yang berdekatan dengannya akan dibengkokkan melewati radius *die*, seperti pada gambar 2.3. Tepi *blank* akan bergerak sedikit ke arah *punch*, namun masih dapat diabaikan keberadaannya. Pada langkah ini, proses yang terjadi hanya merupakan *bending* atau *forming* sederhana, dan proses *deep drawing* yang sesungguhnya belum berlangsung. Gerakan *punch* selanjutnya dapat menyebabkan *tearing* apabila logam tidak dapat mengalir sehingga kedalaman yang diperoleh pun sangat terbatas.



Gambar 2.3 : *Bending proses deep drawing*
 Sumber : Eary. F. D, 1974

3. Pelurusan (*Straightening*)

Pada proses berikutnya, *punch* akan bergerak kebawah sedikit dari jarak total pergerakannya. Pada langkah ini, dasar *cup* akan bergerak lebih kebawah seperti terlihat pada gambar 2.4. Bagian yang telah dibengkokkan oleh *punch* pun akan bergerak seiring dengan pergerakan dasar *cup*. Kondisi berikutnya yang terjadi adalah adanya pelurusan kembali bagian logam yang sebelumnya telah dibengkokkan diatas radius *die*. Dan bagian luar *blank* berikutnya mengalami proses pembengkokan sepanjang radius *die*.

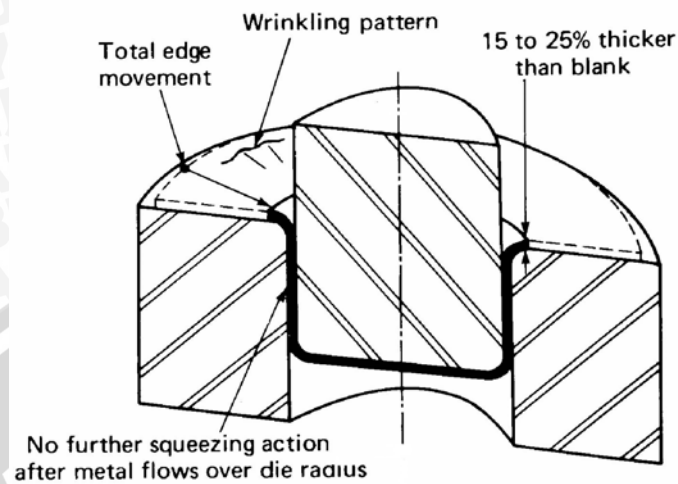


Gambar 2.4 *Straightening proses deep drawing*
 Sumber : Eary. F. D, 1974

4. Tahap Akhir Proses *Deep Drawing*

Saat mencapai tahap akhir dari proses *deep drawing* *blank* mengalami penebalan didaerah *flange* sebesar 15 sampai 25% (Eary. F. D, 1974). Selain

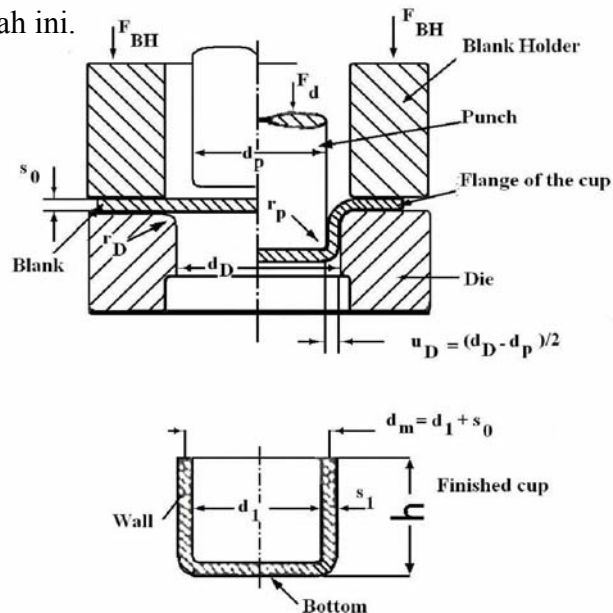
itu, benda kerja yang dihasilkan sering mengalami cacat kerut (*wrinkle*) pada bagian *flange*. Tahap akhir proses *deep drawing* dapat diilustrasikan pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Tahap akhir proses *deep drawing*
Sumber : Eary, F. D. 1974

2.3.3 Variabel *Deep Drawing*

Beberapa variabel yang terdapat dalam proses *deep drawing* ditunjukkan pada gambar 2.6 dibawah ini.



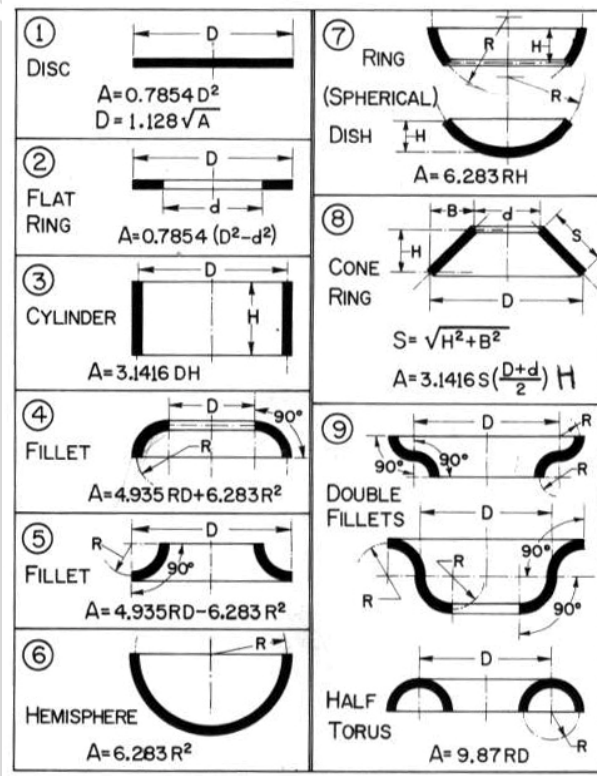
Gambar 2.6. Variabel pada proses *deep drawing*
Sumber : Kurt lange, 1985

Variabel – variabel yang mempengaruhi proses *deep drawing*, antara lain :

1. Diameter *Blank*

Besar diameter *blank* disesuaikan dengan produk yang akan dibuat. Jika diameter *blank* terlalu kecil, akibatnya produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang direncanakan. Sebaliknya jika diameter *blank* terlalu besar maka kemungkinan terjadi cacat kerut akan semakin besar. Dalam perhitungan, tebal *blank* dianggap tidak berubah selama terjadi proses *deep drawing*.

Langkah pertama untuk menghitung diameter *blank* yang dibutuhkan, adalah menghitung luas bagian-bagian *drawpiece* seperti ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Persamaan untuk menghitung luas bagian *drawpiece*
Sumber : D. Eugene Ostergaard, 1967

Setelah didapat luas total *drawpiece*, maka diameter *blank* yang dibutuhkan juga dapat dihitung dengan persamaan 2.1 atau 2.2 (D. Eugene Ostergaard, 1967)

$$d_0 = \sqrt{\frac{4A_{total}}{\pi}} \quad (2.1)$$

$$d_0 = 1.128 \cdot \sqrt{A_{total}} \quad (2.2)$$

Yang mana:

$$d_0 = \text{Diameter awal blank} \quad [\text{mm}]$$

$$A_{total} = \text{Luas total drawpiece} \quad [\text{mm}^2]$$

2. Clearence

Clearence atau kelonggaran adalah jarak antara dinding *punch* dan dinding *die* (dapat dilihat pada gambar 2.6). Pada umumnya besar *clearence* tersebut 7% - 20% lebih besar dari tebal *sheet* metal, bila celah *die* terlalu kecil atau kurang dari tebal *sheet*, *sheet* dapat mengalami penipisan (*ironing*) dan bila besar *clearence* melebihi toleransi 20% dapat mengakibatkan terjadinya kerutan (Donaldson, 1986). Untuk menentukan *clearence* pada proses *deep drawing* dengan *sheet* aluminium dapat menggunakan persamaan 2.3 (Kurt Lange, 1985):

$$U_D = s_0 + 0,02\sqrt{10 \cdot s_0} \quad (2.3)$$

Yang mana :

$$U_D = \text{Clearence} \quad [\text{mm}]$$

$$s_0 = \text{Tebal sheet} \quad [\text{mm}]$$

3. Radius Die

Dalam hubungannya dengan gaya yang bekerja pada proses *drawing*, semakin besar radius *die* maka gaya *drawing* akan semakin kecil (Ahmad Hasnan, 2006). Radius *die* ditunjukkan pada gambar 2.6. Besar radius *die* tergantung pada diameter dan ketebalan *blank*. Besar radius *die* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4 berikut (Kurt Lange, 1985):

$$r_D = 0,035 [50 + (d_0 - d_1)]\sqrt{s_0} \quad (2.4)$$

Yang mana :

$$r_D = \text{Radius die} \quad [\text{mm}]$$

$$d_I = \text{Diameter cup} \quad [\text{mm}]$$

4. Radius Punch

Penentuan ukuran radius dan diameter *punch* disesuaikan dengan dimensi akhir dari produk yang akan dihasilkan. Radius *punch* harus lebih besar 3–5 kali radius *die* (Kurt Lange,1985). Radius punch dapat dilihat pada gambar 2.6.

5. Kecepatan Deep Drawing

Kecepatan *deep drawing* yang tidak sesuai dapat mengakibatkan cacat pada *drawpiece* sehingga sebelum dilakukan proses *deep drawing* perlu diperhitungkan kecepatan yang sesuai dengan dengan jenis material *sheet metal*. Tabel 2.1 menunjukkan kecepatan maksimum beberapa jenis material yang biasa digunakan.

Tabel 2.1. Jenis material dan kecepatan maksimal *deep drawing*

Material	Kecepatan [m.s ⁻¹]
<i>Aluminum</i>	0,75
<i>Brass</i>	1
<i>Copper</i>	0,75
<i>Steel</i>	0,275
<i>Stainless steel</i>	0,2

Sumber : D. Eugene Ostergaard, 1967

6. Ketebalan Blank

Ketebalan *blank* (s_0) akan memberi pengaruh terhadap cacat kerut yang terjadi. *Blank* yang lebih tebal memiliki kecenderungan rendah terhadap terjadinya kerutan, sehingga dimungkinkan untuk menggunakan gaya *blank holder* yang relatif kecil.

7. Ultimate Tensile Strength (UTS)

Nilai kekuatan tarik maksimum diperoleh dari uji tarik dan ditunjukkan oleh nilai tegangan tarik maksimum. Tegangan tarik maksimum adalah tegangan tarik terbesar yang dapat diterima material. Material dengan nilai UTS rendah akan mudah mengalami cacat sobek saat dibentuk.

8. Drawing Ratio

Drawing ratio (β) adalah nilai yang menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk di-*deep drawing*. *Drawing ratio* dapat dihitung dengan persamaan 2.5 (Kurt Lange, 1985). Untuk mencegah terjadinya kegagalan dalam proses *deep drawing*, nilai *drawing ratio* tidak boleh melebihi nilai *limiting drawing ratio* (β_{maks}).

$$\beta = \left(\frac{d_0}{d_p} \right) \tag{2.5}$$

Yang mana :

$$d_0 = \text{Diameter awal blank} \quad [\text{mm}]$$

$$d_p = d_D - 2U_D = \text{Diameter punch} \quad [\text{mm}]$$

9. Limiting Drawing Ratio

Limiting drawing ratio merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan material untuk di-*deep drawing* tanpa mengalami kegagalan (cacat sobek). Nilai *limiting drawing ratio* (β_{maks}) dari suatu *sheet* dapat dihitung dengan persamaan 2.6 (Kurt Lange, 1985) :

$$\frac{1,1 \cdot \sigma_{fm,I}}{\eta_{def}} \left[\ln \left(\frac{d_0}{d_p} \right)_{maks} - 0,25 \right] = \sigma_u \tag{2.6}$$

Yang mana :

$$\left(\frac{d_0}{d_p} \right)_{maks} = \beta_{maks} = \text{Limiting drawing ratio}$$

$$\sigma_u = \text{Tegangan tarik maksimum bahan} \quad [\text{kgf.mm}^{-2}]$$

$\sigma_{f,m,l}$ = Tegangan alir material pada daerah *flange* [kgf.mm⁻²]

η_{def} = Efisiensi deformasi untuk proses *deep drawing* besarnya 0,5-0,7

Nilai *limiting drawing ratio* untuk beberapa material dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. nilai β_{maks} beberapa material :

Material	β_{maks}
Steel Sheet	1,8 – 2,2
Alumunium Sheet	2,1
Brass Sheet	1,7 – 2,2

Sumber : Kurt Lange, 1985

10. Gaya *Blank Holder*

Gaya *blank holder* adalah gaya yang diberikan untuk menjepit *blank* sehingga *blank* tidak bergerak bebas pada saat *punch* menekan *blank* masuk kedalam lubang *die*. Dengan adanya gaya *blank holder*, aliran *blank* pada saat proses *deep drawing* berlangsung dapat terkendali sehingga timbulnya cacat akibat deformasi yang dialami *blank* dapat diminimalisir.

Gaya *blank holder* yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan 2.7 berikut (Kurt Lange, 1985) :

$$F_{BH} = A_{BH} \cdot P_{BH} \quad (2.7)$$

Yang mana :

F_{BH} = Gaya *blank holder* [kgf]

A_{BH} = Luas area kontak *blank holder* dengan *blank* [mm²]

P_{BH} = Tekanan *blank holder* [kgf.mm⁻²]

Perhitungan luas area kontak antara *blank holder* dengan *blank* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8 :

$$A_{BH} = \frac{\pi}{4} [d_0^2 - (d_D + 2r_D)^2] \quad (2.8)$$

Yang mana :

r_D = Radius *die* [mm]

d_D = Diameter dalam *die* [mm]

Penelitian yang dilakukan oleh Siebel dan Beiswanger memperlihatkan bahwa tekanan *blank holder* dapat diperkirakan dengan persamaan 2.9 (Kurt Lange, 1985) berikut :

$$P_{BH} = 10^{-3} c \left[(\beta - 1)^3 + \frac{0,005 \cdot d_0}{s_0} \right] \cdot \sigma_u \quad (2.9)$$

Yang mana :

- c = Faktor koreksi dengan nilai antara 2 sampai 3
- σ_u = Tegangan tarik maksimum bahan [kgf.mm⁻²]
- s_0 = Tebal *sheet* [mm]
- d_0 = Diameter awal *blank* [mm]
- β = *Drawing ratio*

Proses *deep drawing* juga dapat dilakukan tanpa *blank holder* apabila $d_0 - d_p < 5 s_0$ (Kalpakjian, 1990)

11. Gaya Deep Drawing

Gaya *deep drawing* adalah gaya yang dibutuhkan untuk membentuk *blank* menjadi *drawpiece*. Gaya *deep drawing* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut (Kurt Lange, 1985) :

$$F_{d,max} = \pi \cdot d_1 \cdot s_0 \cdot \sigma_u \cdot k \quad (2.10)$$

Yang mana :

- $F_{d,max}$ = Gaya *deep drawing* [kgf]
- d_1 = Diameter *cup* [mm]
- k = Faktor koreksi
= 0,65 untuk *drawpiece* tanpa *flange* dan 0,77 untuk *drawpiece* dengan *flange*.

2.3.4 Kondisi Yang Terjadi Pada Proses Deep Drawing

Kondisi yang terjadi pada saat proses *deep drawing* berlangsung ialah :

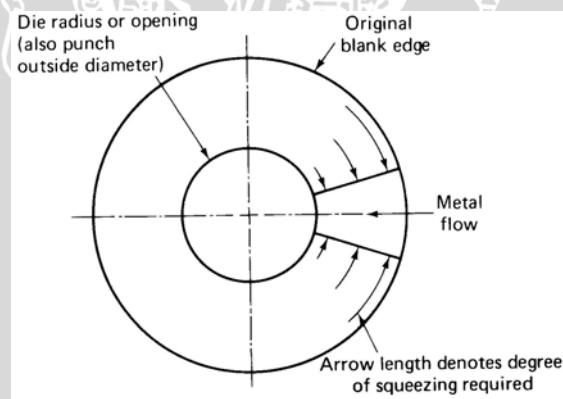
1. Gesekan (*Friction*)

Pada proses *deep drawing* terjadi gesekan statis dan dinamis. Dimana gesekan statis terjadi ketika *blank holder* menekan *blank*, gesekan ini terjadi

antara permukaan *blank* dengan *blank holder* dan *blank* dengan *die*. Sedangkan gesekan dinamis terjadi antara permukaan *blank* dengan *blank holder* dan *blank* dengan *die* ketika *blank* bergerak menuju lubang *die* akibat penekanan *punch* terhadap *blank* tersebut.

2. Kompresi (*Compression*)

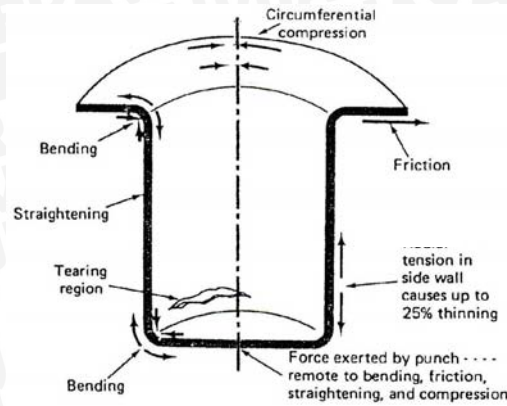
Ketika *punch* bergerak menekan *blank*, *blank* tersebut akan bergerak kearah *punch* sehingga tepi *blank* akan mengalami pengurangan di sepanjang kelilingnya. Sehingga sepanjang tepi *blank* hingga radius *die* akan mengalami penekanan (kompresi) berbeda. Bagian *blank* yang lebih dekat dengan radius *die* pada saat permulaan *drawing* akan mengalami penekanan yang sangat sedikit. Sedangkan jumlah penekanan yang dialami akan meningkat pada bagian *blank* yang lebih dekat dengan tepi *blank*, dan kompresi ini akan terhenti setelah bagian *blank* melewati radius *die* seperti ilustrasi pada gambar 2.8. Kompresi yang terjadi pada *blank* tipis biasanya mengakibatkan timbulnya formasi kerutan selama proses *deep drawing*. Oleh karena itu, diperlukan *blank holder* untuk menekan adanya kerutan yang mungkin terjadi.



Gambar 2.8 Kompresi pada *blank* selama proses *drawing*
Sumber : Eary. F. D, 1974

3. Tarikan (*Tension*)

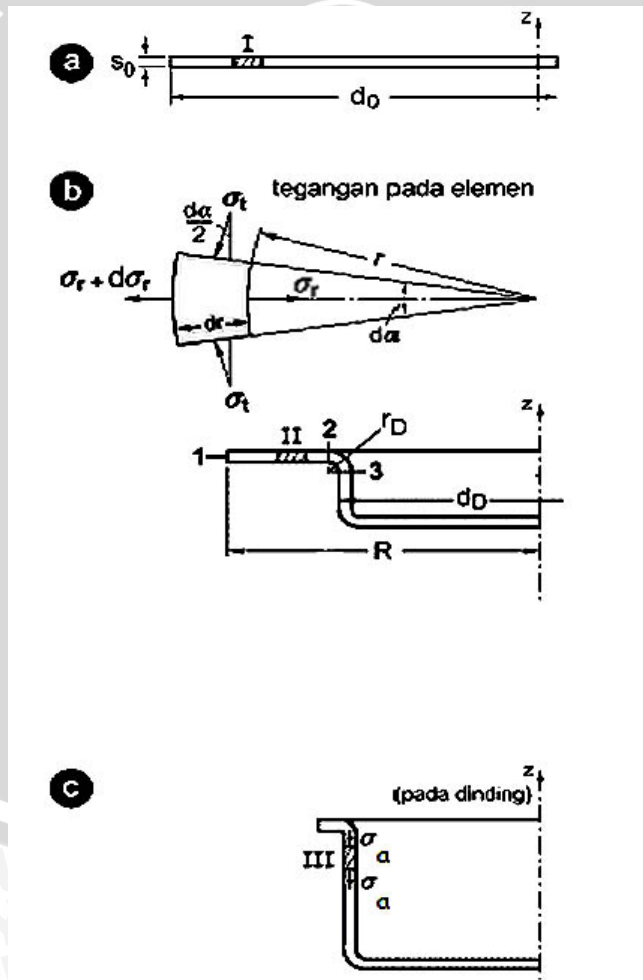
Tarikan pada proses *deep drawing* terjadi pada daerah *flange* dan dinding. Bagian dinding yang berdekatan dengan radius *punch* mengalami tegangan tarik paling tinggi dan terjadi penipisan sebesar 25% (Eary.F.D 1965). Sobekan (*tearing*) sangat mudah terjadi pada daerah ini. Tarikan pada dinding dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Tarikan pada dinding dan bentuk deformasi lainnya pada *cup*
 Sumber : Eary. F. D, 1974

2.3.5 Regangan Dan Tegangan Pada Proses *Deep Drawing*

Regangan dan tegangan yang terjadi pada proses *deep drawing* dapat dianalisa melalui potongan melintang dari *blank* dan *cup* seperti terlihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Tahap *deep drawing* dan tegangan pada proses *deep drawing*
 (a) tahap awal (b) tahap pertengahan (c) *cup* yang hampir selesai
 Sumber : Kurt Lange, 1985

2.3.5.1 Analisis Regangan Pada Proses *Deep Drawing*

Regangan yang terjadi pada titik 1, 2 dan 3 seperti diilustrasikan gambar (2.10b) dapat dihitung setelah diketahui terlebih dahulu ukuran diameter luar *flange* pada saat pembebanan maksimum yang dinotasikan dengan $d_{F,max}$. Menurut Siebel dan Beiswanger beban *deep drawing* maksimum terjadi ketika $d_{F,max} = 0,77 \cdot d_0$

Setelah diameter luar pada saat pembebanan maksimum, $d_{F,max}$ diketahui, maka regangan yang terjadi pada titik 1 dapat dihitung dengan persamaan 2.11 (Kurt Lange, 1985) :

$$\varphi_{max,1} = |\varphi_{t,1}| = -\ln\left(\frac{d_{F,max}}{d_0}\right) \quad (2.11)$$

Regangan pada titik 2, $\varphi_{max,2}$, ketika mencapai beban maksimum (Kurt Lange, 1985) :

$$\varphi_{max,2} = \ln\frac{\sqrt{d_0^2 + (d_D + 2r_D)^2} - d_{F,max}^2}{d_D + 2r_D} \quad (2.12)$$

Dalam *bending*, kenaikan regangan, e_s , dapat ditentukan dari radius *bending*, r_D , serta ketebalan, s_0 (Kurt Lange, 1985):

$$e_s = \frac{s_0}{2r_D + s_0} \quad (2.13)$$

Karena distribusi regangan adalah linier sepanjang ketebalan *sheet*, maka regangan *bending* rata-rata, \bar{e} , pada potongan melintang tersebut adalah (Kurt Lange, 1985):

$$\bar{e} = \frac{e_s}{2} \quad (2.14)$$

Karena benda kerja mengalami dua kali *bending* pada daerah radius *die* sehingga regangan *bending* total rata-rata adalah (Kurt Lange, 1985):

$$\bar{e}_{tot} = 2\bar{e} = e_s \quad (2.15)$$

Apabila dihubungkan dengan regangan sejati, maka persamaan yang diperoleh adalah (Kurt Lange, 1985):

$$\varphi_{tot} = \ln(1 + \bar{e}_{tot}) \quad (2.16)$$

Dengan menggunakan hasil tersebut, regangan di titik 3 pada beban maksimum dapat ditentukan persamaan berikut ini (Kurt Lange, 1985):

$$\varphi_{\max,3} = \varphi_{\text{tot}} + \varphi_{\max,2} \quad (2.17)$$

2.3.5.2 Analisis Tegangan Pada Proses *Deep Drawing*

Analisis tegangan pada proses *deep drawing* meliputi :

1. Tegangan Radial

Dengan mengabaikan terjadinya gesekan, kondisi kesetimbangan ke arah radial pada daerah titik 1 dan 2 gambar 2.10b dapat dituliskan dengan persamaan 2.18 :

$$(\sigma_r + d\sigma_r)(r + dr).d\alpha.s_0 - \sigma_r.r.d\alpha.s_0 + 2|\sigma_t|s_0.dr.\sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) = 0 \quad (2.18)$$

Karena sudut α terlalu kecil dan syarat-syarat diferensial pada persamaan (2.18) mendekati nol, maka $\sin(d\alpha/2) = d\alpha/2$ dan hasil hubungan diferensialnya diabaikan. Sehingga persamaan 2.18 tersebut dapat disederhanakan menjadi :

$$d\sigma_r = -(\sigma_r + |\sigma_t|)\frac{dr}{r} \quad (2.19)$$

Yang mana :

σ_r = Tegangan radial	[kgf.mm ⁻²]
σ_t = Tegangan tangensial	[kgf.mm ⁻²]
r = Radius <i>cup</i>	[mm]
s_0 = Ketebalan awal <i>blank</i>	[mm]

Pada persamaan 2.20 ditunjukkan bahwa persamaan tegangan pada permulaan aliran plastis sesuai dengan kriteria *yield* Tresca dan faktor koreksinya adalah :

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 1,1 \cdot \sigma_f \quad (2.20)$$

Dengan substitusi $\sigma_1 = \sigma_r$ dan $\sigma_3 = -\sigma_t$, maka persamaan 2.20 menjadi :

$$\sigma_r + |\sigma_t| = 1,1 \cdot \sigma_f \quad (2.21)$$

Apabila persamaan 2.19 dan 2.21 digabungkan, akan diperoleh persamaan 2.22 (Kurt Lange, 1985) :

$$d\sigma_r = -1,1 \cdot \sigma_f \frac{dr}{r} \quad (2.22)$$

Tegangan radial *flange* dapat diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan 2.22 dari radius luar *flange* sampai dengan radius dalamnya.

$$\int_{\sigma_r=0}^{\sigma_r} d\sigma_r = -1,1 \cdot \int_{r=R}^r \sigma_f \frac{dr}{r} \quad (2.23)$$

sehingga didapat persamaan :

$$\sigma_r(r) = 1,1 \cdot \sigma_{f,m.I} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) \quad (2.24)$$

Yang mana :

R = Radius luar *flange* [mm]

Untuk perhitungan tegangan radial *flange* dengan mempertimbangkan adanya gesekan antara *die* dan *flange* serta antara *blank holder* dan *flange* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.25 :

$$\sigma_r(r) = 1,1 \cdot \sigma_{f,m.I} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) + 2\mu(R-r) \frac{P_{BH}}{s_0} \quad (2.25)$$

Nilai $\sigma_{f,m.I}$ diperoleh dari persamaan 2.26 (Kurt Lange, 1985)

$$\sigma_{f,m.I} = \frac{K}{\varphi_2 - \varphi_1} \left[\frac{\varphi^{n+1}}{n+1} \right]_{\varphi_1}^{\varphi_2} \quad (2.26)$$

Sedangkan $\sigma_{f,m.II}$ dapat dihitung dengan persamaan 2.27 (Kurt Lange, 1985):

$$\sigma_{f,m.II} = \frac{K}{\varphi_3 - \varphi_2} \left[\frac{\varphi^{n+1}}{n+1} \right]_{\varphi_2}^{\varphi_3} \quad (2.27)$$

Yang mana :

K = Koefisien kekuatan yang didapat dari $\sigma_f = K \cdot \varepsilon^n$ (Dieter,1990).

n adalah *strain hardening eksponen*, dimana untuk pengerjaan dingin nilainya 0,14 (Kalpakjian, 1990). Sedangkan σ_f dan ε adalah tegangan sejati dan regangan sejati material.

Nilai tegangan sejati dapat dihitung dengan persamaan 2.28 (Dieter,1990) :

$$\sigma_f = \frac{P}{A_0} \cdot \frac{l}{l_0} \quad (2.28)$$

Yang mana :

- P = Beban maksimum ketika pengujian tarik [kgf]
 A_0 = Luas penampang awal spesimen uji tarik [mm²]
 l = Panjang akhir spesimen uji tarik [mm]
 l_0 = Panjang awal spesimen uji tarik [mm]

Nilai regangan sejati dapat dihitung dengan persamaan 2.29 (Dieter,1990) :

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \quad (2.29)$$

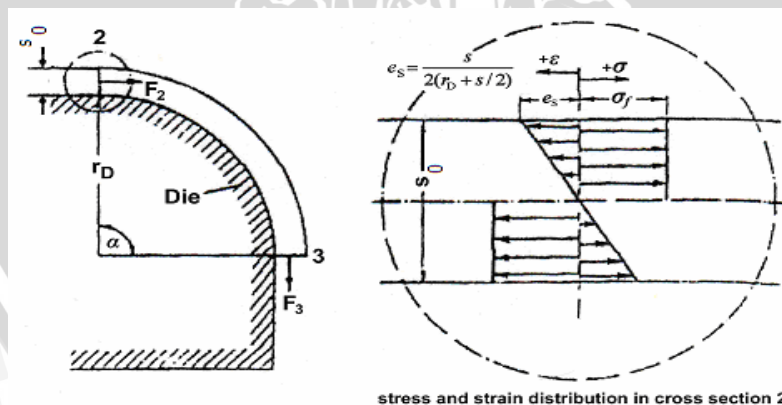
2. Tegangan Tangensial

Setelah tegangan radial diketahui, maka tegangan tangensial pada *flange* antara titik 1 dan 2 gambar 2.10b dapat ditentukan melalui perubahan yang dilakukan terhadap persamaan 2.21 dan memasukkan nilai $\sigma_{f,m,l}$ sebagai tegangan aliran rata-ratanya. Dengan demikian persamaan tegangan tangensialnya adalah :

$$\sigma_t = \sigma_r - 1,1 \cdot \sigma_{f,m,l} \quad (2.30)$$

3. Tegangan Bending

Tegangan *bending* terjadi pada radius *die* saat *sheet* mengalir melewati radius *die* kemudian masuk ke dalam *die* seperti diilustrasikan pada gambar 2.11



Gambar 2.11. Hubungan geometris *bending* dan *unbending* pada radius *die*

Sumber : Kurt Lange, 1985

Dengan asumsi material plastis sepenuhnya, maka momen *bending* dapat dihitung dengan persamaan 2.31 (Kurt Lange, 1985) :

$$M_b = \frac{\sigma_f \cdot b \cdot s_0^2}{4} \quad (2.31)$$

Kerja yang dibutuhkan (W), sama dengan hasil perkalian momen *bending* (M_b), dengan sudut *bending* (α), sebagaimana persamaan 2.32 berikut (Kurt Lange, 1985) :

$$W = M_b \cdot \alpha = F_2 \cdot r_D \cdot \alpha \quad (2.32)$$

atau,

$$F_2 = \frac{M_b}{r_D} \quad (2.33)$$

Dari substitusi persamaan 2.31 kedalam persamaan 2.33 didapat persamaan :

$$F_2 = \frac{\sigma_f \cdot b \cdot s_0^2}{4 \cdot r_D} \quad (2.34)$$

Pada saat keluar dari radius *die*, *sheet* diluruskan kembali. Karena kembali ke keadaan semula, maka diperlukan gaya dengan jumlah yang sama seperti pada saat memasuki radius *die*. Gaya total yang dibutuhkan untuk melakukan *bending* adalah (Kurt Lange, 1985):

$$F_b = 2F_2 = \frac{\sigma_f \cdot b \cdot s_0^2}{2 \cdot r_D} \quad (2.35)$$

Untuk *deep drawing* dengan bentuk bulat, lebar b ditentukan dengan persamaan (Kurt Lange, 1985):

$$b = \pi \cdot d_m \quad (2.36)$$

Dengan d_m adalah diameter rata-rata dinding *cup*, sehingga gaya *bending* yang dibutuhkan adalah (Kurt Lange, 1985):

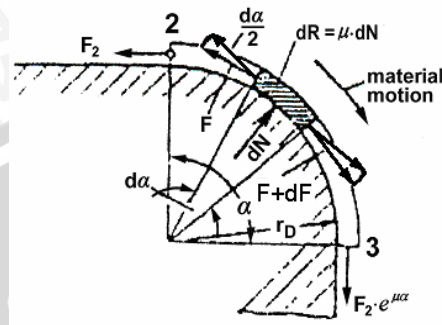
$$F_b = \frac{\pi \cdot \sigma_f \cdot d_m \cdot s_0^2}{2 \cdot r_D} \quad (2.37)$$

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

$$\sigma_b = \frac{\sigma_{fIII} \cdot s_0}{2r_D} \quad (2.38)$$

4. Tegangan Aksial

Selain berpengaruh pada tegangan radial, gesekan pada radius *die* juga berpengaruh pada tegangan aksial pada daerah radius *die*, dimana kondisi dari gesekan pada radius *die* tersebut dapat dilihat pada gambar 2.12 di bawah ini.



Gambar 2.12. Kondisi gesekan pada radius *die*
Sumber : Kurt Lange, 1985

Dengan mempertimbangkan bahwa yang terjadi pada radius *die* hanya gesekan saja, maka kondisi keseimbangan pada arah radial bagi elemen yang berkaitan adalah (Kurt Lange, 1985):

$$dN - F \cdot \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) - (F + dF) \cdot \sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) = 0 \quad (2.39)$$

Yang mana :

N = Gaya normal antara *sheet* dan radius *die* [kgf]

F = Gaya tarik radial pada *sheet* [kgf]

Dengan memperkirakan bahwa $\sin(d\alpha/2) = d\alpha/2$, maka persamaan 2.39 dapat dituliskan menjadi :

$$dN - F \cdot d\alpha = 0 \quad (2.40)$$

Sedangkan kondisi kesetimbangan terhadap arah tangensial adalah :

$$dF = dR = \mu \cdot dN \quad (2.41)$$

Dengan substitusi persamaan 2.40 kedalam persamaan 2.41, diperoleh persamaan 2.42 :

$$\frac{dF}{F} = \mu \cdot d\alpha \quad (2.42)$$

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

$$\ln\left(\frac{F_3}{F_2}\right) = \mu \cdot \alpha \quad (2.43)$$

atau,

$$F_3 = F_2 \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \quad (2.44)$$

Dari persamaan 2.44 didapat tegangan aksial (Kurt Lange, 1985):

$$\sigma_a = \sigma_r \cdot e^{\mu \cdot \alpha / 2} \quad (2.45)$$

2.4 Analisis Kecukupan Data

Analisis kecukupan data merupakan metode statistik yang digunakan untuk menetapkan jumlah pengamatan yang seharusnya dilakukan. Sehingga data hasil pengamatan dapat diproses atau perlu diadakan penambahan data untuk proses selanjutnya. Untuk memudahkan perhitungan analisis kecukupan data, data dapat ditabelkan seperti pada tabel 2.3 sebagai berikut :

Tabel 2.3. Analisis kecukupan data.

No.	(X_i)	(X_i^2)	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1				
2				
3				
total	ΣX_i	ΣX_i^2	$\Sigma(X_i - \bar{X})$	$\Sigma(X_i - \bar{X})^2$

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

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.46)$$

- Standart deviasi (SD)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.47)$$

- Derajat ketelitian (DA)

$$DA = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100\% \quad (2.48)$$

- Tingkat keyakinan (CL)

$$CL = 100\% - DA \quad (2.49)$$

Tingkat keyakinan digunakan untuk mencari nilai koefisien tingkat keyakinan

(K_k) berdasarkan tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4. Nilai K_k

Tingkat keyakinan	K_k
99,37%	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

Sumber : Spiegel, 1994

- Jumlah pengamatan yang seharusnya dilakukan (n')

$$n' = \left[\frac{\frac{K_k}{DA} \sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}}{\sum_{i=1}^n X_i} \right]^2 \quad (2.50)$$

Jika : $n' \leq n$, data pengamatan cukup

$n' \geq n$, data pengamatan kurang.

2.5 Analisis Varian

Analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis statistik varian satu arah. Analisis statistik varian satu arah ini digunakan untuk mengetahui pengaruh gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi.

Kuantitas cacat kerut disebut sebagai variabel terikat dan dianggap sebagai $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4,$ dan Y_5 . Sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut :

$$H_0 : Y_1 = Y_2 = Y_3 = Y_4 = Y_5$$

(Tidak ada pengaruh nyata variasi gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut)

$$H_1 : Y_1 \neq Y_2 \neq Y_3 \neq Y_4 \neq Y_5$$

(Ada pengaruh nyata variasi gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut)

Langkah-langkah menghitung analisis varian satu arah :

- Jumlah seluruh perlakuan (JK) $= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}$ (2.51)

n = jumlah pengamatan tiap perlakuan

k = jumlah perlakuan

- Kuadrat seluruh perlakuan (K_P) $= \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2$ (2.52)

- Faktor koreksi (f_k) $= \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n \cdot k}$ (2.53)

- Jumlah kuadrat total (JK_T) $= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - f_k$ (2.54)

- Jumlah kuadrat perlakuan (JK_P) $= \frac{\sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n} - f_k$ (2.55)

- Jumlah kuadrat galat (JK_G) $= JK_T - JK_P$ (2.56)

- Kuadrat tengah perlakuan (KT_P) $= \frac{JK_P}{k - 1}$ (2.57)

- Kuadrat tengah galat (KT_G) $= \frac{JK_G}{\sum n - k}$ (2.58)

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

$$F_{hitung} = \frac{KT_P}{KT_G} \quad (2.59)$$

Setelah melakukan perhitungan analisis varian satu arah, kemudian dibuat tabel analisis varian satu arah seperti tabel 2.5 :

Tabel 2.5. Tabel analisis varian satu arah

Sumber varian	db	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	$JK_P = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n} - f_k$	$KT_P = \frac{JK_P}{k-1}$	$F_{hitung} = \frac{KT_P}{KT_G}$	F_{tabel}
Galat	$\sum n-k$	$JK_G = JK_T - JK_P$	$KT_G = \frac{JK_G}{n-k}$		
Total	$\sum n-1$	$JK_T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - f_k$			

Kesimpulan diperoleh :

1. Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$
Ini berarti gaya *blank holder* berpengaruh terhadap kuantitas cacat kerut pada *drawpiece*.
2. Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$
Ini berarti gaya *blank holder* tidak berpengaruh terhadap kuantitas cacat kerut pada *drawpiece*.

2.6 Dry Deep Drawing

Dry Deep Drawing adalah proses *deep drawing* yang dilakukan dalam keadaan kering tanpa pelumasan. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh S. Kataoka, M. Murakawa, T. Aizawa, dan H. Ike, mengindikasikan bahwa penggunaan keramik untuk melakukan proses pembentukan logam sangat mungkin dilakukan sehingga salah satu alternatif yang sedang dikembangkan untuk merealisasikan *dry deep drawing* adalah dengan digunakannya bahan keramik sebagai pelapis *die* dari logam atau pembuatan *die* yang sepenuhnya berbahan dasar keramik. Penemuan ini sangatlah penting dalam rangka menciptakan teknologi pembentukan logam yang ramah lingkungan.

2.7 Keramik

Keramik dapat didefinisikan sebagai benda padat anorganik yang merupakan senyawa yang tersusun atas unsur logam dan non-logam dan terbentuk

melalui proses pembakaran dengan temperatur tertentu sampai terjadi penggelasan (glasisasi). Beberapa unsur logam yang umumnya terdapat dalam keramik ialah alumunium, silikon, magnesium. Sedangkan unsur non-logamnya ialah oksigen, karbon, atau nitrogen

2.7.1 Bahan Baku Keramik

Keramik pada umumnya terbuat dari tiga bahan utama yaitu *clay*, *flint*, dan *feldspar*. *Clay* atau tanah liat mengandung *hydrated aluminum silicates* ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dengan sedikit kandungan oksida seperti MgO , CaO , Na_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 , dan K_2O . *Clay* merupakan bahan utama keramik yang memiliki kemampuan bentuk tinggi. *Flint* atau kwarsa memiliki titik lebur yang tinggi dan berfungsi untuk mengurangi penyusutan baik pada saat proses pengeringan maupun pembakaran. *Feldspar* memiliki titik lebur rendah dan pada proses pembakaran *feldspar* akan mengikat bahan keramik lainnya, proses ini sering disebut dengan menggelas.

2.7.2 Proses Pembuatan Keramik

Untuk membuat benda keramik diperlukan beberapa tahapan proses. Pada umumnya proses pembuatan keramik dibagi dalam empat tahap yaitu Pengolahan tanah, Pembentukan, Pengeringan dan Pembakaran.

1. Pengolahan tanah

Tanah liat untuk pembuatan keramik harus diolah terlebih dahulu sebelum tanah tersebut siap untuk dibentuk. Karena hampir semua tanah dalam bentuk aslinya mengandung terlalu banyak kotoran yang harus dipisahkan terlebih dahulu. Ada dua cara pengolahan tanah yaitu :

a. Cara kering

Bila lempung mengandung batuan yang berbutir kasar dan keras, diperlukan alat penghancur dan ayakan untuk melumatkan dan memisahkan butiran kasar dan butiran halus.

b. Cara basah

Pemisahan kotoran-kotoran tanah dilakukan dengan pencucian tanah dengan air. Tanah yang dicampur dengan air dibiarkan mengendap dan kotoran-kotoran disaring, kemudian endapan tersebut dikeringkan.

2. Pembentukan

Cara membentuk benda-benda keramik diantaranya :

- a. Jika tanah liat itu plastis, cara membentuknya dengan menggunakan tangan atau dengan putaran
- b. Jika tanah liat berupa larutan, cara membentuknya dengan dituangkan ke dalam cetakan gips. Cara ini biasa disebut dengan cetak tuang.
- c. Jika tanah liat berupa tepung, cara membentuknya dengan menggunakan tekanan. Cara pembentukan seperti ini disebut *dry pressing*.
- d. Jika tanah liat berupa gumpalan dalam keadaan kering dan padat, cara membentuknya dengan dibubut.

3. Pengeringan

Benda-benda keramik yang akan dibakar harus dikeringkan terlebih dahulu. Mengeringkan benda keramik berarti menghilangkan air bebas, sedangkan air terikat dihilangkan melalui proses pembakaran. Benda keramik akan mengalami penyusutan setelah pengeringan karena kandungan airnya berkurang, sehingga bentuk bendanya akan menjadi lebih kecil daripada ukuran sebelum dikeringkan.

4. Pembakaran

Pembakaran dilakukan agar air terikat pada benda keramik hilang dan proses pengelasan terjadi. Air terikat akan menguap sekitar suhu 500 °C, kemudian suhu pengelasan dimulai dari suhu 500 °C sampai tercapai taraf pengelasan pada suhu 800 °C. Sebagian dari unsur pembentuk gelas dalam tanah liat pada waktu suhu tinggi akan mencair kemudian menjadi gelas dan jika didinginkan akan menjadi keras.

2.7.3 Jenis keramik

Pada umumnya keramik diklasifikasikan kedalam dua kelompok, yaitu :

1. Keramik tradisional

Clay, *flint*, dan *feldspar* merupakan bahan dasar keramik tradisional. *Clay* atau tanah liat mengandung *hydrated aluminum silicates* ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dan sedikit kandungan oksida seperti MgO , CaO , Na_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 , dan K_2O . Keramik tradisional umumnya digunakan untuk suatu kerajinan yang menghasilkan bentuk-bentuk fungsional seperti mangkok, gelas, piring. Dapat pula dibuat benda seni yang berbentuk ekspresi pribadi dengan memakai

kombinasi-kombinasi warna dan tekstur. Beberapa produk yang dihasilkan dari industri keramik tradisional dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6. Beberapa contoh aplikasi keramik tradisional

Produk	Contoh
Keramik putih	Piring, cangkir.
Bahan bangunan	Batu bata, genteng, pipa, ubin.
Bahan – bahan tahan api	Bata tahan api
Alat gosok	Roda gerinda, kertas ampelas.

Sumber : Thomas Vasilos, 1995

2. Keramik modern

Berbeda dengan keramik tradisional, sebagian besar bahan keramik modern merupakan senyawa oksida, nitrida, atau karbida. Beberapa keramik modern misalnya alumina (Al_2O_3), Silikon nitrida (Si_3N_4), Silikon karbida (SiC). Selain itu proses pembentukan keramik modern umumnya menggunakan tekanan. Pada umumnya keramik modern digunakan untuk keperluan industri karena sifat-sifat khusus yang dimiliki keramik modern. Beberapa sifat khusus keramik modern dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7. Beberapa sifat keramik modern.

Sifat Keramik Modern	Aplikasi	Contoh Keramik
Sifat Thermal <ul style="list-style-type: none"> Sifat ini meliputi konduktivitas termal dan ketahanan pada temperatur tinggi. 	<i>Heat sink</i> pada komponen elektronik, Material penyusun tungku pembakaran.	AlN , ZnO_2
Sifat Elektrik <p>Sifat ini meliputi kemampuan keramik untuk menjadi konduktor atau isolator listrik.</p>	Busi, kapasitor	Al_2O_3 , BeO
Sifat Kimia <ul style="list-style-type: none"> Sifat ini meliputi ketahanan terhadap korosi dan reaksi terhadap lingkungan. 	<i>Heat exchanger</i> , Filter gas buang.	SiC , MgO
Sifat Mekanik <ul style="list-style-type: none"> Sifat ini meliputi kekerasan, ketahanan terhadap aus. 	<i>Cutting tools</i> , <i>Bearing</i> .	SiC , Si_3N_4

Sumber : Basroum, 1997

2.8 Cacat Pada Proses *Deep Drawing*

Cacat yang terjadi pada proses *deep drawing* secara umum ialah (Mikell P Groover, 1995) :

1. Cacat Kerut (*Wrinkle*)

Cacat kerut pada *drawpiece* merupakan kumpulan lipatan–lipatan pada daerah–daerah tertentu, pada umumnya terdapat pada daerah *flange* dan dinding dari *drawpiece*. Kerutan timbul karena *blank* tidak mampu menahan tegangan kompresi dan aliran *blank* menuju radius *die* yang tidak terkendali.

2. Cacat Sobek (*Tearing*)

Sobek pada *drawpiece* umumnya terjadi di sekitar dinding bagian bawah *drawpiece*. Karena bagian tersebut merupakan bagian yang mengalami tegangan tarik yang tinggi sehingga dapat menyebabkan *blank* sobek di sekitar bagian tersebut. Cacat sobek juga dapat terjadi akibat radius *die* atau *punch* yang terlalu kecil.

3. *Earing*

Earing merupakan cacat yang terjadi pada tepi bagian atas *drawpiece*, dimana tepi bagian atas *drawpiece* memiliki bentuk yang tidak sempurna. *Earing* dipengaruhi oleh anisotropi suatu material.

4. *Surface Scratches*

Drawpiece dapat mengalami *surface scratches* bila permukaan *punch* dan *die* tidak halus atau pemberian pelumas yang tidak mencukupi.

2.8.1 Cacat kerut

Ketika *punch* bergerak menekan *blank*, *blank* akan bergerak ke arah *punch*. sehingga tepi *blank* akan mengalami pengurangan diameter, dari diameter awal menjadi diameter *punch*. Cacat kerut terjadi ketika *blank* tidak mampu menahan tegangan kompresi dan aliran *blank* menuju radius *die* yang tidak terkendali.

Hal-hal yang perlu diperhatikan agar cacat kerut dapat direduksi (Eary.F D, 1974) yaitu :

1. Tebal *sheet*

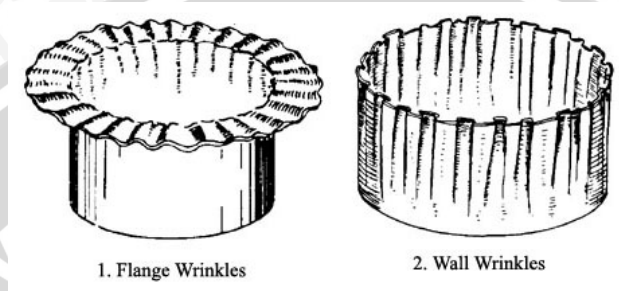
Sheet logam yang tipis memiliki kecenderungan untuk berkerut saat proses *deep drawing* dilakukan.

2. Ukuran *blank*

Semakin besar ukuran atau diameter *blank*, kemungkinan terjadinya cacat kerut akan semakin besar.

2.8.2 Jenis cacat kerut

Cacat kerut yang terjadi pada *drawpiece* pada umumnya ada dua jenis, yaitu cacat kerut *flange* (*flange wrinkle*) dan cacat kerut dinding (*wall wrinkle*) seperti pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Jenis *Wrinkle*

Sumber : Eary. F. D, 1974

2.9 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik. Untuk memperbaiki sifat mekaniknya diperlukan penambahan beberapa unsur seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn.

2.9.1 Sifat umum dari berbagai jenis paduan aluminium

1. Jenis aluminium murni (seri 1xxx)

Jenis ini mengandung Al 99,0%. Aluminium seri ini memiliki sifat ketahanan karat dan mampu potong yang baik. Seri 1xxx biasanya digunakan sebagai bahan untuk alat-alat memasak dan pelapis tangki bahan bakar.

2. Jenis paduan Al-Cu (seri 2xxx)

Dengan penambahan unsur Cu dalam paduan ini dapat memperbaiki sifat mampu mesin, selain itu juga dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan. Dalam aplikasinya paduan ini digunakan sebagai kerangka pesawat terbang.

3. Jenis paduan Al-Mn (seri 3xxx)

Bila dibandingkan dengan jenis aluminium murni, paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong dan sifat

mampu lasnya. Paduan ini biasanya digunakan untuk pipa bertekanan, peralatan kimia, furnitur.

4. Jenis paduan Al-Si (seri 4xxx)

Paduan Al-Si mempunyai permukaan bagus, dan sangat baik untuk paduan coran. Paduan ini juga memiliki ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, dapat dijadikan sebagai penghantar listrik dan panas yang baik. Paduan ini biasanya digunakan untuk dalam bidang *marine*.

5. Jenis paduan Al-Mg (seri 5xxx)

Paduan ini memiliki ketahanan korosi yang baik, terutama korosi akibat air laut, dan sifat mampu lasnya baik. Dalam aplikasinya paduan ini digunakan untuk peralatan kapal laut, rangka kendaraan.

6. Jenis paduan Al-Mg-Si (seri 6xxx)

Paduan ini memiliki sifat mampu bentuk yang sangat baik untuk penempaan, ekstrusi. Paduan ini juga memiliki mampu bentuk tinggi pada temperatur biasa. Jenis paduan ini biasanya digunakan untuk pemipaan, bagian kendaraan yang terbentuk dari lembaran.

7. Jenis paduan Al-Zn (seri 7xxx)

Jenis paduan ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi bila dibandingkan dari paduan lainnya. Paduan ini digunakan sebagai kerangka pesawat terbang.

2.10 Hipotesis

Pemberian gaya *blank holder* yang berbeda akan mempengaruhi kuantitas cacat kerut pada *drawpiece*. Semakin tinggi gaya *blank holder* maka cacat kerut yang terjadi akan semakin sedikit.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian sebenarnya (*true experiment research*).

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan adalah :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah besarnya gaya *blank holder* (F_{BH}).

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah kuantitas cacat kerut pada *drawpiece*.

3. Parameter terkendali

Parameter terkendali adalah sesuatu yang nilainya telah ditetapkan oleh peneliti. Dalam penelitian ini parameter terkendalinya adalah dimensi *die*, dimensi *punch*, tebal *blank*, kecepatan *deep drawing*, kedalaman *deep drawing*.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya untuk pengujian tarik *sheet* aluminium, Lembaga Industri Keramik Malang untuk pembakaran keramik, Laboratorium $\alpha\beta\gamma$ Malang untuk pengujian *deep drawing*, dan Laboratorium Otomasi dan Manufaktur Teknik Mesin Universitas Brawijaya untuk pengukuran kuantitas kerutan. Penelitian dilakukan sejak 1 Desember 2006 sampai dengan 30 Mei 2007

3.4 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.4.1 Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah :

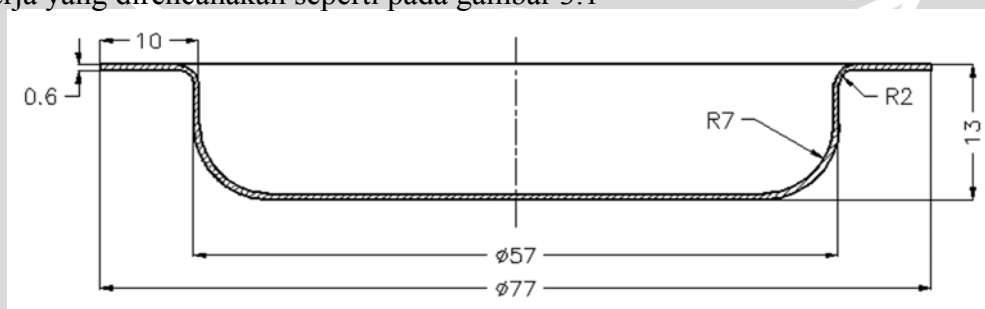
1. Mesin Uji Tarik
2. Mesin *deep drawing*

3. Mesin *press* keramik
4. Tungku Bakar
5. Gunting logam
6. Mistar ukur
7. Jangka sorong
8. Jangka logam
9. *Dial indicator*
10. Mesin milling

3.4.2 Bahan yang Digunakan

1. Benda kerja

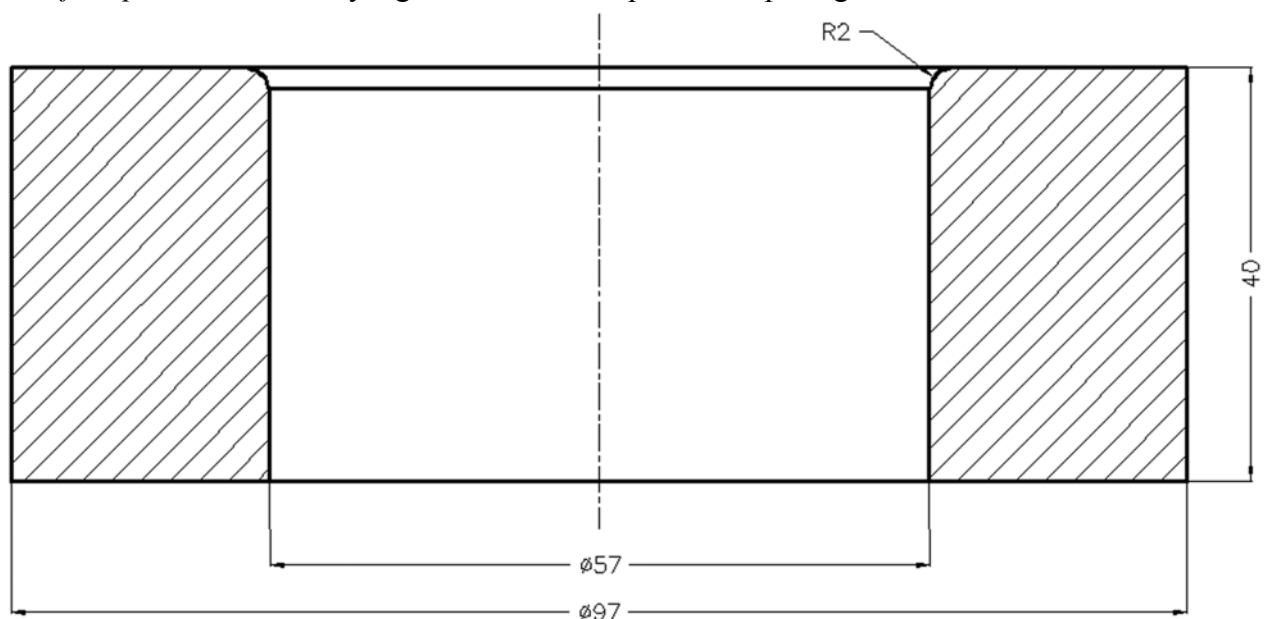
Material benda kerja yang digunakan adalah *sheet* aluminium 6060. Dimensi benda kerja yang direncanakan seperti pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Dimensi benda kerja/*drawpiece* (satuan mm)

2. *Die* Keramik

Bahan yang digunakan untuk membuat *die* keramik ialah 50% *clay*, 25% silika, 25% *feldspar*. Dimensi *die* yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 3.2



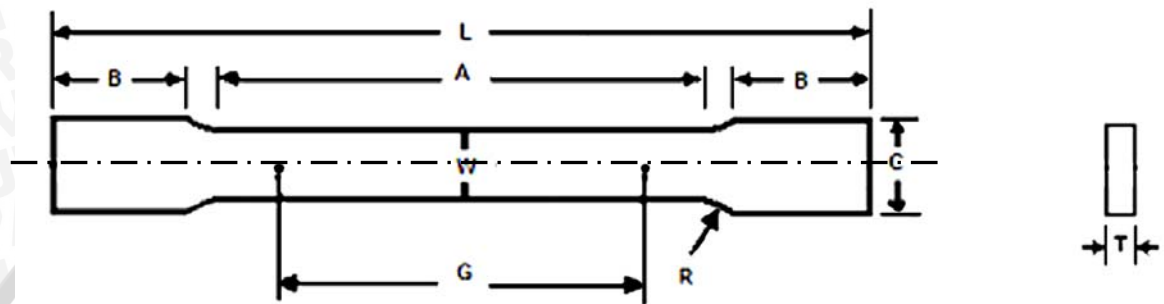
Gambar 3.2 Dimensi *die* (satuan mm)

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir penelitian pada sub bab 3.7. Untuk pengujian tarik *sheet* aluminium 6060 dan langkah-langkah percobaan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian *sheet* aluminium 6060

Spesimen dari standar pengujian *sheet metal* ASTM-B 557 M adalah seperti pada gambar 3.3 dibawah ini :



Gambar 3.3. Skematis standar pengujian ASTM – B 557 M

Sumber : ASTM *handbook* B 557 M, 1988

Sedangkan ukuran yang dipakai adalah seperti pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1. Ukuran standar pengujian ASTM-B 557 M

	Dimensions mm	
	Standart Specimen Sheet-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	12.5	6
L - Over-all length,	200	100
A - Length of reduced section	57	32
B - Length of grip section	50	30
C - Width of grip section	20	10

Sumber : ASTM *handbook* B 557 M, 1988

2. Langkah-langkah percobaan

Langkah-langkah percobaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian.
- b. Membersihkan *die* keramik dan *blank* yang akan digunakan.
- c. Mengatur posisi *die* keramik pada mesin *deep drawing*.
- d. Melakukan proses *deep drawing* tanpa *blank*.
- e. Meletakkan dan mengatur posisi *blank* pada *die* keramik.
- f. Mengatur gaya *blank holder* yang digunakan.
- g. Menggerakkan *punch* hingga menyentuh *blank*.
- h. Melakukan proses *deep drawing*.
- i. Pengulangan langkah a/s/d i untuk gaya *blank holder* yang berbeda.
- j. Mencatat data yang diperlukan untuk semua hasil proses *deep drawing*.

3.6 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini akan mencari pengaruh dari gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut pada proses *dry deep drawing* dan rancangan pengambilan data ditabelkan seperti pada tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.2 Rancangan pengambilan data

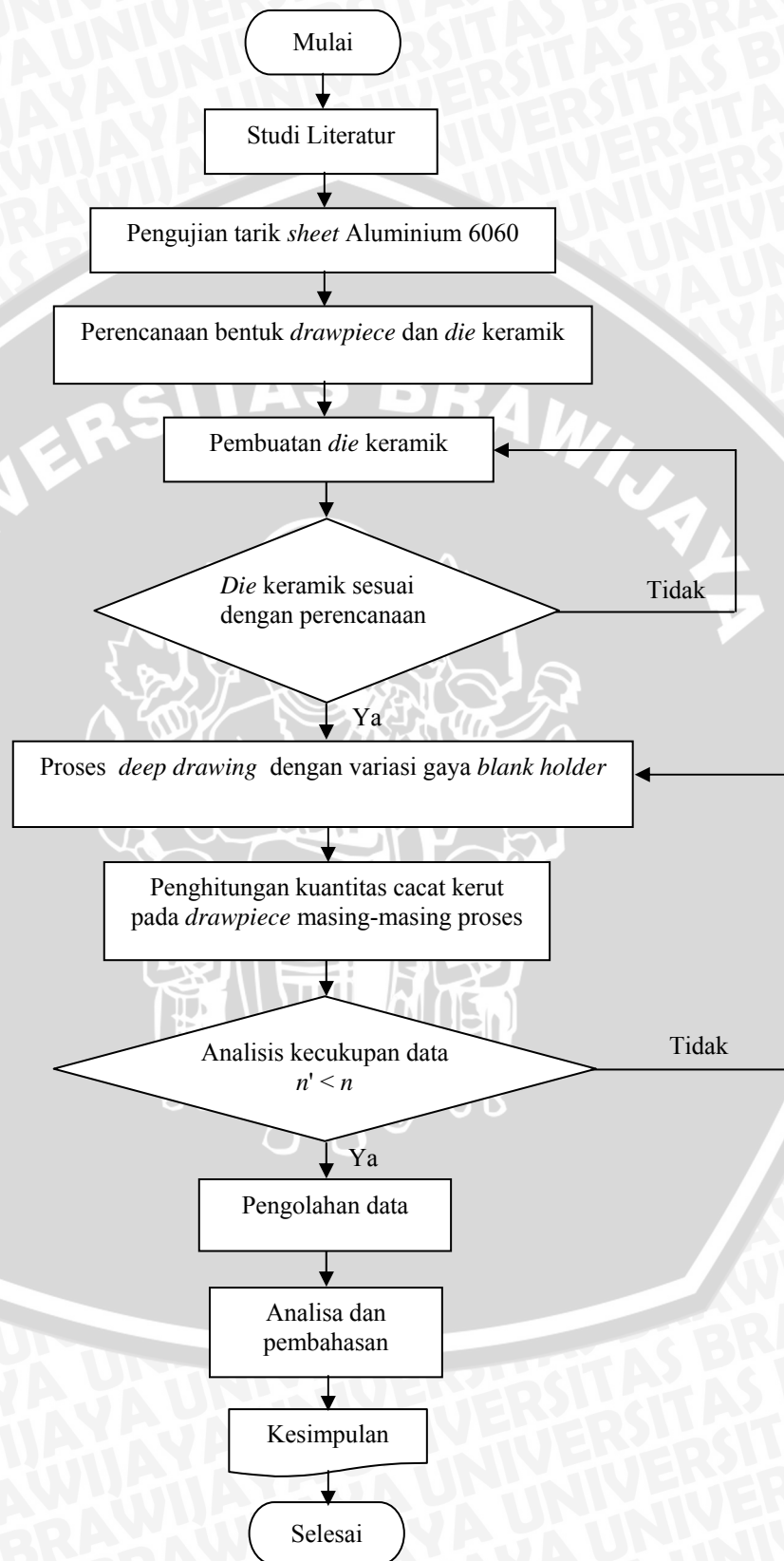
	GAYA BLANK HOLDER				
	F_{BH1}	F_{BH2}	F_{BH3}	F_{BH4}	F_{BH5}
KUANTITAS	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Y_{41}	Y_{51}
KERUTAN	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	Y_{42}	Y_{52}
	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	Y_{43}	Y_{53}
Jumlah	$\sum Y_1$	$\sum Y_2$	$\sum Y_3$	$\sum Y_4$	$\sum Y_5$
Rata - rata	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	\bar{Y}_3	\bar{Y}_4	\bar{Y}_5

Yang mana Y_{ij} adalah data pengamatan ke- j dari perlakuan ke- i

Kemudian dengan menggunakan analisis varian satu arah maka pengaruh gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut pada penelitian ini dapat diketahui. Apabila didapatkan nilai F_{hitung} yang lebih besar dari F_{tabel} , maka gaya *blank holder* berpengaruh terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi. Apabila nilai F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} , maka gaya *blank holder* tidak berpengaruh terhadap kuantitas cacat kerut.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4. Diagram alir penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan

4.1.1 Perhitungan variabel *deep drawing*

1. *Clearence*

$$U_D = s_0 + 0,02\sqrt{10 \cdot s_0} \quad [\text{mm}] \quad ; s_0 = 0,6 \text{ mm}$$

$$= 0,6 + 0,02\sqrt{10 \cdot 0,6}$$

$$= 0,65 \text{ mm}$$

2. *Diameter punch*

$$d_p = d_D - 2U_D \quad [\text{mm}]$$

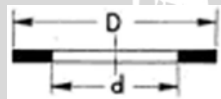
$$= 57 - 2 \cdot 0,65$$

$$= 55,70 \text{ mm}$$

3. *Diameter awal blank*

Diameter awal *blank* yang dibutuhkan perlu diketahui untuk membentuk *blank* menjadi *drawpiece* sesuai yang direncanakan (pada gambar.3.1). Untuk mendapatkan diameter *blank*, dihitung luasan *drawpiece* perbagian seperti pada gambar 2.13 sebagai berikut.

a. *Flat ring*

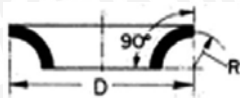


$$A_{\text{flat ring}} = 0,7854 (D^2 - d^2) \quad [\text{mm}^2] \quad ; d = d_D + 2U_D \quad [\text{mm}]$$

$$= 0,7854 (77^2 - 58,3^2) \quad = 57 + 2 \cdot 0,65$$

$$= 1987,15 \text{ mm}^2 \quad = 58,30 \text{ mm}$$

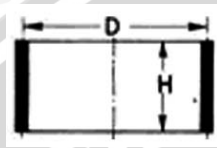
b. *Fillet die*



$$\begin{aligned}
 R &= 2 + \frac{1}{2} \cdot S_0 \quad [\text{mm}] \quad ; \quad D = d_D + R \quad [\text{mm}] \\
 &= 2 + \frac{1}{2} \cdot 0,6 \quad = 57 + 2,3 \\
 &= 2,3 \text{ mm} \quad = 59,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{fillet die}} &= 4,935 R \cdot D - 6,283 R^2 \quad [\text{mm}^2] \\
 &= 4,935 \cdot 2,3 \cdot 59,3 - 6,283 \cdot 2,3^2 \\
 &= 639,85 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

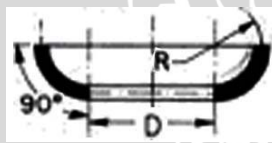
c. Silinder



$$\begin{aligned}
 H &= h - (r_D + r_P) \quad [\text{mm}] \quad ; \quad D = d_m = d_p + s_0 \quad [\text{mm}] \\
 &= 13 - (2 + 7) \quad = 55,7 + 0,6 \\
 &= 4 \text{ mm} \quad = 56,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{selimut silinder}} &= 3,1416 \cdot D \cdot H \quad [\text{mm}^2] \\
 &= 3,1416 \cdot 56,3 \cdot 4 \\
 &= 707,48 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

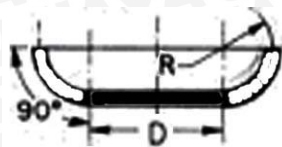
d. Fillet punch



$$\begin{aligned}
 R &= r_p + \frac{1}{2} s_0 \quad [\text{mm}] \quad ; \quad D = d_m - R \quad [\text{mm}] \\
 &= 7 + \frac{1}{2} \cdot 0,6 \quad = 56,3 - 7,3 \\
 &= 7,3 \text{ mm} \quad = 49,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{fillet punch}} &= 4,935 R \cdot D + 6,283 R^2 \quad [\text{mm}^2] \\
 &= 4,935 \cdot 7,3 \cdot 49,3 + 6,283 \cdot 7,3^2 \\
 &= 2110,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

e. Dasar cup



$$\begin{aligned}
 A_{\text{Dasar cup}} &= \frac{\pi D^2}{4} \quad [\text{mm}^2] \\
 &= \frac{\pi \cdot 49,3^2}{4} \\
 &= 1907,93 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas total drawpiece, } A_{\text{total}} &= A_{\text{flat ring}} + A_{\text{fillet die}} + A_{\text{selimut silinder}} + A_{\text{fillet punch}} + A_{\text{Dasar cup}} \\
 &= 1987,15 + 639,85 + 707,48 + 2110,87 + 1907,93 \\
 &= 7353,28 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dari persamaan 2.2, maka diameter *blank* yang dibutuhkan ialah :

$$\begin{aligned}
 d_0 &= 1,128 \cdot \sqrt{A_{\text{total}}} \quad [\text{mm}] \\
 &= 1,128 \cdot \sqrt{7353,28} \\
 &= 96,73 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4. Drawing ratio

$$\begin{aligned}
 \beta &= \left(\frac{d_0}{d_p} \right) \\
 &= \left(\frac{96,73}{55,7} \right) \\
 &= 1,74
 \end{aligned}$$

5. Limiting drawing ratio

$$\begin{aligned}
 \frac{1,1 \cdot \sigma_{fm.I}}{\eta_{def}} \left[\ln \left(\frac{d_0}{d_p} \right)_{maks} - 0,25 \right] &= \sigma_u \\
 \frac{1,1 \cdot 27,197}{0,6} \left[\ln \left(\frac{d_0}{d_p} \right)_{maks} - 0,25 \right] &= 18,58 \\
 \ln \left(\frac{d_0}{d_p} \right)_{maks} &= 0,62 \\
 \left(\frac{d_0}{d_p} \right)_{maks} &= 1,86
 \end{aligned}$$

$$\beta_{maks} = 1,86$$

Nilai $\beta < \beta_{maks}$ ini berarti bahwa proses *deep drawing* dapat dilakukan tanpa adanya potensi untuk sobek.

6. Luas *Blank Holder*

$$\begin{aligned}
 A_{BH} &= \frac{\pi}{4} [d_0^2 - (d_D + 2r_D)^2] \quad [\text{mm}^2] \\
 &= \frac{\pi}{4} [96,73^2 - (57 + 2.2)^2] \\
 &= 4424 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

7. Tekanan *Blank Holder*

$$\begin{aligned}
 P_{BH} &= 10^{-3} c \left[(\beta - 1)^3 + \frac{0,005 \cdot d_0}{s_0} \right] \cdot \sigma_u \quad [\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}] \\
 &= 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot \left[(1,74 - 1)^3 + \frac{0,005 \cdot 96,73}{0,6} \right] \cdot 18,58 \\
 &= 0,0515 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}
 \end{aligned}$$

8. Gaya *Blank Holder*

$$\begin{aligned}
 F_{BH} &= A_{BH} \cdot P_{BH} \quad [\text{kgf}] \\
 &= 4424 \cdot 0,0515 \\
 &= 228 \text{ kgf}
 \end{aligned}$$

Dengan melakukan *trial and error*, didapatkan variasi gaya *blank holder* yaitu 76 kgf, 152 kgf, 228 kgf, 304 kgf, dan 380 kgf (seperti terlihat dalam tabel 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.8, dan 4.9). Dengan 380 kgf adalah gaya *blank holder* maksimum agar *die* keramik yang digunakan tidak pecah.

4.1.2 Perhitungan regangan dan tegangan

1. Perhitungan regangan proses *deep drawing*

$$\begin{aligned}
 \varphi_{\max,1} &= |\varphi_{t,1}| = -\ln \left(\frac{d_{F,\max}}{d_0} \right) \\
 &= -\ln \left(\frac{0,77 \cdot 96,73}{96,73} \right) \\
 &= 0,261
 \end{aligned}$$

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

$$= \ln \frac{\sqrt{96,73^2 + (57 + 2.2)^2} + 74,482^2}{57 + 2.2}$$

$$= 0,353$$

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

$$= \frac{0,6}{2.2 + 0,6}$$

$$= 0,131$$

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

$$= \ln(1 + 0,131)$$

$$= 0,123$$

$$\varphi_{\text{max},3} = \varphi_{\text{tot}} + \varphi_{\text{max},2}$$

$$= 0,123 + 0,353$$

$$= 0,476$$

2. Perhitungan tegangan proses *deep drawing*

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

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

$$\log 19,039 = \log K + 0,14 \cdot \log 0,024$$

$$K = 32,025 \text{ kgf.mm}^{-2}$$

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

$$= \frac{32,025}{0,353 - 0,261} \left[\frac{0,353^{1,14}}{1,14} - \frac{0,261^{1,14}}{1,14} \right]$$

$$= 27,132 \text{ kgf.mm}^{-2}$$

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

$$= \frac{32,025}{0,486 - 0,353} \left[\frac{0,486^{1,14}}{1,14} - \frac{0,363^{1,14}}{1,14} \right]$$

$$= 28,291 \text{ kgf.mm}^{-2}$$

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

$$= 1,1 \cdot 27,132 \cdot \ln\left(\frac{37,24}{28,5}\right) + 2,1 \cdot 3 \cdot (37,24 - 28,5) \cdot \frac{0,017}{0,6}$$

$$= 8,634 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$$

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

$$= 8,634 - 1,1 \cdot 27,123$$

$$= -21,212 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$$

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

$$= 8,634 \cdot e^{0,5 \cdot \frac{\pi}{2}}$$

$$= 18,928 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\sigma_b = \frac{\sigma_{fml} \cdot S_0}{2r_D}$$

$$= \frac{28,291 \cdot 0,6}{2,2}$$

$$= 4,244 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$$

4.2 Data Hasil Penelitian

4.2.1 Data hasil uji tarik

Data hasil pengujian uji tarik aluminium 6060 seperti pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1. Data hasil pengujian uji tarik aluminium 6060.

No	Panjang Awal (l_0) [mm]	Panjang Akhir (l) [mm]	Beban Maksimum [kgf]	Beban Patah [kgf]
1	50	51,20	142,76	132,56
2	50	51,20	142,76	122,36
3	50	51,30	132,56	122,36

Dari data pada tabel 4.1 dihitung tegangan dan regangan sejati. Berikut contoh perhitungan untuk spesimen pertama :

$$\sigma_f = \frac{P}{A_0} \cdot \frac{l}{l_0} \quad [\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}]$$

$$= \frac{142,76}{7,5} \cdot \frac{51,2}{50}$$

$$= 19,492 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$$

sedangkan regangan sejati dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \ln \frac{l}{l_0} \\ &= \ln \frac{51,2}{50} \\ &= 0,024\end{aligned}$$

Hasil perhitungan tegangan sejati dan regangan sejati untuk spesimen pertama sampai ketiga dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.2. Hasil perhitungan tegangan sejati dan regangan sejati aluminium 6060.

No	Tegangan Sejati (σ) [kgf.mm ⁻²]	Regangan Sejati (ε)
1	19,492	0,024
2	19,492	0,024
3	18,134	0,026

4.2.2 Data cacat kerut

Data penghitungan kuantitas cacat kerut hasil proses *deep drawing* menggunakan *die* keramik ditampilkan pada tabel 4.3 untuk cacat kerut yang terjadi pada bagian *flange* dan pada tabel 4.4 untuk cacat kerut yang terjadi pada bagian *wall*. Sedangkan data pengukuran tinggi kerutan pada daerah *flange* dan *wall* masing-masing ditampilkan pada tabel 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.3. Data kuantitas cacat kerut pada bagian *flange*

Pengulangan	Gaya Blank Holder [kgf]				
	76	152	228	304	380
Kuantitas Kerutan					
1	26	33	38	30	20
2	28	36	42	26	21
3	30	30	37	28	19
Total	84	99	117	84	60
Rata - rata	28	33	39	28	20

Tabel 4.4. Data kuantitas cacat kerut pada bagian dinding (*wall*)

Pengulangan	<i>Gaya Blank Holder</i> [kgf]				
	76	152	228	304	380
	Kuantitas Kerutan				
1	14	16	19	8	5
2	15	18	21	9	4
3	16	17	20	8	5
Total	45	51	60	25	14
Rata - rata	15	17	20	8	5

Tabel 4.5. Data tinggi kerutan pada bagian *flange*.

Pengulangan	<i>Gaya Blank Holder</i> [kgf]				
	76	152	228	304	380
	Tinggi Kerutan [mm]				
1	0,79	0,59	0,32	0,12	0,09
2	0,65	0,53	0,28	0,13	0,09
3	0,73	0,64	0,29	0,14	0,08
Total	2,17	1,76	0,89	0,39	0,26
Rata - rata	0,72	0,58	0,29	0,13	0,08

Tabel 4.6. Data tinggi kerutan pada bagian dinding (*wall*).

Pengulangan	<i>Gaya Blank Holder</i> [kgf]				
	76	152	228	304	380
	Tinggi Kerutan [mm]				
1	0,35	0,27	0,23	0,12	0,07
2	0,30	0,25	0,23	0,11	0,06
3	0,34	0,29	0,20	0,12	0,07
Total	0,99	0,81	0,66	0,35	0,20
Rata - rata	0,33	0,27	0,22	0,12	0,07

4.3 Analisis Statistik

4.3.1 Analisis kecukupan data

Tabel 4.7. Analisis kecukupan data kuantitas cacat kerut variasi gaya *blank holder* 76 kgf pada *flange*

No.	(X_i)	(X_i^2)	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	26	676	-2	4
2	28	784	0	0
3	30	900	2	4
total	84	2360	0	8

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

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \\ &= \frac{84}{3} \\ &= 28\end{aligned}$$

- Standart deviasi (SD)

$$\begin{aligned}SD &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{4} \\ &= 2\end{aligned}$$

- Derajat ketelitian (DA)

$$\begin{aligned}DA &= \frac{SD}{\bar{X}} \times 100\% \\ &= \frac{2}{28} \times 100\% \\ &= 7,14\%\end{aligned}$$

- Tingkat keyakinan (CL)

$$\begin{aligned}CL &= 100\% - DA \\ &= 100\% - 7,14\% \\ &= 92,86\%\end{aligned}$$

- Kecukupan data observasi (n')

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

$$= \left[\frac{\frac{1,556}{0,0714} \sqrt{7080 - 7056}}{84} \right]^2$$

$$= 1,62$$

Dengan perhitungan yang sama, maka akan didapat hasil seperti pada tabel 4.8 dan tabel 4.9 berikut :

Tabel 4.8. Hasil analisis kecukupan data kuantitas cacat kerut pada bagian *flange*

Nilai	Gaya <i>Blank Holder</i> [kgf]				
	76	152	228	304	380
n	3	3	3	3	3
\bar{X}	28	33	39	28	20
SD	2	3	2,65	2	1
DA [%]	7,14	9,09	6,78	7,14	5
CL [%]	92,86	90,90	93,22	92,86	95
K_k	1,556	1,69	1,85	1,58	1,96
n'	1,62	1,91	2,27	1,67	2,56

Tabel 4.9. Hasil analisis kecukupan data kuantitas cacat kerut pada bagian *wall*

Nilai	Gaya <i>Blank Holder</i> [kgf]				
	76	152	228	304	380
n	3	3	3	3	3
\bar{X}	15	17	20	8	5
SD	1	1	1	0,57	0,57
DA [%]	6,67	5,88	5	6,93	12,37
CL [%]	93,33	94,12	95	93,07	87,63
K_k	1,85	1,91	1,35	1,31	1,56
n'	2,29	2,42	1,22	1,13	1,62

4.3.2 Analisis Varian Satu Arah

Berdasarkan data kuantitas cacat kerut pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 maka dilakukan perhitungan analisis varian satu arah untuk mengetahui pengaruh gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi pada *drawpiece*. Apabila nilai F_{hitung}

yang diperoleh lebih besar dari nilai F_{tabel} , berarti gaya *blank holder* berpengaruh nyata terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi. Bila nilai F_{hitung} yang diperoleh lebih kecil dari nilai F_{tabel} , gaya *blank holder* tidak berpengaruh terhadap kuantitas cacat kerut.

Dari perolehan data pada tabel 4.3 dilakukan perhitungan analisis varian satu arah sebagai berikut :

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \\ &= 26 + 28 + 30 + \dots + 21 + 19 \\ &= 444 \end{aligned}$$

- Kuadrat seluruh perlakuan (K_p)

$$\begin{aligned} &= \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2 \\ &= (26)^2 + (28)^2 + \dots + (19)^2 \\ &= 13784 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (f_k)

$$\begin{aligned} &= \frac{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n.k} \\ &= \frac{444^2}{15} \\ &= 13142,4 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JK_T)

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - f_k \\ &= 13784 - 13142,4 \\ &= 641,6 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JK_p)

$$\begin{aligned} &= \frac{\sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^k Y_{ij} \right]^2}{n} - f_k \\ &= \frac{(84^2 + 99^2 + 117^2 + 84^2 + 60^2)}{3} - 13142,4 \\ &= 591,6 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat galat (JK_G)

$$\begin{aligned} &= JK_T - JK_P \\ &= 641,6 - 591,6 \\ &= 50 \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KT_P)

$$\begin{aligned} &= \frac{JK_P}{k-1} \\ &= \frac{591,6}{5-1} \\ &= 147,9 \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah galat (KT_G)

$$\begin{aligned} &= \frac{JK_G}{\Sigma n - k} \\ &= \frac{50}{15-5} \\ &= 5 \end{aligned}$$

- Nilai F_{hitung}

$$\begin{aligned} F_{hitung} &= \frac{KT_P}{KT_G} \\ &= \frac{147,9}{5} \\ &= 29,58 \end{aligned}$$

Tabel 4.10. Tabel analisis varian satu arah (pada *flange*)

Sumber varian	db	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	591,6	147,9	29,58	2,61
Galat	10	50	5		
Total	14	641,6	-	-	-

Dari tabel 4.10 diperoleh hasil F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} yang berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa besarnya gaya *blank holder* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi pada *flange*.

Dengan perhitungan yang sama untuk data pada tabel 4.4 maka akan didapatkan hasil perhitungan F_{hitung} pada tabel 4.11 sebagai berikut.

Tabel 4.11. Tabel analisis varian satu arah (pada *wall*)

Sumber varian	db	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	480,67	120,17	38,35	2,61
Galat	10	31,33	3,13		
Total	14	512	-	-	-

Dari tabel 4.11 diperoleh hasil F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} yang berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa besarnya gaya *blank holder* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi pada *wall*.

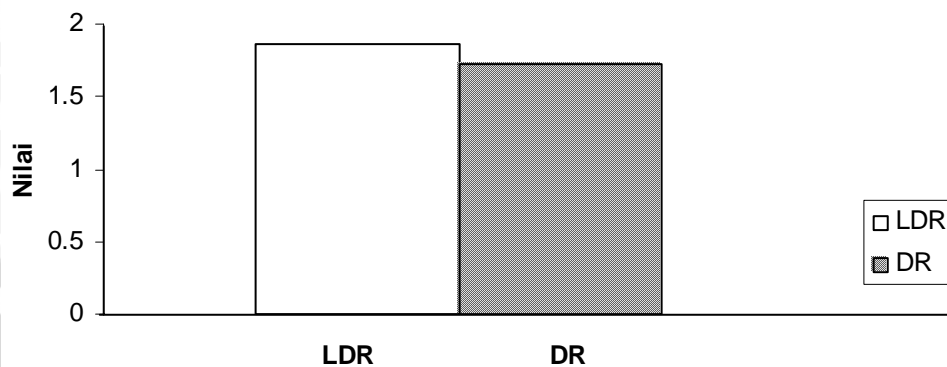
4.4 Pembahasan

Proses pembentukan bahan keramik dilakukan dengan menggunakan metode *dry pressing*, hal ini dimaksudkan agar bentuk yang dihasilkan memiliki tingkat kepresisian yang tinggi. Proses pengeringan bahan keramik yang telah di *press* tadi dilakukan dengan cara menjemur di bawah sinar matahari. Selanjutnya proses pembakaran bahan keramik yang telah dikeringkan tadi dilakukan dengan dua tahap proses pembakaran, tahap pertama bahan keramik tersebut dibakar pada temperatur 600 °C, tahap kedua bahan keramik tersebut dibakar pada temperatur 1250 °C. Hal ini dilakukan untuk mengontrol perubahan yang terjadi pada keramik, sehingga bentuk akhir dari keramik yang dibakar tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Analisis kecukupan data dilakukan untuk mengetahui bahwa jumlah pengambilan data pengamatan telah cukup mewakili suatu perlakuan. Dari perhitungan analisis kecukupan data, data dianggap cukup apabila nilai $n' < n$. Hasil perhitungan kecukupan data pada tabel 4.8 dan tabel 4.9 didapatkan nilai $n' < n$, yang berarti bahwa semua data dianggap cukup mewakili masing-masing perlakuan sehingga dapat dilakukan analisis lebih lanjut.

Analisis varian satu arah digunakan untuk mengetahui adanya pengaruh variasi gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut pada *drawpiece*. Hasil perhitungan dengan analisis varian satu arah didapatkan harga $F_{hitung} >$ dari F_{tabel} . Pada perhitungan bagian *flange* didapatkan harga $F_{hitung} = 29,58 > F_{tabel} = 2,61$, pada bagian *wall* didapatkan harga $F_{hitung} = 38,35 > F_{tabel} = 2,61$. Ini menunjukkan bahwa variasi gaya *blank holder* memberi pengaruh terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi pada bagian *flange* maupun *wall*.

Drawing ratio adalah nilai yang menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk di-*deep drawing*. Untuk mencegah terjadinya kegagalan dalam proses *deep drawing*, nilai *drawing ratio* tidak boleh melebihi nilai *Limiting drawing ratio*. Dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa pada penelitian ini nilai *drawing ratio* memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai *limiting drawing ratio*, ini menunjukkan bahwa proses *deep drawing* dapat dilakukan tanpa kecenderungan untuk mengalami kegagalan (cacat sobek).

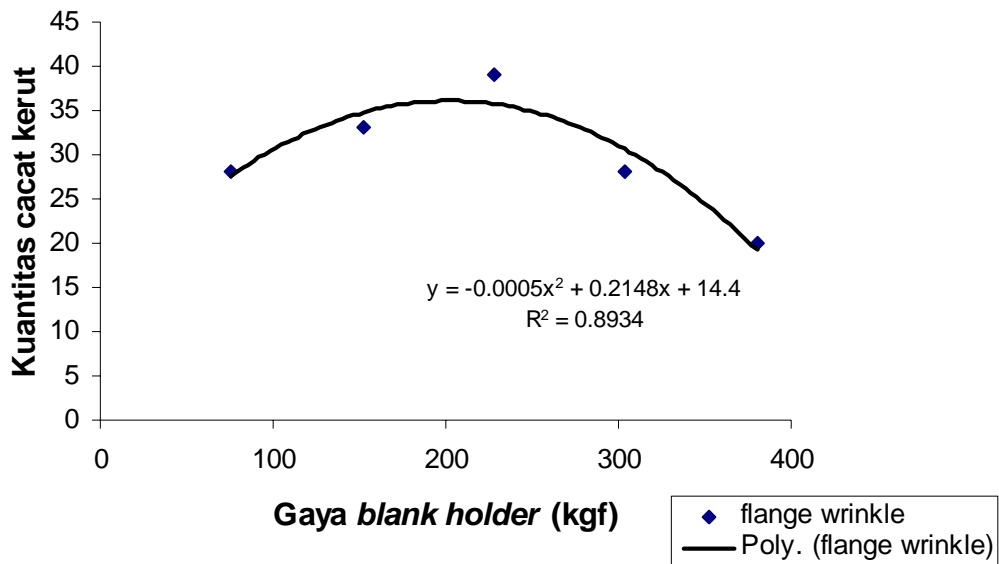


Gambar 4.1. Diagram *Limiting Drawing Ratio* dan *Drawing Ratio*

4.4.1 Pengaruh gaya *blank holder* terhadap kuantitas cacat kerut

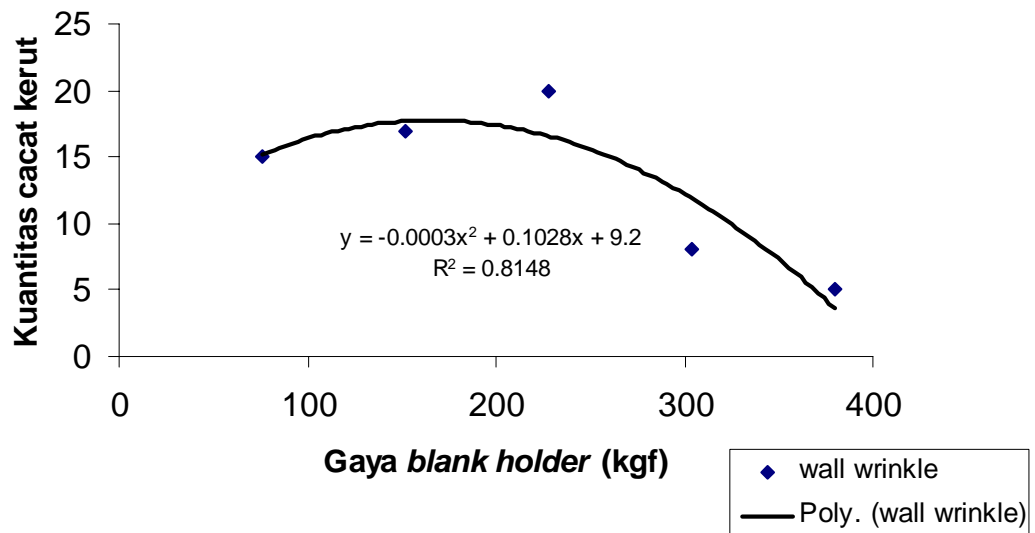
Gaya *blank holder* adalah gaya yang diberikan untuk menjepit *blank* sehingga *blank* tidak bergerak bebas pada saat *punch* menekan. Dengan adanya gaya *blank holder*, aliran (laju deformasi) *blank* pada saat terjadi proses *deep drawing* dapat terkendali dan menahan terjadinya kerutan. Dari hasil percobaan dengan gaya *blank holder* yang bervariasi didapatkan cacat kerut yang kuantitasnya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya gaya *blank holder*, tetapi kuantitas itu semakin menurun apabila gaya *blank holder* terus ditambahkan.

Gambar 4.2 menjelaskan bahwa pada pengujian dengan menggunakan gaya *blank holder* 76 kgf, rata-rata kuantitas cacat kerut yang terjadi ialah 28. Rata – rata kuantitas cacat kerut terus bertambah menjadi 39 pada pengujian dengan menggunakan gaya *blank holder* 228 kgf, setelah gaya *blank holder* yang diberikan melebihi 228 kgf, rata-rata kuantitas cacat kerut yang terjadi semakin menurun sampai akhirnya diperoleh rata-rata kuantitas cacat kerut terendah 20 ketika pengujian dilakukan dengan menggunakan gaya *blank holder* 380 kgf.



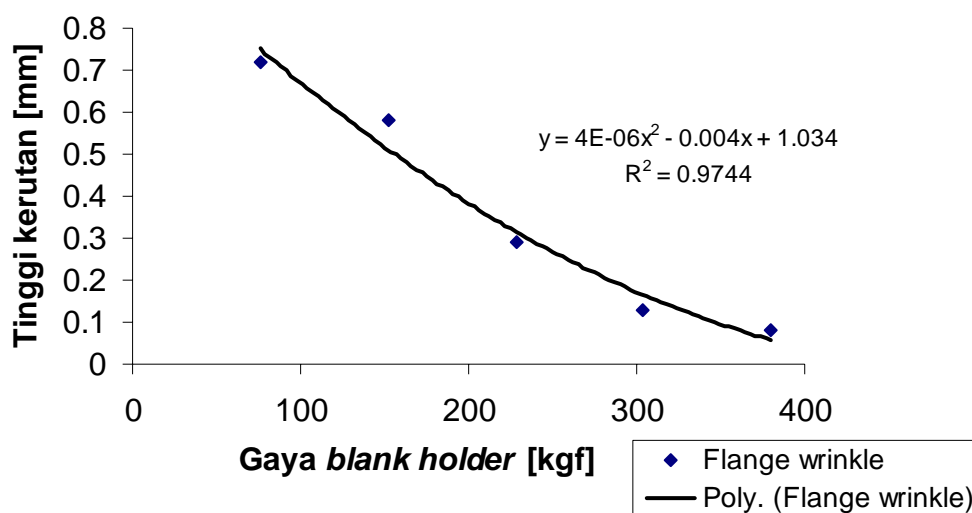
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara gaya *blank holder* dengan kuantitas cacat kerut pada bagian *flange*

Kuantitas cacat kerut yang terjadi pada bagian dinding (*wall*) *drawpiece* untuk semua variasi gaya *blank holder* dapat dilihat pada gambar 4.3. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa pada pengujian dengan menggunakan gaya *blank holder* 76 kgf, rata-rata kuantitas cacat kerut yang terjadi ialah 15. Rata-rata kuantitas cacat kerut terus bertambah menjadi 20 pada pengujian dengan menggunakan gaya *blank holder* 228 kgf, setelah gaya *blank holder* yang diberikan melebihi 228 kgf, rata-rata kuantitas cacat kerut yang terjadi semakin menurun sampai akhirnya diperoleh rata-rata kuantitas cacat kerut terendah 5 ketika pengujian dilakukan dengan menggunakan gaya *blank holder* 380 kgf.

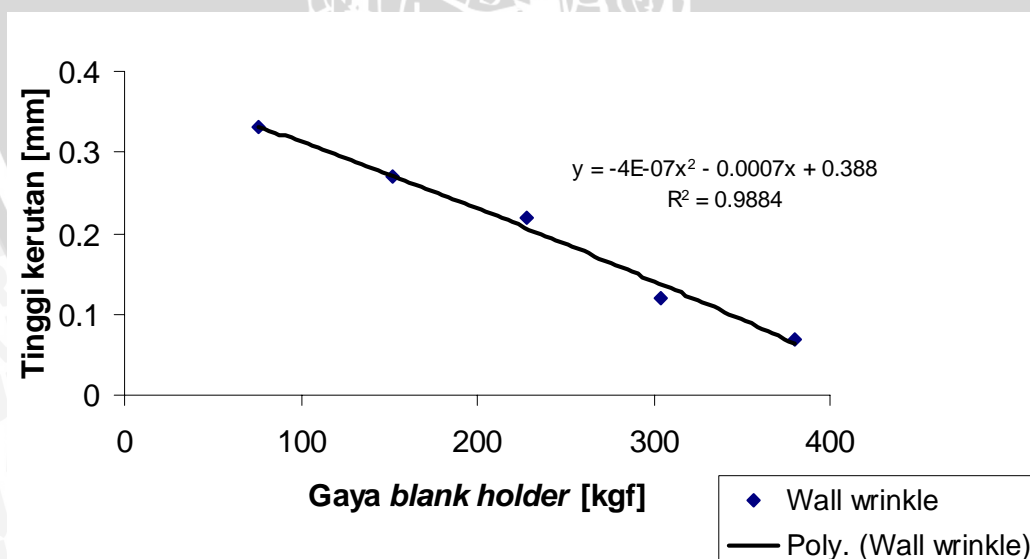


Gambar 4.3. Grafik hubungan antara gaya *blank holder* dengan kuantitas cacat kerut pada bagian dinding (*wall*).

Langkah selanjutnya dalam penelitian ini dilakukan evaluasi terhadap tinggi kerutan rata-rata yang terjadi pada *drawpiece* bagian *flange* dan dinding (*wall*). Hal ini dilakukan untuk mengetahui gaya *blank holder* optimum dalam penelitian ini. Gaya *blank holder* dikatakan optimum apabila menghasilkan *drawpiece* dengan jumlah kerutan minimum dan tinggi kerutan minimum. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa dengan meningkatnya gaya *blank holder*, tinggi cacat kerut akan semakin rendah. Hal ini dapat dilihat dari data pada tabel 4.5 dan 4.6 yang kemudian disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.4 Grafik hubungan gaya *blank holder* dengan tinggi kerutan pada bagian *flange*.



Gambar 4.5 Grafik hubungan gaya *blank holder* dengan tinggi kerutan pada bagian dinding (*wall*)

Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa tinggi kerutan yang terjadi semakin rendah seiring dengan meningkatnya gaya *blank holder*. Ini menunjukkan bahwa semakin besar gaya *blank holder* yang digunakan, maka *blank holder* tersebut semakin mampu menahan terjadinya kerutan. Akibat semakin mampunya *blank holder* menahan kerutan, ini berarti bahwa ruang tempat terbentuknya kerutan juga semakin kecil (sempit). Hal ini menyebabkan distribusi tegangan yang membentuk suatu kerutan pada daerah yang telah berkerut akan didistribusikan kembali ke daerah yang belum berkerut, sehingga kerutan baru akan terbentuk apabila daerah tersebut tidak mampu menahan distribusi tegangan tadi. Hal ini yang menyebabkan kuantitas cacat kerut bertambah ketika pengujian dilakukan dengan menggunakan gaya *blank holder* 76, 152, 228 kgf. Penurunan kuantitas kerutan terjadi ketika gaya *blank holder* yang digunakan sebesar 304 kgf, dan terus menurun ketika digunakan gaya *blank holder* sebesar 380 kgf. Penurunan ini disebabkan karena tegangan kompresi hanya mampu membuat *blank* berkerut dengan ketinggian yang lebih kecil sehingga tegangan kompresi yang dapat membuat *blank* berkerut tadi tidak mampu lagi terdistribusi ke arah terbentuknya kerutan (*circumferential*). Akibatnya tegangan tersebut terdistribusi ke arah radial yang merupakan arah aliran dari *blank* sehingga kerutan yang terbentuk pun akan semakin sedikit. Untuk cacat kerut pada dinding *drawpiece* memiliki kuantitas yang lebih sedikit daripada kuantitas cacat kerut pada bagian *flange*, hal ini disebabkan karena kerutan yang awalnya berada pada bagian *flange* mengalami "ironing" ketika *blank* masuk kedalam lubang *die*.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan data dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

Penggunaan keramik sebagai bahan *die* pada proses *deep drawing* dapat dijadikan suatu alternatif agar proses *deep drawing* dapat dilakukan tanpa menggunakan pelumas karena keramik memiliki kehalusan dan sifat licin pada permukaanya. Sehingga pencemaran lingkungan akibat pembuangan pelumas dari proses *deep drawing* dapat dihindari.

Gaya *blank holder* berpengaruh terhadap kuantitas cacat kerut yang terjadi pada *drawpiece*, baik pada bagian *flange* maupun dinding (*wall*). Kuantitas cacat kerut pada bagian *flange* dan dinding (*wall*) dapat direduksi dengan meningkatkan gaya *blank holder*. Dari semua variasi gaya *blank holder*, kuantitas cacat kerut minimum pada *drawpiece* diperoleh pada pengujian dengan gaya *blank holder* sebesar 380 kgf yang menghasilkan kuantitas cacat kerut sebanyak 20 kerutan pada bagian *flange* dan 5 kerutan pada bagian dinding (*wall*).

5.2 Saran

1. Melakukan penelitian untuk mendapatkan *die* keramik dengan tingkat kekerasan dan kepresisian yang tinggi.
2. Melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi jenis keramik sebagai bahan *die* pada proses *deep drawing* terhadap cacat permukaan yang terjadi pada *drawpiece*.



DAFTAR PUSTAKA

- Abedrabo, Nader. at all. 2005. *Wrinkling control in aluminum sheet hydroforming*. Michigan : <http://www.elsevier.com>.
- Anonim. 1982. *ASTM Internasional Handbook 1982*, USA: West Conshohocken PA.
- Anonim. <http://www.wikipedia.com>, Juni 2007.
- Anonim. <http://www.matweb.com>, Desember 2006.
- Astuti, Ambar. 1997. *Pengetahuan Keramik*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- Dieter, George E.1990. *Metalurgi Mekanik*. Jilid 1. Terjemahan Sriati Djaprie. Jakarta : Erlangga.
- Eary F. Donald dan Reed A. Edward. 1974. *Techniques of Pressworking Sheet Metal*. New Jersey: Prentice hall.
- Erpolat, Serhat. 2006. *Fundamentals of metal forming I*. Atilim University.
- Eugene, D. Ostergaard. 1967. *Advanced Die Making*. New Jersey: Prentice hall.
- Hasnan, Ahmad. 2006. "Pengaruh kedalaman *drawing* dan radius *die* terhadap gaya *drawing* pada *die* keramik". *Skripsi*. Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Mesin FT Unibraw, 2006.
- Hifni, M. 1991. *Metode Statistika*. Malang : Kopma Press Universitas Brawijaya.
- Jacobs, A. James. 1997. *Engineering Materials Technology*. New Jersey : Prentice hall.
- Kalpakjian, Serope. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*. USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.All.
- Kataoka, S. at all. 2003. *Tribology of dry-deep drawing of various metal sheets with use of ceramics tools*. Japan <http://www.elsevier.com>
- Lange, Kurt. 1985. *Handbook of Metal Forming*. New York: Mc Graw Hill.
- Mikell, P. Groover. 1995. *Fundamental of Modern Manufacturing*. New York : Mc.Graw Hill.

Piskin, A. Mehmet. at all. 2005. *Computer aided modeling of wrinkling and its prevention*.
<http://www.sciencedirect.com>.

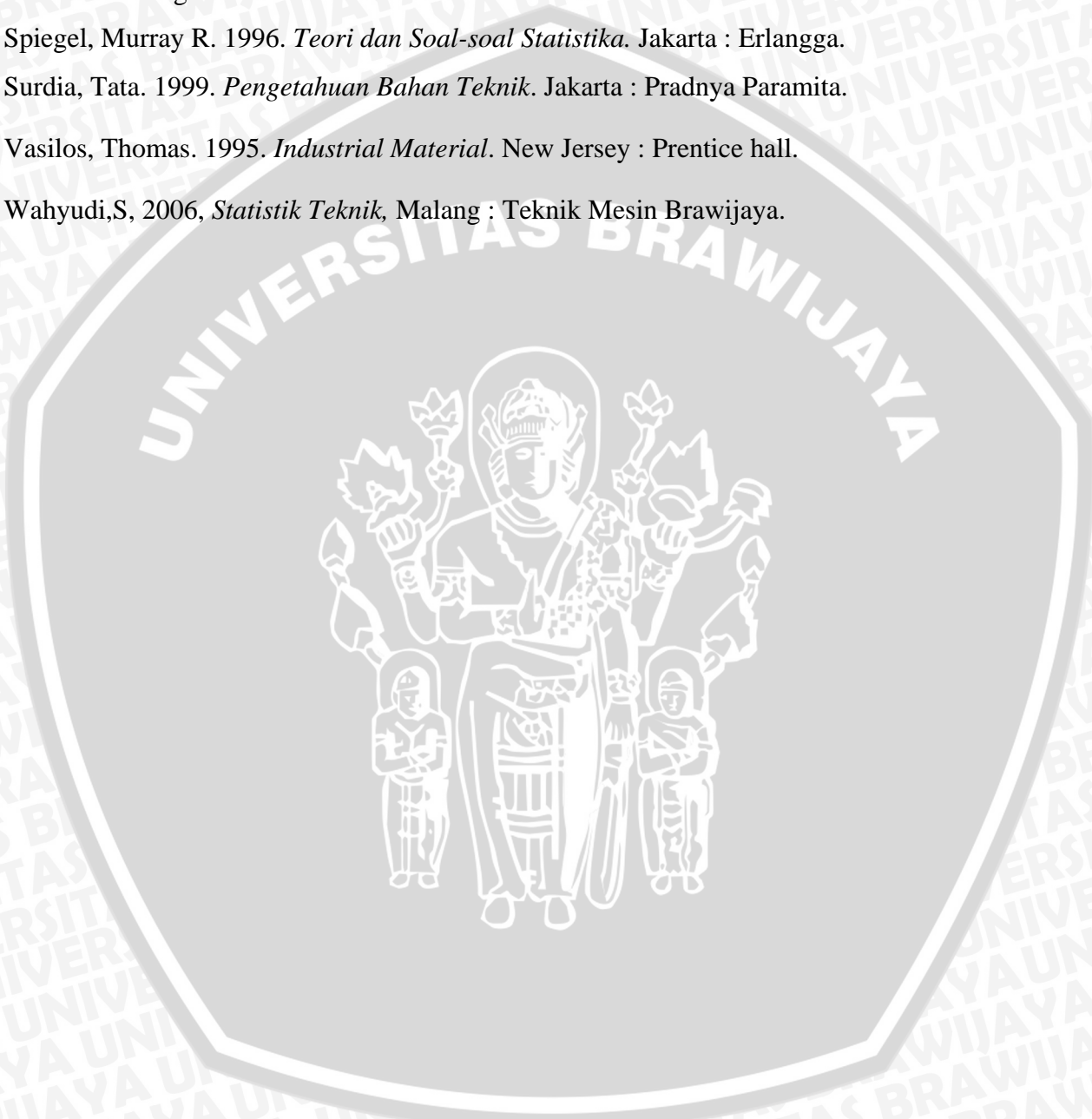
Siswosuwarno, Mardjono. 1985. *Teknik Pembentukan Logam*. Bandung : Institut Teknologi
Bandung.

Spiegel, Murray R. 1996. *Teori dan Soal-soal Statistika*. Jakarta : Erlangga.

Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : Pradnya Paramita.

Vasilos, Thomas. 1995. *Industrial Material*. New Jersey : Prentice hall.

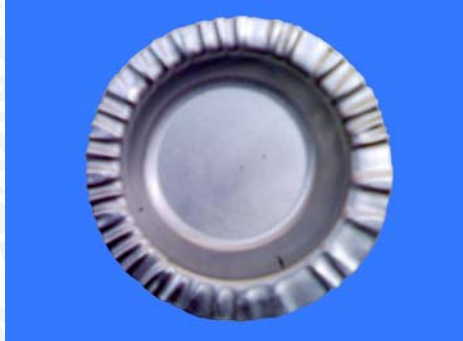
Wahyudi,S, 2006, *Statistik Teknik*, Malang : Teknik Mesin Brawijaya.



LAMPIRAN I

Foto *drawpiece* hasil pengujian *deep drawing*.

- *Drawpiece* hasil *deep drawing* dengan gaya *blank holder* 76 kgf.



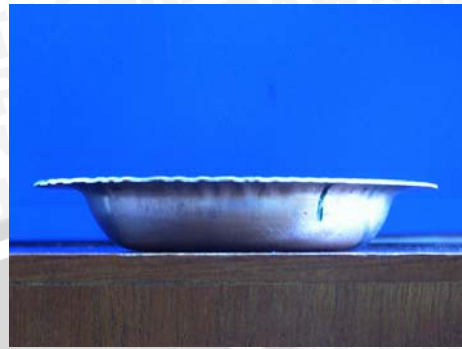
- *Drawpiece* hasil *deep drawing* dengan gaya *blank holder* 152 kgf.



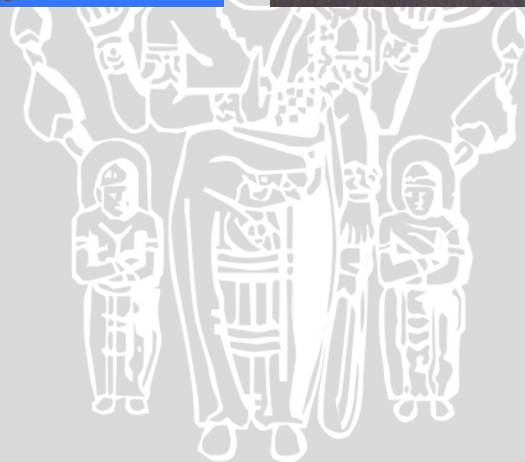
- *Drawpiece* hasil *deep drawing* dengan gaya *blank holder* 228 kgf.



- Drawpiece hasil deep drawing dengan gaya blank holder 304 kgf.



- Drawpiece hasil deep drawing dengan gaya blank holder 380 kgf.



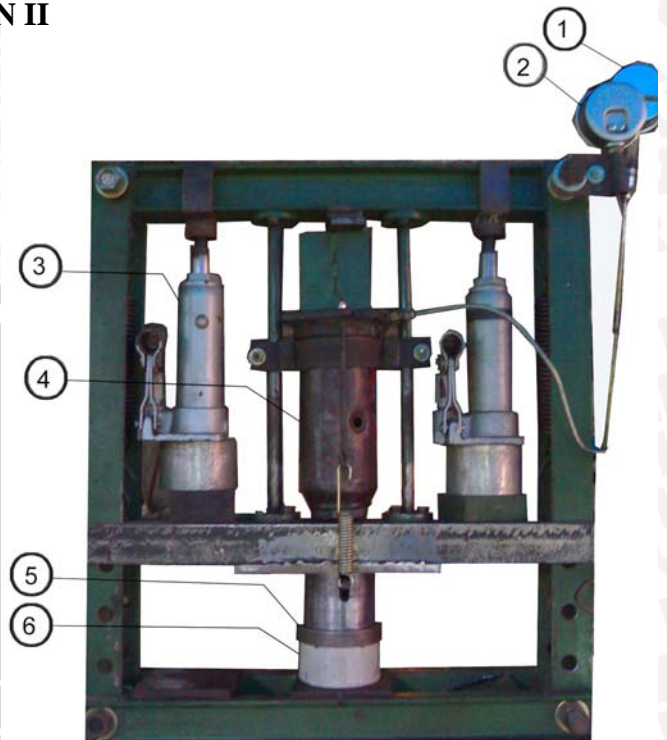
LAMPIRAN II

Alat penelitian.

- Gambar mesin *deep drawing*

Keterangan :

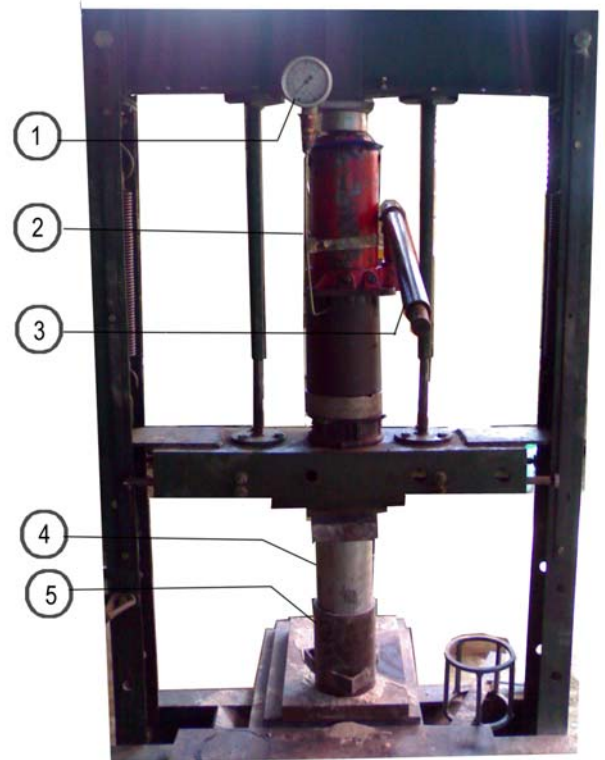
1. *Pressure gauge* hidrolik blank holder
2. *Pressure gauge* hidrolik punch
3. Hidrolik blank holder
4. Hidrolik punch
5. Blank holder
6. *Die* keramik



- Gambar mesin *press* keramik

Keterangan :

1. *Pressure gauge* hidrolik
2. Hidrolik
3. Tuas hidrolik
4. Penekan
5. Cetakan keramik



- Gambar tungku pembakaran keramik.

Keterangan :

- a. Tungku bakar
- b. Bagian dalam tungku bakar



a

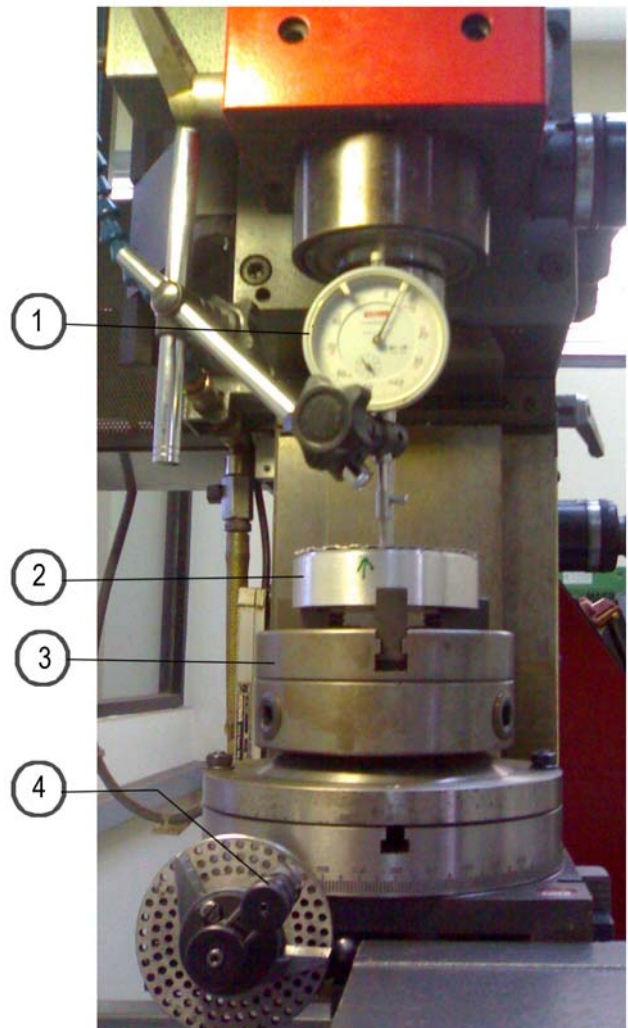


b

- Gambar mesin *milling*.

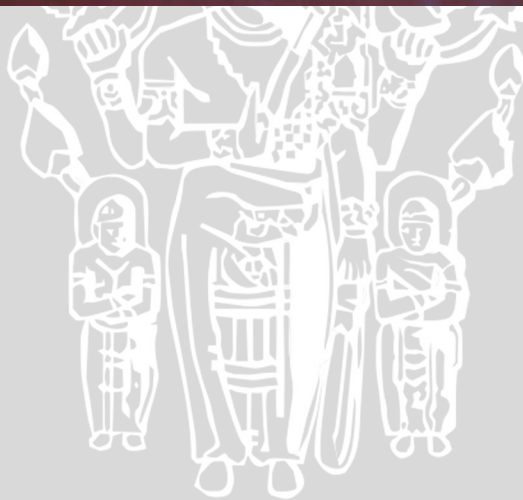
Keterangan :

1. *Dial indicator*
2. *Base drawpiece*
3. *Chuck*
4. *Spindle*



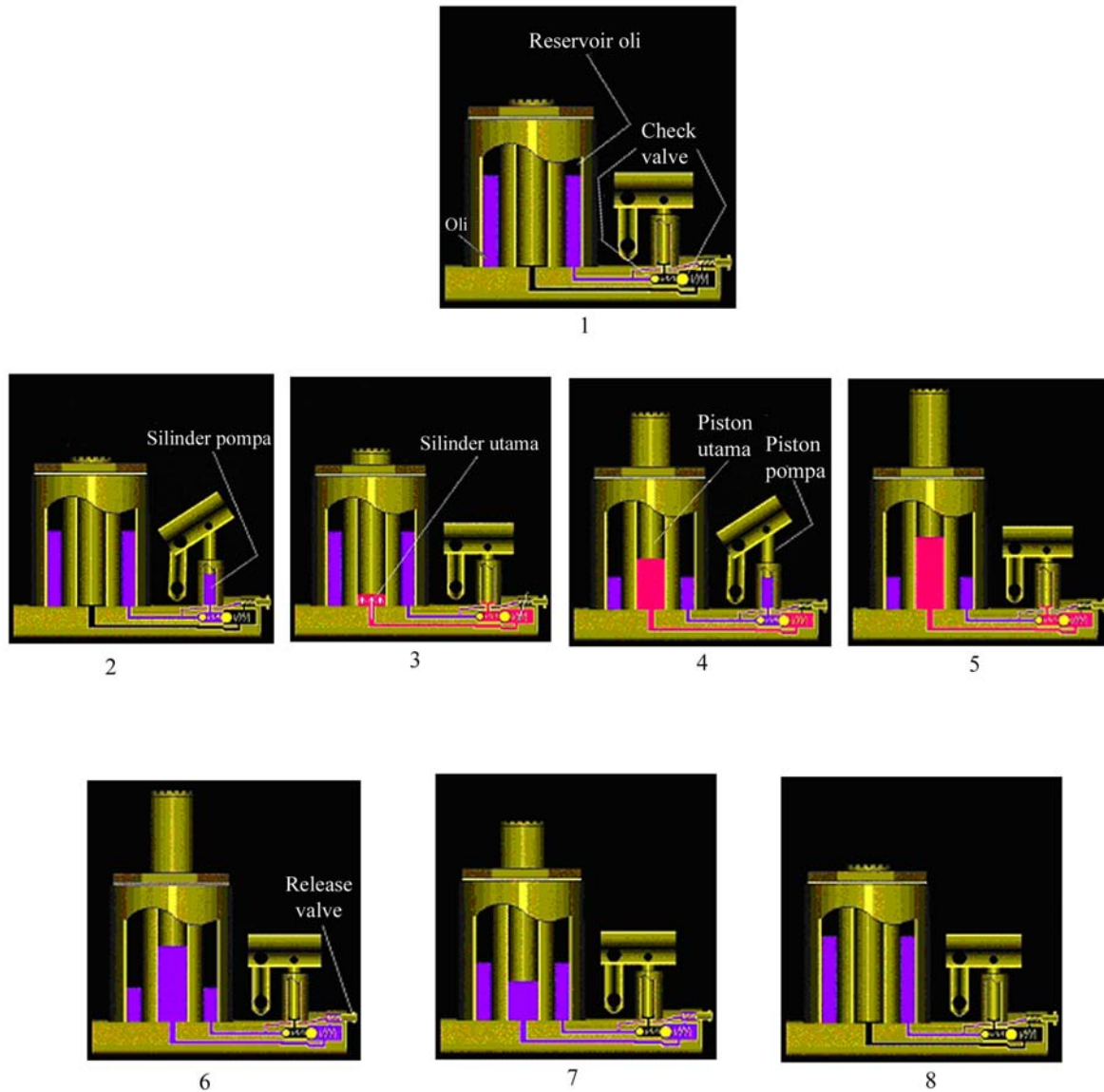
LAMPIRAN III

- Gambar *die* keramik



LAMPIRAN IV

- Gambar prinsip kerja hidrolik



Keterangan :

- Keadaan awal (gambar 1)
- Keadaan ketika dipompa, untuk menaikkan piston utama (gambar 2, 3, 4, 5)
- Keadaan ketika *release valve* dibuka, untuk menurunkan (mengembalikan) piston utama ke posisi awal (gambar 6, 7, 8)

LAMPIRAN V

TABEL FUNTUN a = 10.2

V1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120
1	39.9	19.5	53.6	55.6	57.2	58.2	58.9	59.4	59.9	60.2	60.7	61.2	61.7	62.3	62.5	62.8	63.1
2	6.52	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.46	9.47	9.47	9.48
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.17	5.16	5.15	5.13
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	4.00	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.82	3.80	3.79	3.76
5	4.06	3.75	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.17	3.16	3.14	3.10
6	3.75	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.80	2.78	2.76	2.72
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.56	2.54	2.51	2.47
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.38	2.36	2.34	2.29
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.23	2.21	2.16
10	3.28	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.15	2.13	2.11	2.06
V2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120
11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.08	2.05	2.03	2.00
12	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.29	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.96	1.93	1.90	1.85
13	3.14	2.76	2.50	2.43	2.35	2.29	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.96	1.93	1.90	1.85
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.91	1.89	1.86	1.80
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.87	1.85	1.82	1.76
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.84	1.81	1.78	1.72
17	3.03	2.64	2.41	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.81	1.78	1.75	1.69
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	1.78	1.75	1.72	1.66
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.63
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.74	1.71	1.68	1.61
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.66	1.63	1.59	1.52
30	2.89	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.61	1.57	1.54	1.46
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.71	1.66	1.61	1.54	1.51	1.47	1.39
60	2.79	2.39	2.16	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.48	1.44	1.40	1.32
120	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.60	1.54	1.48	1.41	1.37	1.32	1.23
1	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.34	1.30	1.24	1.17

Sumber : Hifni, 1991