

**PENGARUH KECEPATAN *PUNCH* DAN KANDUNGAN Al_2O_3
PADA *DIE* KERAMIK TERHADAP GAYA *DRAWING***

SKRIPSI

BIDANG STUDI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

WENANTHA ARDI

NIM. 0110620139

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta berkat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Kecepatan *Punch* dan Kandungan Al_2O_3 pada *Die* Keramik terhadap Gaya *Drawing*”**.

Dalam kesempatan ini, penyusun menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST.MT, selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, M.MT dan Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc. CSE, selaku Dosen Pembimbing.
3. Bapak Sugiarto, ST., MT, selaku Dosen Wali.
4. Orang tua, saudara dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, untuk segala kritik dan saran yang mendukung dalam kesempurnaan tulisan ini sangat penyusun harapkan.

Akhir kata semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 20 Agustus 2007

Wenantha Ardi

RINGKASAN

Wenantha Ardi, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Agustus 2007, *Pengaruh Kecepatan Punch dan Kandungan Al_2O_3 pada Die Keramik terhadap Gaya Drawing*, Dosen Pembimbing : Ir. Marsoedi Wirohardjo, M.MT dan Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc. CSE.

Sejalan dengan perkembangan dunia industri yang semakin pesat dan penuh persaingan, maka setiap pelaku industri selalu berusaha untuk meningkatkan produktifitasnya. Dalam industri pembentukan logam *deep drawing* digunakan bahan keramik sebagai die untuk menghindari limbah pelumas cair. Disamping digunakan die keramik, kecepatan produksi merupakan salah satu komponen penting dalam perindustrian, maka dari itu kecepatan *punch* pada proses *dry deep drawing* dengan menggunakan die keramik ingin diteliti.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan *punch* dan kandungan Al_2O_3 pada die keramik terhadap gaya *drawing*, sehingga didapatkan kecepatan *punch* dan komposisi die keramik yang optimum pada proses *dry deep drawing stainless steel sheet 430*. Dalam penelitian divariasikan kecepatan *punch* yaitu : 0,6 mm/s, 1,2 mm/s, 1,8 mm/s, 2,4 mm/s, dan 3 mm/s. Dan untuk die keramik dengan kandungan Al_2O_3 sebesar : 17 gr, 27 gr, 37 gr, 47 gr, dan 57 gr.

Dari hasil penelitian didapat bahwa gaya *drawing* mengalami peningkatan ketika kecepatan *punch* bertambah, hal tersebut dikarenakan ada perbedaan kecepatan regangan saat *deep drawing* pada setiap variasi kecepatan *punch*. Namun sebaliknya, gaya *drawing* mengalami penurunan ketika kandungan Al_2O_3 pada die keramik bertambah, hal ini disebabkan sifat Al_2O_3 yang menambah kekerasan dan sifat licin pada permukaan.

Kesimpulan yang diambil yaitu, kecepatan *punch* dan kandungan Al_2O_3 pada die keramik berpengaruh terhadap gaya *drawing* dan kondisi permukaan *draw piece*. Semakin besar kecepatan *punch*, maka gaya *drawing* meningkat dan semakin besar kandungan Al_2O_3 pada die keramik, maka gaya *drawing* menurun.

Kata kunci : *deep drawing, die keramik, alumina, kecepatan punch, gaya drawing.*

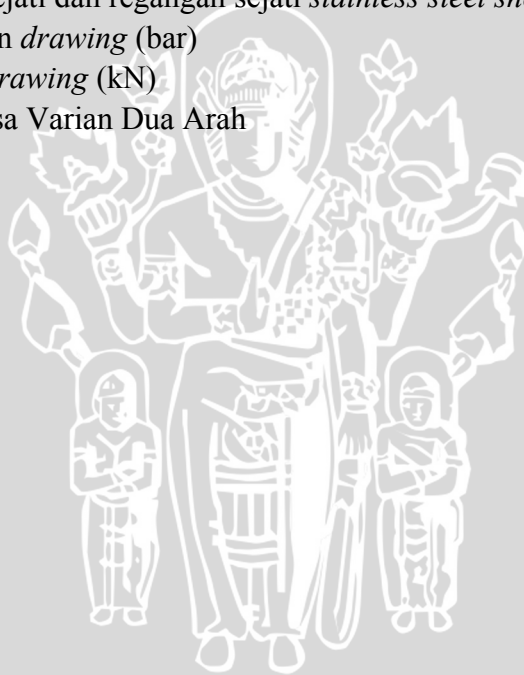
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
RINGKASAN	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2. Proses <i>Deep Drawing</i>	5
2.2.1. Perkakas <i>Deep Drawing</i>	6
2.2.2. Tahapan dan Kondisi Proses <i>Deep Drawing</i>	7
2.2.3. Variabel Proses <i>Deep Drawing</i>	11
2.3. Keramik.....	18
2.4.1 Bahan Baku Keramik.....	18
2.4.2. Pembuatan Keramik.....	19
2.4. <i>Dry Deep Drawing</i> dengan <i>Die</i> Keramik.....	20
2.5. Hipotesis.....	22
BAB III. METODOLOGI	23
3.1. Metode Penelitian.....	23
3.2. Variabel Penelitian.....	23
3.3. Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
3.4. Peralatan Penelitian.....	24
3.5. Bahan Penelitian.....	25
3.6. Dimensi Benda Uji dan Keramik.....	26
3.6.1. <i>Draw Piece</i>	26

3.6.2. <i>Die</i> Keramik	26
3.7. Skema Instalasi Mesin <i>Drawing</i>	27
3.8. Prosedur Penelitian.....	27
3.8.1. Prosedur Umum.....	27
3.8.2. Prosedur Percobaan.....	29
3.9. Rancangan Penelitian.....	30
3.9.1. Pengambilan Data.....	30
3.9.2. Analisa Data Statistik.....	30
3.9. Diagram Alir Penelitian.....	34
BAB IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Perhitungan Parameter Terkendali.....	35
4.2. Data Hasil Pengujian.....	36
4.2.1. Data Uji Tarik <i>Stainless Steel Sheet</i> 430.....	36
4.2.2. Data Hasil Pengujian <i>Deep Drawing</i>	37
4.3. Analisis Statistik.....	39
4.4. Pembahasan.....	42
4.4.1. Pengaruh kecepatan <i>drawing</i> terhadap gaya <i>drawing</i>	42
4.4.2. Kondisi Permukaan <i>Draw Piece</i> dengan Variasi Kecepatan <i>Punch</i>	43
4.4.3. Pengaruh Kandungan Al_2O_3 pada <i>Die</i> terhadap Gaya <i>Drawing</i>	45
BAB V. PENUTUP	47
5.1. Kesimpulan.....	47
5.2. Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	<i>Die clearence</i> untuk beberapa jenis material <i>sheet</i>	16
Tabel 3.1	Komposisi kimia <i>stainless steel</i> 430	25
Tabel 3.2	Komposisi glasir pada <i>die</i> keramik	25
Tabel 3.3	Dimensi spisemen uji tarik <i>stainless steel sheet</i> 430	28
Tabel 3.4	Rancangan Pengambilan Data <i>Drawing Force</i>	30
Tabel 3.5	Rancangan Penelitian Dengan Setiap Sel Lebih Dari Satu Pengamatan	31
Tabel 3.6	Analisis Varian Dua Arah	33
Tabel 4.1	Data hasil pengujian uji tarik <i>stainless steel sheet</i> 430	36
Tabel 4.2	Tegangan sejati dan regangan sejati <i>stainless steel sheet</i> 430	37
Tabel 4.3	Data tekanan <i>drawing</i> (bar)	38
Tabel 4.4	Data gaya <i>drawing</i> (kN)	39
Tabel 4.5	Hasil Analisa Varian Dua Arah	41

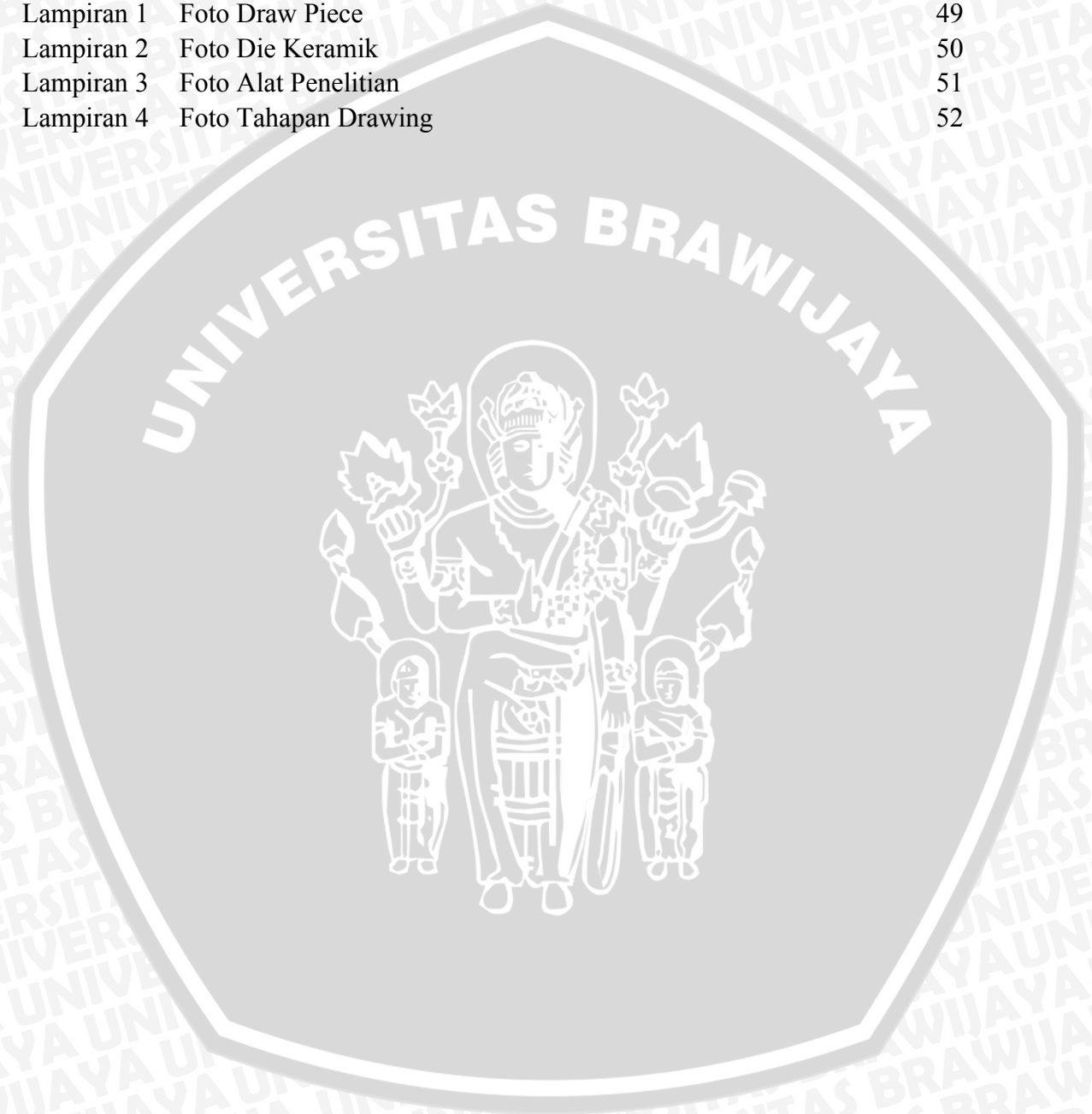


DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Ilustrasi proses <i>first draw</i> diikuti <i>redrawing</i> pada <i>deep drawing</i>	5
Gambar 2.2	Komponen peralatan <i>deep drawing</i>	7
Gambar 2.3	Kontak awal dalam <i>deep drawing</i>	7
Gambar 2.4	<i>Bending</i> pada permulaan proses <i>deep drawing</i>	8
Gambar 2.5	Langkah pelurusan dalam <i>deep drawing</i>	9
Gambar 2.6	Gaya yang terjadi karena gesekan dalam <i>deep drawing</i>	9
Gambar 2.7	Gaya yang terjadi karena gesekan dalam <i>deep drawing</i>	10
Gambar 2.8	Tarikan pada dinding dan bentuk deformasi lainnya pada <i>cup</i>	11
Gambar 2.9	Perbedaan radius <i>die</i> dan pengaruhnya	12
Gambar 2.10	Area pelumasan dalam proses <i>deep drawing</i>	13
Gambar 2.11	Rumus untuk menghitung diameter <i>blank</i> yang dibutuhkan	15
Gambar 2.12	Hubungan antara koefisien gesek dan koefisien geser elemen-logam dengan berbagai jenis keramik dalam <i>sliding test</i> didalam vakum	21
Gambar 3.1	Dimensi <i>draw piece</i>	26
Gambar 3.2	Dimensi <i>die</i> keramik	26
Gambar 3.3	Skema instalasi mesin <i>drawing</i>	27
Gambar 3.4	Skematis standar pengujian ASTM – A 370	27
Gambar 4.1	Dimensi blank holder	36
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara kecepatan <i>punch</i> dengan gaya <i>drawing</i>	42
Gambar 4.3	Foto mikro dinding <i>cup</i>	43
Gambar 4.4	Kondisi permukaan dinding <i>cup</i> yang mengalami cacat	44
Gambar 4.5	Grafik hubungan kandungan alumina dengan gaya <i>drawing</i>	45

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Foto Draw Piece	49
Lampiran 2	Foto Die Keramik	50
Lampiran 3	Foto Alat Penelitian	51
Lampiran 4	Foto Tahapan Drawing	52



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan dunia industri yang semakin pesat dan penuh persaingan, maka setiap pelaku industri selalu berusaha untuk meningkatkan produktifitasnya. Dalam dunia industri pembentukan logam dikenal proses *deep drawing* dimana proses ini adalah membentuk *sheet* logam menjadi bentuk tabung (*hollow*). Pada proses *deep drawing* sendiri kecepatan *punch* merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi kecepatan produksi dalam industri pembentukan logam.

Sementara itu, pada umumnya proses *deep drawing* menggunakan *die* yang terbuat dari logam, namun penggunaan bahan logam tersebut mulai ditinggalkan dan digantikan dengan bahan keramik. Penggunaan keramik sebagai *tools* saat ini semakin banyak digunakan, berbagai jenis keramik telah dibuat sesuai dengan kebutuhan industri terkait. Keramik mempunyai karakteristik kehalusan dan sifat licin pada permukaannya. Salah satu bahan penyusun produk keramik adalah Al_2O_3 yang biasa disebut *alumina*.

Bahan Al_2O_3 adalah bahan yang menambah kekuatan dan kekerasan pada produk keramik. Keramik yang digunakan sebagai *die* pada keperluan *drawing* diharapkan dapat berfungsi dengan baik meskipun tanpa menggunakan pelumas cair yang merupakan salah satu faktor pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, penelitian yang lebih mendalam pada proses *deep drawing* dengan menggunakan *die* keramik dilakukan. Sebagai desain awal kecepatan *punch* dan kandungan Al_2O_3 pada *die* keramik dipakai untuk mengevaluasi proses *dry deep drawing*.

Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengamati sejauh mana pengaruh kecepatan *punch* terhadap besar gaya *drawing* pada proses *dry deep drawing* dengan menggunakan *die* keramik yang mengandung *alumina* (Al_2O_3).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut, maka dalam skripsi ini akan dirumuskan bagaimana pengaruh kecepatan *punch* dan kandungan Al_2O_3 pada *die* keramik terhadap gaya *drawing*.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini perlu ditentukan batasan masalah agar penelitian tetap terarah dan batasan masalah meliputi hal-hal berikut ini :

1. Spesimen diperlakukan dalam kondisi yang sama untuk masing-masing proses *drawing*.
2. Spesimen uji menggunakan *stainless steel sheet 430*.
3. Proses pembentukan logam *dry deep drawing*.
4. Mekanisme dari mesin *drawing* dan proses pembentukan *die* keramik tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian.
5. Kecepatan *punch* diasumsikan konstan saat menekan spesimen.
6. Proses *dry deep drawing* menggunakan *die* keramik.
7. Rambatan panas yang terjadi selama proses *drawing* tidak melampaui suhu rekristalisasi, sehingga dapat diabaikan.

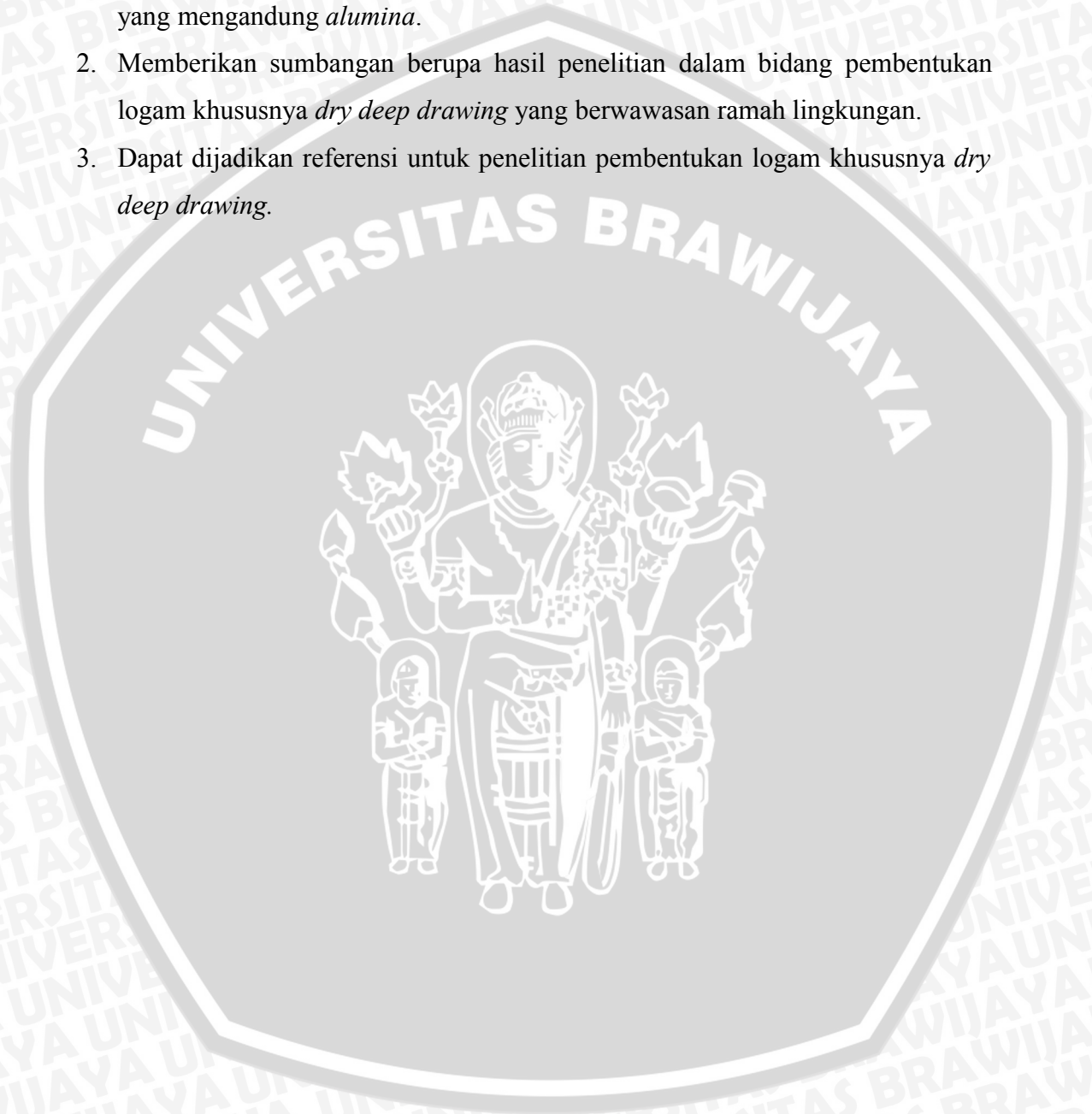
1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kandungan Al_2O_3 dalam *die* keramik dan kecepatan *punch* terhadap perubahan gaya *drawing* pada proses pembentukan logam *dry deep drawing*. Penelitian ini juga bermaksud mendapatkan persentase kandungan Al_2O_3 dalam *die* keramik dan kecepatan *punch* yang optimum terhadap gaya *drawing* untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang baik.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang bisa didapatkan pada penelitian ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik proses *deep drawing* yang menggunakan *die* keramik yang mengandung *alumina*.
2. Memberikan sumbangan berupa hasil penelitian dalam bidang pembentukan logam khususnya *dry deep drawing* yang berwawasan ramah lingkungan.
3. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian pembentukan logam khususnya *dry deep drawing*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

S. Kataoka, M. Murakawa, T. Aizawa, H. Ike; 2004; *Tribology of dry deep-drawing of various metal sheets with use of ceramics tools*, mengamati hasil penelitian dari penggunaan beberapa jenis *die* keramik dan *die* baja SKD11 untuk proses *dry deep drawing* terhadap beberapa jenis *sheet* logam.

Material keramik yang digunakan sebagai *die* antara lain adalah *Alumina* (Al_2O_3), *Zirconia* (ZrO_2), *Silicon nitride* (Si_3N_4) dan *Silicon carbide* (SiC). Sedangkan *sheet* logam yang digunakan dibagi dalam dua kelompok. Pada kelompok pertama dipilih *sheet* logam murni, yaitu *sheet* titanium (TP28), aluminium lunak (A1100P-O), baja lunak *cold-roll* (SPCC) dan tembaga *tough-pitch* (C1100P-1/4H). Pada kelompok kedua, dipilih material *sheet* logam paduan yaitu *stainless steel* tipe SUS304 dan baja berlapis seng.

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut antara lain :

1. Material *die* keramik memiliki kecocokan tersendiri untuk setiap material *sheet* logam tertentu.
2. *Silicon nitride* (Si_3N_4) dan *silicon carbide* (SiC) baik digunakan untuk *drawing* baja lunak dan tembaga murni untuk mencapai *LDR* yang tinggi.
3. Efek superior dari *die* keramik ditemukan pada percobaan dengan material *sheet* berlapis seng, karena mampu dihasilkan nilai *LDR* yang tinggi.
4. Efek superior dari *die alumina* ditemukan setelah percobaan *drawing* kontinyu terhadap *sheet* logam paduan *Stainless Steel* SUS304.

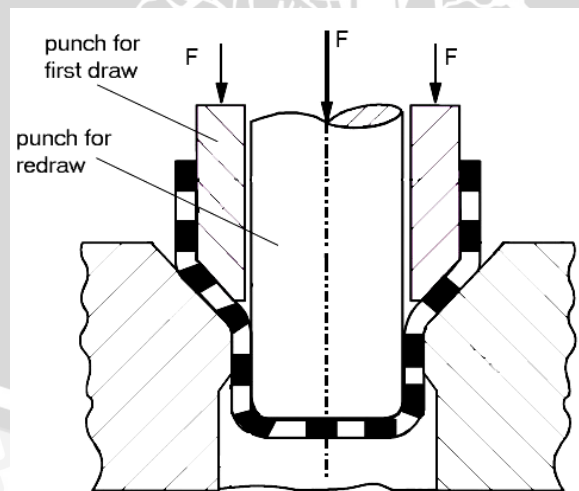
Carlsson, P. (2005) *Surface Engineering in Sheet metal Forming*, meneliti pemakaian PVD (*Physical Vapour Deposition*) coating pada proses SMF (*Sheet Metal Forming*) Zn dan 55 % Al-Zn. PVD coating yang dimaksud adalah CrN, TiN dan DLC (*Diamond Like Carbon*), proses yang digunakan meliputi *bending*, *deep drawing* dan *stretch forming*. Hasil yang didapatkan adalah pelapisan tipis tersebut dapat digunakan untuk mengatur gesekan yang terjadi dan mencegah gesekan logam dengan logam,

sehingga pemakaian pelumas pada *Sheet Metal Forming* dapat dikurangi dengan memanfaatkan lapisan tipis yang terbentuk dari benda itu sendiri.

Hasnan, A. telah melakukan penelitian mengenai pengaruh kedalaman *drawing* dan radius *die* terhadap gaya *drawing*, didapatkan bahwa gaya *drawing* semakin berkurang dengan bertambahnya radius *die* dan gaya *drawing* semakin meningkat dengan bertambahnya kedalaman *drawing*. Hal ini terjadi karena dengan semakin besarnya radius *die* maka panjang jarak *punch* dengan tumpuan pada tepi *die* yang ditekan oleh *blankholder* juga semakin panjang sehingga gaya *drawing* yang dibutuhkan akan semakin kecil.

2.2. Proses *Deep Drawing*

Deep drawing didefinisikan sebagai kombinasi deformasi tarik dan kompresi terhadap *sheet* sehingga menjadi bentuk *hollow* atau dari bentuk *hollow* menjadi bentuk *hollow* dengan ukuran lebih kecil. Pada proses *deep drawing* terhadap *sheet* sehingga membentuk *hollow* disebut sebagai *first draw*, sementara proses deformasi untuk membentuk *hollow* dengan diameter yang lebih kecil disebut sebagai *redraw* (DIN 8584), dijelaskan dengan gambar 2.3. Material *sheet* yang digunakan disebut sebagai *blank* dan produk yang dihasilkan disebut sebagai *draw piece*.



Gambar 2.1 : Ilustrasi proses *first draw* diikuti *redrawing* pada *deep drawing*.

Sumber : TALAT Lecture 3704 : 10

2.2.1. Perangkat *Deep Drawing*

Secara sederhana, *deep drawing* merupakan sebuah proses dimana *blank*, yang biasanya ditahan dengan *blankholder*, ditekan kedalam melalui *die* dengan menggunakan *punch* untuk membentuk komponen *hollow*. Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa terdapat tiga jenis perkakas utama yang digunakan dalam *deep drawing*, yaitu *punch*, *die*, dan *blankholder*. Skema bentuk, posisi dan parameter perkakas tersebut ditunjukkan pada gambar 2.2.

1. *Punch*

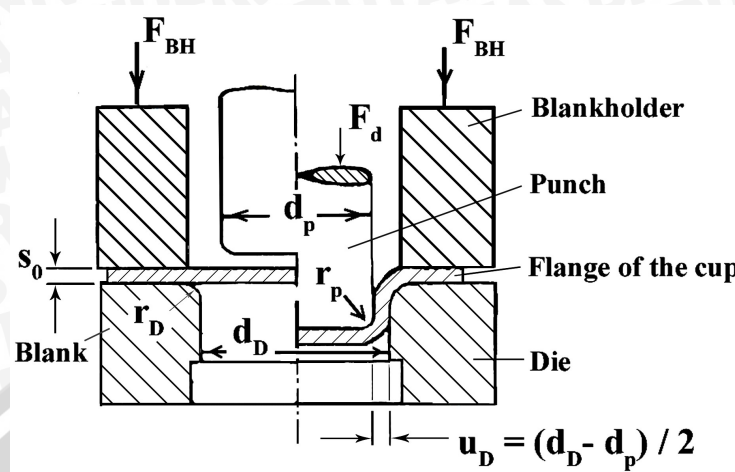
Punch merupakan bagian perkakas yang berfungsi meneruskan gaya dari sumber tenaga sehingga *blank* tertekan. Parameter penting dalam hal ini adalah radius *punch* r_p dan diameter *punch* D_p .

2. *Die*

Konstruksi *die* adalah untuk menahan gaya geser, serta gaya *punch* dalam proses deformasi. *Die* memiliki radius tepi tertentu untuk mempermudah reduksi benda kerja saat proses deformasi berlangsung sehingga diharapkan tidak akan terjadi sobek pada material. Radius *die* tersebut ditunjukkan dengan notasi r_D pada bagian tepi permukaannya.

3. *Blankholder*

Blankholder berfungsi memberikan tekanan terhadap *blank* sehingga dapat mengurangi terjadinya *wrinkling* pada *draw piece*. Namun walaupun *blank* ditahan oleh *blankholder*, *blank* harus tetap dapat bergerak saat proses *drawing* dilakukan. Besar gaya *blankholder* dapat divariasikan sesuai dengan tujuan yang diinginkan (Neil Krishnan, et al, 2002).



Gambar 2.2 : Komponen peralatan *deep drawing*

Sumber : Donald F. Eary, 1974 : 155

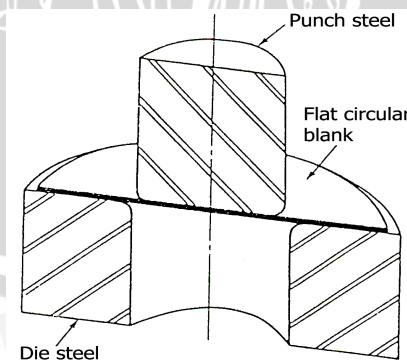
Dari pembebanan *punch* akan diperoleh gaya *drawing* (*Drawing Force/DF*). Gaya tersebut menciptakan deformasi dengan meregangkan *blank* melawan tekanan yang ditimbulkan oleh *blankholder* (*blankholder pressure/BHP*).

2.2.2. Tahapan dan Kondisi Proses *Deep Drawing*

Pada proses *deep drawing*, tahapan serta kondisi yang terjadi mulai dari bentuk *blank* hingga menjadi bentuk hollow adalah :

1. **Kontak awal (*Initial contact*)**

Blank ditekan oleh *blankholder* agar tidak bergeser dan *punch* bergerak dari atas ke bawah hingga menyentuh permukaan *blank*.



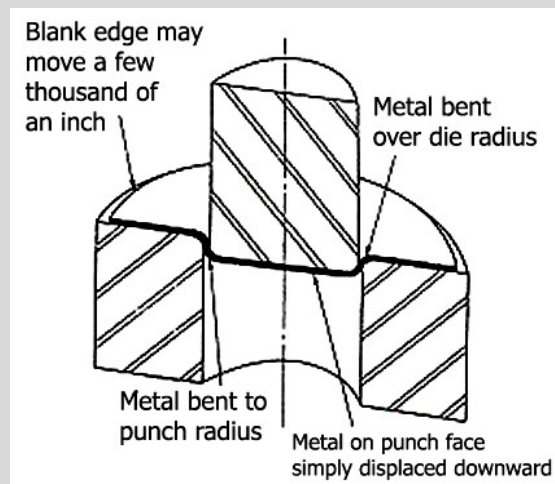
Gambar 2.3 : Kontak awal dalam *deep drawing*

Sumber : Donald F. Eary, 1974 : 101

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*. Permukaan *blank* yang bersentuhan dengan permukaan *punch* turun kebawah dan menjadi bentuk akhirnya. Permukaan tersebut tidak mengalami pengerjaan pengerasan dan ketebalan yang tetap.

Tepi *blank* akan bergerak sedikit kearah *punch*, namun masih dapat diabaikan keberadaannya. Pada langkah ini, proses yang terjadi hanya merupakan *bending* atau *forming* sederhana, dan proses *drawing* yang sesungguhnya belum berlangsung.

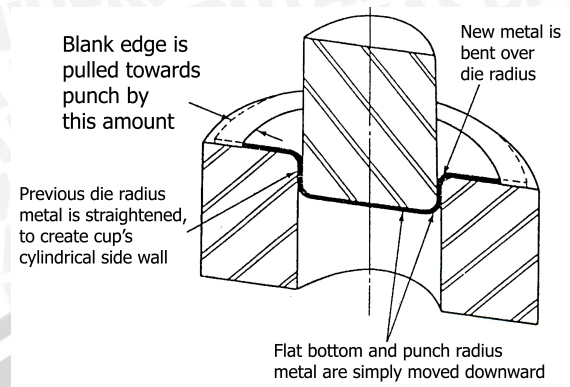


Gambar 2.4 : *Bending* pada permulaan proses *deep drawing*

Sumber : Donald F. Eary, 1974 : 1012

3. Pelurusan (*Straightening*)

Pada proses berikutnya, *punch* akan bergerak kebawah sedikit dari jarak total pergerakannya. Pada langkah ini, dasar *cup* akan bergerak lebih ke bawah. Bagian yang telah dibengkokkan oleh *punch* akan bergerak seiring dengan pergerakan dasar *cup*. Kondisi berikutnya yang terjadi adalah adanya pelurusan kembali bagian logam yang sebelumnya telah dibengkokkan di radius *die*. Dan bagian luar *blank* berikutnya mengalami proses pembengkokkan sepanjang radius *die*.



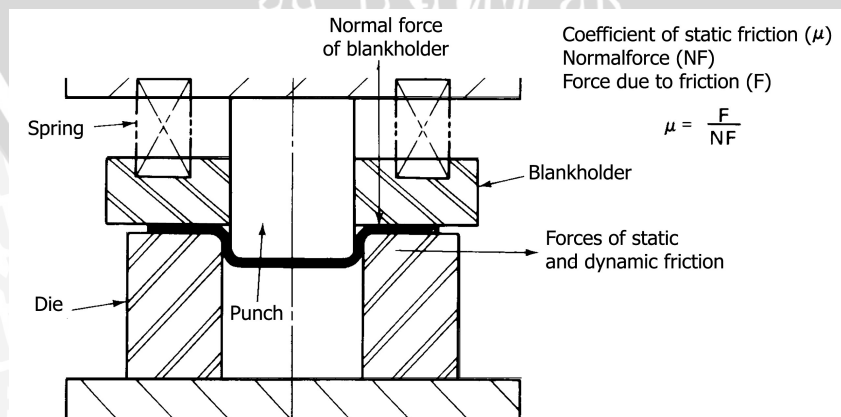
Gambar 2.5 : Langkah pelurusan dalam *deep drawing*

Sumber : Donald F. Eary, 1974 : 103

4. Gesekan (*Friction*)

Pada saat yang sama dengan *straightening*, tepi *blank* tertarik ke arah *punch* dalam jumlah yang cukup banyak. Karena terjadinya *pulling* atau *drawing* ke arah *punch* itulah maka proses ini mendapat sebutan *drawing*. Kondisi pertama adalah adanya gaya gesek statis antara permukaan *blank* dan *die*. Gesekan statis juga terjadi antara permukaan *blank* dan *blankholder*, selama *blank* tertarik ke arah *punch*. dimana gaya normal yang ditimbulkan oleh tekanan *blankholder* menyebabkan adanya gaya gesek statis tersebut.

Setelah kondisi tersebut, yang terjadi adalah dimulainya gerakan *blank* ke arah *punch*, sehingga timbul gaya gesek dinamis antara *blank* dengan *die* dan *blankholder*. Gaya yang diperlukan untuk mengatasi gesekan dinamis ini lebih kecil dari gaya yang dibutuhkan pada gesekan statis.

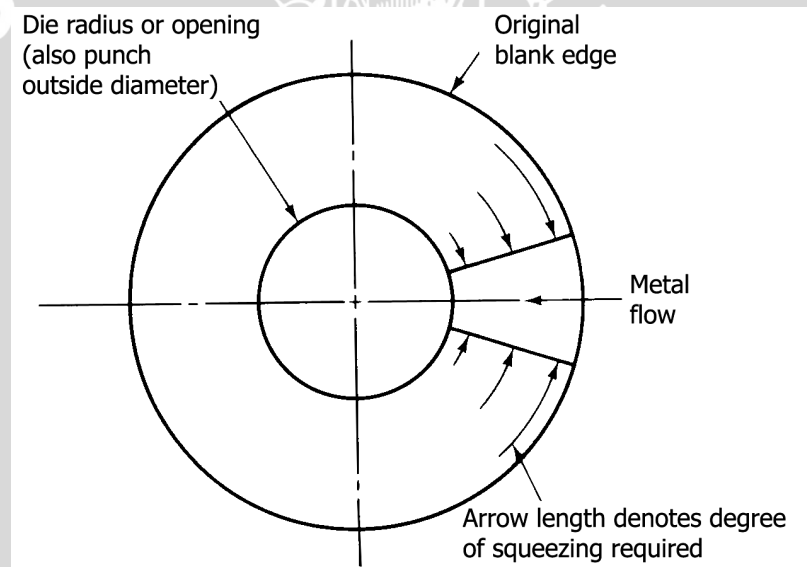


Gambar 2.6 : Gaya yang terjadi karena gesekan dalam *deep drawing*

Sumber : Donald F. Eary, 1974 : 104

5. Kompresi (*Compression*)

Kondisi lain yang dibutuhkan untuk menarik tepi *blank* ke dalam adalah kompresi terhadap *sheet* logam. Selama tepi *blank* bergerak ke tengah, maka tepi *blank* akan mengalami pengurangan di sepanjang keliling atau perimeternya. Sehingga semua bagian logam sepanjang tepi *blank* hingga radius *die* akan mengalami penekanan berbeda. Logam *blank* yang lebih dekat dengan radius *die* akan mengalami penekanan yang sangat sedikit. Sedangkan jumlah penekanan yang dialami akan meningkat pada logam yang lebih dekat dengan tepi *blank*, seperti ilustrasi pada gambar 2.7. Kompresi yang terjadi pada *sheet* logam tipis biasanya mengakibatkan timbulnya kerutan selama proses *drawing*. Maka dari itu ditambahkan *blankholder* yang bertujuan untuk menekan kerutan yang terjadi.



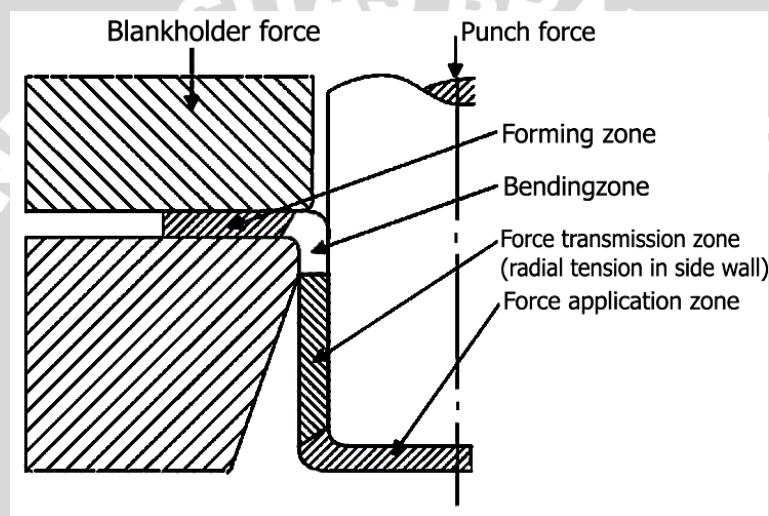
Gambar 2.7 : Gaya yang terjadi karena gesekan dalam *deep drawing*

Sumber : Donald F. Eary, 1974 : 105

Gerakan *punch* lebih lanjut menghasilkan kondisi yang sama seperti proses sebelumnya. Semua beban kompresi akan terhenti setelah *blank* melewati radius *die*.

6. Tarikan (*Tension*)

Semua kondisi pada proses *drawing* timbul karena adanya gaya yang dilakukan *punch* terhadap dasar *cup*. Karena gaya *punch* tersebut, dinding samping *cup* mengalami pembengkokan, pelurusan, gesekan serta kompresi. Hal itu menghasilkan tarikan pada bagian dinding seperti ditunjukkan gambar 2.8. Dinding samping yang berdekatan dengan radius *punch* mengalami tegangan tarik paling tinggi dan jauh lebih tipis dibandingkan dengan ketebalan awalnya. Sobekan (*tearing*) sangat mudah terjadi pada daerah ini.



Gambar 2.8 : Tarikan pada dinding dan bentuk deformasi lainnya pada *cup*

Sumber : TALAT Lecture 3704 : 5

2.2.3. Variabel Proses *Deep Drawing*

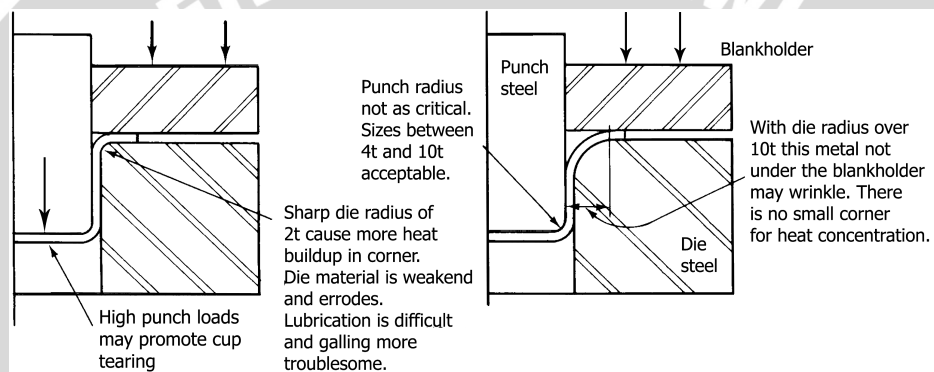
Variabel proses *deep drawing* yang dibahas berdasarkan pada tahapan dan kondisi proses *deep drawing* seperti dijelaskan pada bagian 2.2.2. Masing-masing variabel merupakan identifikasi lebih lanjut terhadap beberapa faktor seperti sifat-sifat material, *die*, *punch*, desain produk, maupun kontrol pemrosesannya (Donald F. Eary, 1974). Variabel proses *deep drawing* tersebut adalah :

1) Variabel *Bending* dan *Straightening*

Variabel utama yang akan mempengaruhi peningkatan atau penurunan gaya yang terjadi akibat *bending* atau *straightening* antara lain adalah :

a) Radius Die

Ukuran radius *die* dipilih oleh perencana yang sama dengan pembuat radius *punch*. Semakin tajam radius *die* berarti semakin besar gaya *bending* dan semakin besar pula gaya *straightening* yang dibutuhkan. Gambar 2.9 mengilustrasikan pengaruh perbedaan radius *die*. Dengan radius *die* tajam, dicontohkan sebesar 2 kali tebal *blank* ($2t$), akan terjadi panas berlebihan pada sudut *die*. Selain itu material *die* logam menjadi semakin lunak, dan pelumasan semakin sulit dilakukan. Sedangkan pada radius *die* yang terlalu besar, dalam hal ini lebih dari 10 kali tebal *blank* ($10t$), maka dinding *cup* kemungkinan besar akan mengalami *wall wrinkling*.



Gambar 2.9 : Perbedaan radius *die* dan pengaruhnya

Sumber : Donald F. Eary, 1974 : 153

Oehler dan Kaiser juga mengembangkan persamaan empiris yang dapat digunakan untuk menghitung radius *die* (Kurt Lange, 1996 : 20.42) :

$$r_D = 0,035[50 + (d_0 - d_1)]\sqrt{s_0} \quad (2.1)$$

Koelzer juga telah menemukan bahwa faktor 0,035 pada persamaan (2.1) dapat ditingkatkan hingga 0,08.

b) Radius Punch

Ukuran radius *punch* ditentukan oleh perencana proses *drawing* dan akan menjadi desain akhir dari produk yang dihasilkan. Semakin tajam radius *punch* berarti semakin besar gaya *bending* yang dibutuhkan. Radius *punch* r_p harus lebih besar daripada radius *die* dengan angka faktor antara 3 sampai 5.

2) Variabel Gesekan

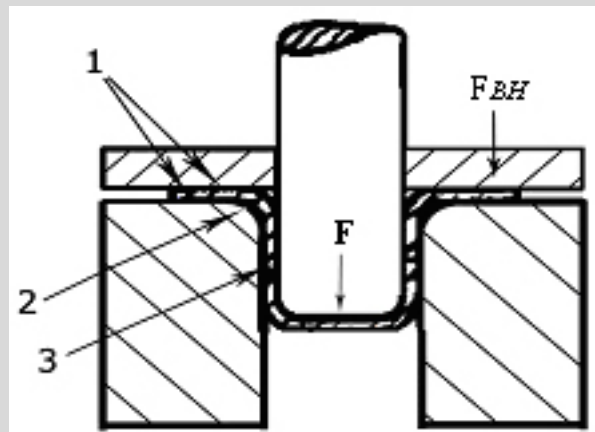
Beberapa variabel yang mempengaruhi gaya gesek statis maupun dinamis, antara lain :

a) Pelumasan

Pelumasan dilakukan untuk menurunkan koefisien gesek permukaan material yang bersinggungan. Area pelumasan adalah (Eric T. Harpell, 1997) :

1. Permukaan antara *blank* dengan *die*, dan *blank* dengan *blankholder*.
2. Permukaan antara *blank* dengan sudut *die*.
3. Permukaan antara *blank* dengan *punch*, dan *blank* dengan dinding *die*

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 : Area pelumasan dalam proses *deep drawing*

Sumber : Eric T. Harpell, 1997 : 92

b) *Blank Holder Force (BHF)*

BHF merupakan gaya normal yang dapat mengakibatkan bertambahnya gesekan apabila jumlahnya ditingkatkan. Aksi *BHF* dibutuhkan untuk menekan terjadinya *wrinkling* dan *buckling* pada *blank*, dengan meregangkan material selama alirannya ke dalam *die*. Apabila area kontak antara *blankholder* dan *blank* adalah A_{BH} , maka gaya yang digunakan oleh *blankholder* adalah (Kurt Lange, 1996 : 20.11) :

$$F_{BH} = A_{BH} \cdot p_{BH} \quad (2.2)$$

Tekanan yang diperlukan untuk menekan *wrinkling* tergantung pada material *sheet*, ketebalan relatif *sheet*, serta *drawing ratio* dan dijaga pada

level tertentu agar tidak menimbulkan penipisan berlebihan sehingga dapat mengakibatkan pecahnya *blank*

c) **Kekasaran Permukaan *Blank***

Kekasaran permukaan *blank* mempengaruhi besarnya gesekan yang terjadi. Semakin kasar permukaan *blank* maka gesekan yang terjadi juga semakin besar karena nilai koefisien geseknya semakin tinggi.

d) **Kekasaran Permukaan *punch, die dan blank holder***

Seperti halnya permukaan *blank*, semakin kasar permukaan *punch, die* dan *blankholder* maka koefisien gesek yang dihasilkan akan semakin tinggi sehingga gesekan yang terjadi pun semakin besar.

3) **Variabel Kompresi**

Berikut ini beberapa hal yang mempengaruhi tahap kompresi ketika terjadi pengurangan diameter *blank* :

a) **Prosentase Reduksi Diameter**

Merupakan prosentase pengurangan diameter atau perimeter yang dihitung dengan menggunakan diameter *blank* dan diameter *punch* atau dinding *cup*. Prosentase ini memberikan nilai perkiraan terhadap jumlah penekanan yang akan dilakukan.

b) **Duktilitas *Sheet Logam***

Duktilitas merupakan kemampuan *sheet* logam untuk dipembentukan tanpa mengalami kerusakan. Meskipun duktilitas merupakan ukuran yang diberikan kepada material pada pembebanan tarik, namun juga dapat mengindikasikan kompresibilitas dan kelunakannya. Duktilitas diketahui melalui pengujian tarik. Ukuran lain yang mengindikasikan duktilitas relatif adalah kekerasan dan ukuran butir.

c) **Kekuatan *Yield Material***

Material dengan kekuatan *yield* rendah merupakan material yang sesuai untuk proses *drawing*, karena dengan demikian perlakuan *drawing* dapat diawali tanpa pembebanan yang tinggi pada bagian yang berdekatan dengan radius *punch*.

d) **Ketebalan Blank**

Ketebalan *blank* akan memberi pengaruh terhadap beban kompresi yang timbul. *Blank* yang tebal memiliki kecenderungan yang lebih rendah terhadap terjadinya kerutan.

e) **Temperatur Blank Selama Proses**

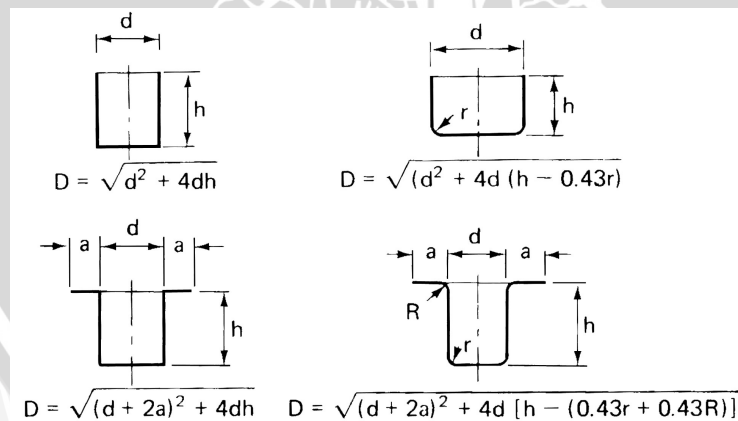
Kenaikan temperatur akan mengurangi beban penekanan karena akan melunakkan material. Akan tetapi kekuatan tarik juga berkurang sehingga jika temperatur terlalu tinggi maka keretakan dapat terjadi.

4) **Variabel Khusus**

Variabel lain yang juga berpengaruh pada proses *deep drawing* adalah :

a) **Diameter Blank**

Pada dasarnya luas area permukaan *draw piece* secara keseluruhan hampir sama dengan luas area permukaan *blank*. Oleh karena itu, apabila potongan rencana *draw piece* diketahui, maka *blank* yang dibutuhkan dapat ditentukan. Rumus yang dapat digunakan untuk menghitung diameter *blank* melalui potongan bentuk *draw piece* silinder ditunjukkan pada gambar 2.11 berikut ini, dengan mengasumsikan bahwa ketebalan material tetap konstan selama deformasi :



Gambar 2.11 : Rumus untuk menghitung diameter *blank* yang dibutuhkan

Sumber : C. W. Hinman, 1941 : 421

b) **Kelonggaran die (Die Clearance)**



Die clearence merupakan jarak yang dibuat antara *punch* dan *die* agar memudahkan aliran *sheet* logam. Pada prakteknya, dimensi *die clearence* seringkali ditentukan dari persamaan empiris yang dibuat oleh Oehler dan Kaiser (Kurt Lange, 1996). Persamaan ini hanya berlaku untuk *deep drawing* komponen silinder :

Tabel 2.1. *Die clearence* untuk beberapa jenis material *sheet*

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

Sumber : Kurt Lange, 1996 : 20.41

t = tebal *blank* (mm).

c) **Rasio Regangan (*Strain Ratio*)**

Strain ratio adalah ketahanan *sheet* logam terhadap penipisan (*thinning*). Jika logam memiliki rasio regangan yang tinggi, maka kemungkinan terjadinya *tearing* akan semakin kecil.

d) **Kecepatan *Drawing***

Merupakan nilai kecepatan selama *punch* menekan *blank*, disebut juga dengan kecepatan *punch*. Kecepatan yang tidak sesuai dapat menyebabkan retak bahkan pecahnya material. Efek kecepatan *punch* terhadap kecepatan regangan material sebanding dengan tegangan rata-rata yang berhubungan.

e) ***Drawability***

Drawability adalah kemampuan material untuk dilakukan proses *drawing* tanpa mengalami kegagalan. Nilai *drawability* ditentukan dengan nilai *Limiting Draw Ratio (LDR)*, yang merupakan batas dimana bila material mengalami proses penarikan melebihi nilai limitnya akan mengalami *cracking*. Menurut standarisasi Sweden Deep Drawing Test, *LDR* didefinisikan sebagai rasio maksimum diameter *blank* terhadap diameter *punch* dimana 6 *blank* berhasil di-*deep drawing* tanpa mengalami kegagalan (S. Kataoka, et al, 2004).

f) **Gaya Drawing**

Gaya *drawing* atau *Drawing Force (DF)* yang dibutuhkan sepanjang penekanan *punch* dapat ditentukan dengan cara melalui persamaan teoritis berdasarkan teori plastisitas. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung gaya *drawing* maksimum, $F_{d,max}$, berdasarkan teori dasar yang dibuat oleh Siebel.

$$F_{d,max} = \pi \cdot d_m \cdot s_0 \left[\underbrace{e^{\mu \pi/2}}_C \cdot \underbrace{1,1 \cdot \sigma_{f,m,I} \cdot \ln \frac{d_{F,max}}{d_m}}_A + \underbrace{\frac{2 \cdot \pi \cdot F_N}{\pi \cdot d_{F,max} \cdot s_0}}_B + \underbrace{\sigma_{f,m,II} \cdot \frac{s_0}{2 \cdot r_D}}_D \right]$$

Sumber : Kurt Lange, 1996 : 20.9 (2.3)

$d_m = d_1 + s_0$, adalah diameter rata-rata *draw piece*

$d_{F,max} \approx 0,77 \cdot d_0$, adalah diameter luar *blank* ketika beban *drawing* mencapai maksimum.

$\sigma_{f,m,I}$ adalah nilai rata-rata tegangan aliran pada *blank* antara titik batas luar dan titik daerah masuk radius *die*.

$\sigma_{f,m,II}$ adalah nilai rata-rata tegangan alir pada daerah radius *die* antara titik daerah masuk radius *die* dan titik pada daerah dinding cup.

Pada persamaan tersebut terdapat beberapa bagian yang bisa dijelaskan sebagai berikut :

- Bagian *A* menunjukkan gaya deformasi ideal.
- Bagian *B* adalah komponen gaya yang dihasilkan oleh gesekan antara *die* dan *flange* serta antara *flange* dan *blankholder*.
- Bagian *C* menunjukkan beban karena gesekan pada radius *die*.
- Bagian *D* adalah gaya yang untuk *bending* disekitar radius *die*.

2.3. Keramik

Keramik merupakan material non-logam anorganik yang berbeda dengan material organik (polimer) maupun material logam. Penggunaan keramik sebagai material struktur memiliki berbagai kelebihan dibandingkan logam dan paduannya, antara lain : (1) tingginya rasio kekuatan terhadap berat, (2) tingginya rasio kekakuan, (3) kekuatan tinggi pada kondisi temperatur tinggi, dan (4) ketahanan terhadap korosi. Selain itu keramik relatif murah dan mudah ditemukan.

Keramik dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu keramik tradisional dan keramik industri. Keramik tradisional biasanya berupa barang pecah belah, peralatan rumah tangga dan proses pembuatannya yang sederhana. Keramik industri digunakan untuk berbagai keperluan sebagai komponen dari peralatan, mesin dan perkakas. Dalam perindustrian selalu dibutuhkan keramik industri yang berkualitas tinggi, maka pembuatan keramik industri dari bahan alami digantikan dengan bahan keramik hasil pengolahan dan pemurnian. Keramik ini disebut sebagai keramik “canggih” (Advance Ceramics, High-Technology Ceramics, Fine Ceramics) yang berupa serbuk murni, homogen dan dengan ukuran terkontrol untuk diproses secara *powder processing*, kemudian digunakan sebagai bahan baku pembuatan keramik industri.

Sifat-sifat superior keramik saat ini didapati pada beberapa material, seperti *alumina*, *silicon carbide*, dan *silicon nitride*, dan juga pada pengembangan material baru, seperti *silicon aluminium oxinitride* (Sialon) dan zirconia.

2.3.1. Bahan baku keramik

Pada umumnya keramik disusun oleh dua komponen utama, yaitu badan keramik dan glasir pada permukaan keramik. Bahan baku untuk badan keramik adalah feldspar, kwarsa, kaolin, *ball clay*, dan *water glass*. Sedangkan bahan baku untuk glasir keramik adalah silica, kapur, *alumina*, *boric acid*, magnesia, lithium oksida, feldspar, dan kaolin. Berikut ini adalah bahan penyusun keramik :

1. Silica (SiO_2)

Adalah komponen yang berfungsi sebagai *flux*, dapat memperkuat kesetimbangan struktur penyusun keramik dan menambah daya kilap glasir.

2. Kapur (CaO)

Kapur berfungsi sebagai bahan pelebur untuk glasir. Kapur juga membantu pelekatan glasir pada badan keramik saat pembakaran berlangsung.

3. Alumina (Al_2O_3)

Merupakan bahan praktis yang selalu digunakan dalam badan dan glasir keramik, dapat menambah sifat liat pada glasir.

4. Boric acid (B_2O_3)

Adalah bahan yang bertindak sebagai bentuk gelas, pelebur (*flux*).

5. Magnesium oksida (MgO)

Adalah bahan mineral dan pelebur aktif untuk glasir, dalam proses pendinginan bahan ini akan berkrystal.

6. Feldspar ($K_2O.Na_2O$)

Oksida ini digunakan untuk bahan pelebur untuk keramik putih.

7. Kaolin ($Al_2O_3.SiO_2$)

Kaolin mengandung unsur silika dan *alumina*. Unsur silika bertindak sebagai pembentuk gelas dan alumina sebagai pengontrol dan penyeimbang pelelehan.

2.3.3. Pembuatan *Keramik*

Proses pembuatan keramik dimulai dengan pengolahan bahan baku, pembentukan, pengeringan, pengglasiran dan pembakaran.

1. Pengolahan bahan

Pada proses bertujuan untuk pemurnian dan penggilingan beberapa bahan baku yang akan digunakan.

2. Pembentukan

Dalam proses pembentukan keramik dapat dibagi menjadi 2 golongan yaitu pembentukan dengan tangan dan pembentukan dengan mesin. Pada penelitian ini digunakan pembentukan mesin secara *slip casting*.

3. Pengeringan

Proses pengeringan dilakukan untuk menghilangkan kadar air pada badan keramik. Beberapa cara pengeringan antara lain adalah pemanasan, diangin-anginkan, pembungkusan.

4. Pengglasiran

Glasir adalah suatu bahan pengglas yang diformulasikan secara kimia agar melekat dan melebur ke dalam badan keramik saat dibakar. Glasir berfungsi untuk menambah sifat licin pada permukaan serta menambah kekerasan dan kekuatan keramik.

5. Pembakaran

Pada tahap pembakaran keramik bertujuan untuk menghilangkan uap air, penguasan dan pengelasan keramik. Suhu pembakaran keramik bermacam-macam, biasanya berkisar 980°C hingga di atas 1250°C tergantung oleh bahan keramik yang digunakan.

2.4. *Dry Deep Drawing* dengan *Die* Keramik

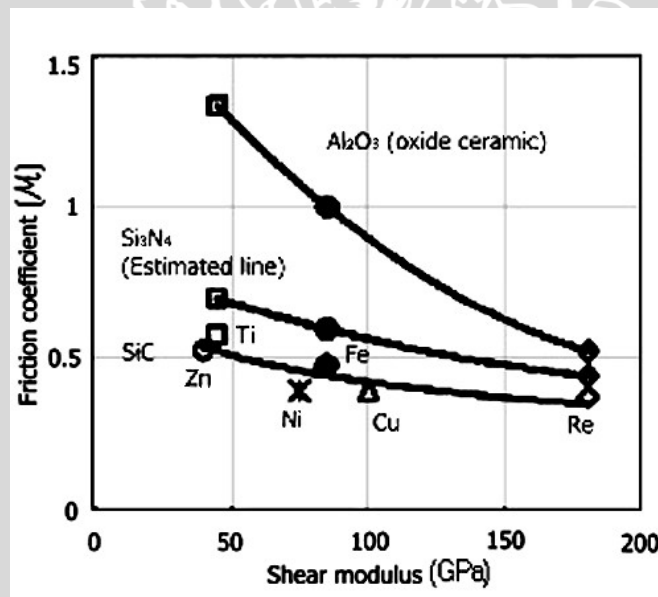
Dry Deep Drawing adalah proses *deep drawing* yang dilakukan dalam keadaan kering tanpa menggunakan pelumas cair. Proses *dry deep drawing* pada dasarnya harus dilakukan dengan desain *die* yang memenuhi prinsip-prinsip tribologi. Sebab pada proses luncuran *sheet* logam dalam keadaan kering, keausan adhesif akan terjadi dengan mudah. Salah satu alternatif yang sedang dikembangkan untuk merealisasikan *dry deep drawing* adalah dengan menggunakan bahan keramik sebagai pelapis *die* dari logam atau pembuatan *die* yang sepenuhnya berbahan keramik.

Ketika keramik mengalami kontak dengan logam pada kondisi tanpa pelumas, maka gesekan akan terjadi diantara kedua material. Gesekan tersebut berpengaruh pada terjadinya keausan adhesif (*galling*) pada lapisan terluar logam. Hal ini dijelaskan oleh

Miyoshi (1990) bahwa keausan adhesif dan gesekan pada logam berhubungan dengan koefisien gesernya (S. Kataoka, et al, 2004).

Gambar 2.12 menunjukkan hubungan antara koefisien gesek dengan peningkatan koefisien geser logam untuk berbagai jenis material *die* keramik. Koefisien gesek (μ) bertambah dengan meningkatnya kovalensi keramik untuk berbagai jenis logam : $\mu(\text{SiC}) < \mu(\text{Si}_3\text{N}_4) < \mu(\text{Al}_2\text{O}_3)$. Karena gaya gesek makin tinggi dengan bertambahnya koefisien gesek, maka diperkirakan nilai *LDR* berkurang dan gaya *drawing* bertambah. Sehingga *dry deep drawability* diperkirakan akan lebih rendah dengan digunakannya *die oxide* daripada *die* bermaterial *nitride* atau *carbide*.

Walaupun material *die* keramik yang digunakan sama, koefisien gesek sangat tergantung pada koefisien geser *sheet* logam. Karena $\mu(\text{Ti}) > \mu(\text{Fe}) > \mu(\text{Cu})$ untuk *die* SiC, maka *dry deep drawability* akan buruk untuk *sheet* Ti, normal untuk *sheet* baja dan lebih baik untuk *sheet* tembaga dengan material *die* SiC yang sama.



Gambar 2.12 : Hubungan antara koefisien gesek dan koefisien geser elemen-elemen logam dengan berbagai jenis keramik dalam *sliding test* didalam vakum.

Sumber : S. Kataoka, et al, 2004 : 583

2.5. Hipotesis

Berdasarkan pada uraian teori di atas diduga bahwa kecepatan *punch* berpengaruh terhadap gaya *drawing*, dengan semakin tinggi kecepatan *punch* maka gaya *drawing* semakin meningkat, dan pengaruh penambahan kandungan Al_2O_3 pada *die* keramik mengakibatkan gaya *drawing* yang semakin menurun. Hal ini dikarenakan kandungan Al_2O_3 pada keramik akan menambah kekerasan dan sifat licin pada permukaannya.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental nyata (*true experimental research*). Pengkajian literatur diperoleh dari berbagai sumber baik buku, internet maupun jurnal yang ada. Percobaan dilakukan dan dianalisa dengan model analisa varian dua arah.

3.2. Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari dua macam yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan menggunakan parameter terkendali.

a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan sebelum penelitian dan akan mempengaruhi variabel terikat. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah :

- 1) Kecepatan *punch* :
 $v_1=0,6 \text{ mm/s}$, $v_2=1,2 \text{ mm/s}$, $v_3=1,8 \text{ mm/s}$, $v_4=2,4 \text{ mm/s}$, $v_5=3 \text{ mm/s}$.
- 2) Kandungan Al_2O_3 untuk *die* keramik dalam berat (gr), yaitu :
($A_1 = 17$, $A_2 = 27$, $A_3 = 37$, $A_4 = 47$, $A_5 = 57$).

b. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya terikat oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah gaya *drawing* (*DF*).

c. Parameter Terkendali

Parameter terkendali dalam penelitian ini adalah :

- a. Tebal *blank* (s_0) = 0,3 mm
- b. Diameter *blank* (d_0) = 58,3 mm
- c. Diameter *die* (D_D) = 41 mm
- d. Radius *die* (r_D) = 3 mm

- e. Radius *punch* (r_p) = 5 mm
- f. Diameter *punch* (D_p) = 40,1 mm
- g. *Die Clearance* (U_D) = 0,4 mm
- h. Kedalaman *drawing* (h) = 13 mm

3.3. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Mei - Juli 2007. Tempat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang, Laboratorium $\alpha\beta\gamma$, dan Balai Penelitian Industri Keramik Malang UPT LIK.

3.4. Peralatan Penelitian

1. Mesin *drawing*
2. Mesin *press*
3. Mesin uji tarik
4. *Die* keramik
5. Timbangan digital
6. Kamera digital 8 mega pixel
7. Kamera mikro struktur
8. Set kotak alat
9. *Stopwatch*
10. Komputer
11. Gunting logam
12. Jangka
13. Pot Mill
14. Amplas
15. Kain lap
16. Set alat tulis
17. Jangka sorong
18. Mistar ukur



3.5. Bahan Penelitian

1. Material *Blank*

Material *blank* yang digunakan adalah *stainless steel sheet* 430 dengan tebal 0,3 mm.

Tabel 3.1. Komposisi kimia *stainless steel* 430

Analysis %	C	Mn	P	S	Si	Cr	Fe
ASTM A 240	0,12	1	0,05	0,03	1	16	81,8

Sumber : www.askzn.co.za ,“Grade 430 Stainless Steel Technical Data Sheet”

2. Material *Die*

Material badan *die* keramik menggunakan bahan *masse tinggi isolator* yang disuplai dari UPT LIK Malang, dan mengandung bahan utama :

1. Feldspar : 200 gr
2. Kaolin : 200 gr
3. Ball clay : 100 gr

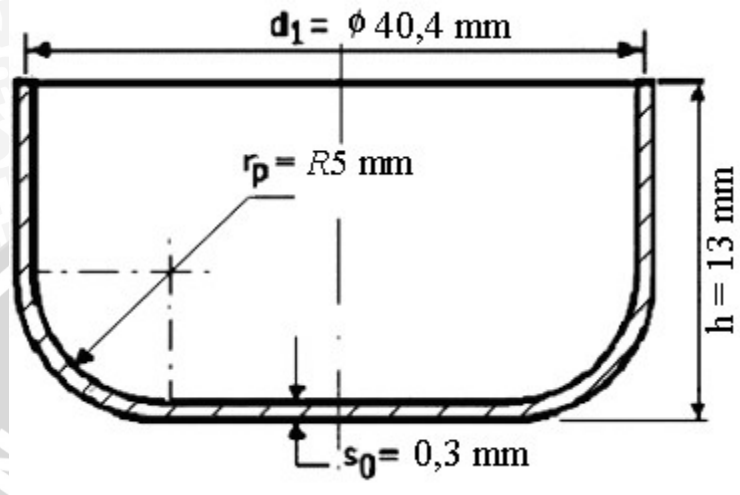
Material glasir *die* keramik ditampilkan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 3.2. Komposisi glasir pada *die* keramik

Variabel bebas	Al ₂ O ₃ (gr)	SiO ₂ (gr)	CaO (gr)	MgO (gr)	B ₂ O ₃ (gr)	Air (gr)
A ₁	17	23	6	16	25	200
A ₂	27	23	6	16	25	200
A ₃	37	23	6	16	25	200
A ₄	47	23	6	16	25	200
A ₅	57	23	6	16	25	200

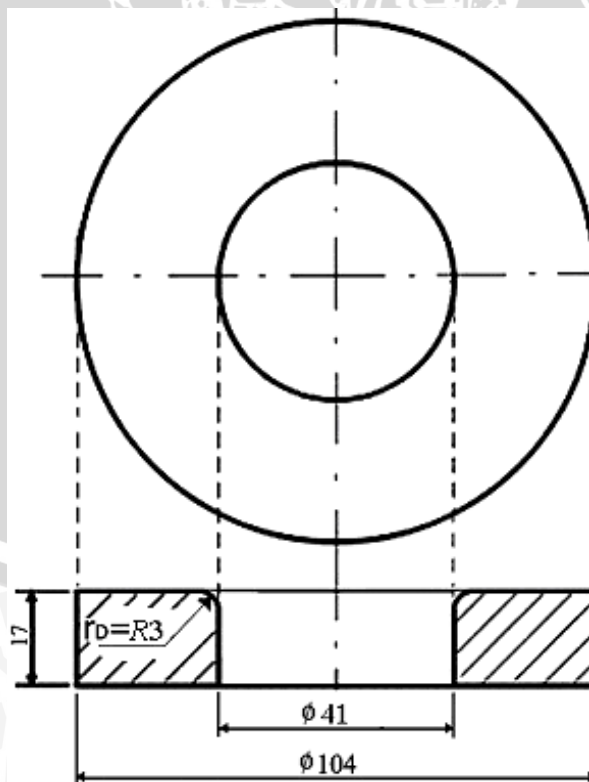
3.6. Dimensi Benda Uji dan Die Keramik

3.6.1. Draw Piece



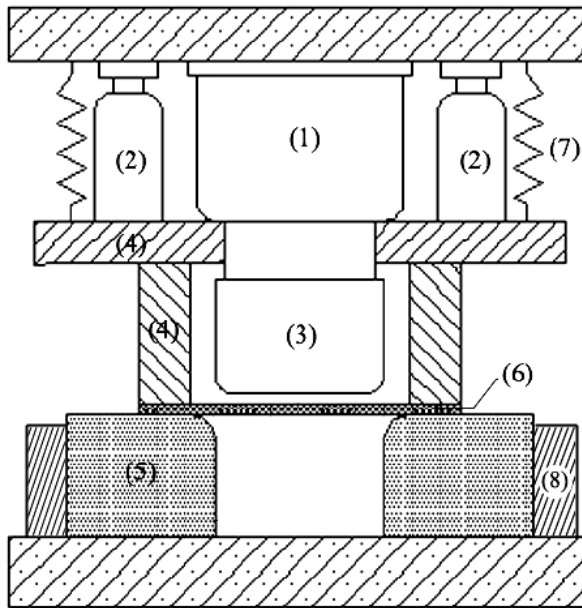
Gambar 3.1. Dimensi draw piece.

3.6.2. Die Keramik



Gambar 3.2. Dimensi die keramik, (mm).

3.7. Skema Instalasi Mesin *Drawing*



Keterangan :

1. Pompa hidrolik (*punch*)
2. Pompa hidrolik (*blank holder*)
3. *Punch*
4. *Blank Holder*
5. *Die keramik*
6. *Spesimen*
7. *Pegas Blank Holder*
8. *Die Holder*

Gambar 3.3. Skema instalasi mesin *drawing*

3.8. Prosedur Penelitian

3.8.1. Prosedur Umum

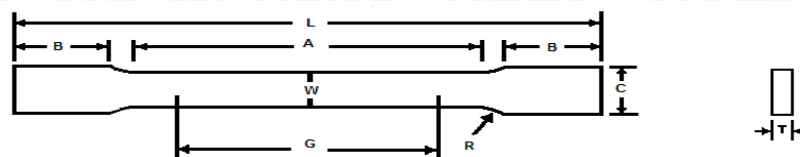
1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan informasi teori serta mendapatkan data-data yang berhubungan dengan penelitian. Selain itu juga dilakukan pemahaman terhadap hasil penelitian sebelumnya yang memiliki keterkaitan permasalahan. Studi literatur ini dilakukan terhadap beberapa buku, jurnal penelitian, serta artikel-artikel yang diperoleh melalui berbagai media.

2. Pengujian Material

Pengujian tarik lembaran *stainless steel* 430 sesuai standar ASTM A370.

Gambar 3.4 menunjukkan spesimen standar pengujian *sheet metal*.



Gambar 3.4. Skematis standar pengujian ASTM – A 370

Sumber : *handbook* ASTM - A 370 ;1988 : 204

Tabel 3.3. Dimensi spesimen uji tarik *stainless steel sheet 430*

	Dimensions mm	
	Standart Spicement Sheet-Type 12.5 mm Wide	Subsize Spicement 6 mm Wide
G - Gage length	50.00 ± 0.10	25.00 ± 0.10
W - Width (Notes 1 and 2)	12.50 ± 0.05	6.00 ± 0.05
T - Thickness (Note 3)	Thickness of material	Thickness of material
R - Radius of fillet, min	12.5	6
L - Over-all length, min (Note 4)	200	100
A - Length of reduced section, min	57	32
B - Length of grip section, min (Note 5)	50	30
C - Width of grip section, approximate (Notes 2 and 6)	20	10

Sumber : *handbook* ASTM A 370 ;1988 : 204

3. **Pembuatan *Blank***

Melakukan pemotongan terhadap lembaran *stainless steel 430* menjadi bentuk lingkaran sesuai dengan ukuran dan jumlah yang telah ditentukan.

4. **Perencanaan dan Pembuatan *Die***

Merencanakan dimensi, komposisi *die* yang diperlukan dan selanjutnya dilakukan pembuatan cetakan *die* keramik dari logam, dan *die* dari keramik. Proses pembentukan dengan cara *slip casting* (penekanan 260 bar, penahanan 1,5 menit). Pembakaran *die* keramik dengan suhu pembakaran 1250°C, waktu *holding* 1 jam dan didinginkan perlahan dalam tungku selama 8 jam hingga mencapai suhu ruangan.

5. **Perencanaan dan Pembuatan Komponen Mesin *Drawing***

Merencanakan dimensi untuk setiap komponen mesin *drawing*. Komponen tersebut adalah 1 set *blank holder*, *punch*, dan pencekam *die* keramik.

6. **Percobaan dan Penelitian**

Percobaan dilakukan dengan proses *dry deep drawing* sebanyak 3 kali untuk setiap masing–masing variabel bebas.

7. **Pengambilan Data**

Data yang diambil dari percobaan berupa nilai *Drawing Force*.

8. Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan analisa varian dua arah dari data *Drawing Force (DF)* yang dipengaruhi oleh variasi kecepatan *punch* dan kandungan Al_2O_3 pada *die* keramik.

9. Pembahasan dan Evaluasi

Nilai *Drawing Force* diolah secara statistik kemudian dianalisa dan dibahas.

10. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang diambil merupakan hasil representasi akhir dari pengamatan, percobaan, analisa dan pembahasan.

3.8.2. Prosedur Percobaan

I. Prosedur Persiapan

1. Mempersiapkan peralatan dan perlengkapan.
2. Mempersiapkan bahan dan spesimen.

II. Prosedur *Deep Drawing*

1. Mengatur posisi *die* pada mesin *drawing*.
2. Melakukan percobaan penekanan *punch* tanpa *blank*.
3. Meletakkan dan mengatur posisi *blank* pada mesin *drawing*.
4. Mengatur posisi dan tekanan *blank holder*.
5. Menggerakkan *punch* hingga menyentuh *blank*.
6. Mengatur pengukur tekanan *punch* hingga menunjukkan angka nol.
7. Mengatur posisi penggaris ukur kedalaman pada mesin *drawing* sehingga menunjukkan angka nol.
8. Menghitung waktu penekanan untuk setiap variabel kecepatan *drawing*.
9. Mengatur *stopwatch* pada posisi nol.
10. *Punch* ditekan bersama dengan memulai *stopwatch* hingga mencapai kedalaman yang ditentukan dalam waktu yang sudah diperhitungkan.
11. Mencatat nilai maksimal yang ditunjukkan oleh pengukur tekanan *punch*.
12. Mengembalikan *punch* mesin *drawing* pada posisi awal.

3.9. Rancangan Penelitian

3.9.1. Pengambilan Data

Dalam penelitian ini diperoleh data *Drawing Force*. Menggunakan lima *die* keramik dengan kandungan Al_2O_3 sebagai variabel bebas, maka rancangan pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.4. Rancangan Pengambilan Data *Drawing Force*

		Kandungan Al_2O_3				
		17 gr	27 gr	37 gr	47 gr	57 gr
Kecepatan punch (mm/s)	0,6	<i>Drawing Force</i>				
		$F_{1,1,1}$	$F_{1,2,1}$	$F_{1,3,1}$	$F_{1,4,1}$	$F_{1,5,1}$
		$F_{1,1,2}$	$F_{1,2,2}$	$F_{1,3,2}$	$F_{1,4,2}$	$F_{1,5,2}$
	$F_{1,1,3}$	$F_{1,2,3}$	$F_{1,3,3}$	$F_{1,4,3}$	$F_{1,5,3}$	
	1,2	$F_{2,1,1}$	$F_{2,2,1}$	$F_{2,3,1}$	$F_{2,4,1}$	$F_{2,5,1}$
		$F_{2,1,2}$	$F_{2,2,2}$	$F_{2,3,2}$	$F_{2,4,2}$	$F_{2,5,2}$
		$F_{2,1,3}$	$F_{2,2,3}$	$F_{2,3,3}$	$F_{2,4,3}$	$F_{2,5,3}$
	1,8	$F_{3,1,1}$	$F_{3,2,1}$	$F_{3,3,1}$	$F_{3,4,1}$	$F_{3,5,1}$
		$F_{3,1,2}$	$F_{3,2,2}$	$F_{3,3,2}$	$F_{3,4,2}$	$F_{3,5,2}$
		$F_{3,1,3}$	$F_{3,2,3}$	$F_{3,3,3}$	$F_{3,4,3}$	$F_{3,5,3}$
	2,4	$F_{4,1,1}$	$F_{4,2,1}$	$F_{4,3,1}$	$F_{4,4,1}$	$F_{4,5,1}$
		$F_{4,1,2}$	$F_{4,2,2}$	$F_{4,3,2}$	$F_{4,4,2}$	$F_{4,5,2}$
		$F_{4,1,3}$	$F_{4,2,3}$	$F_{4,3,3}$	$F_{4,4,3}$	$F_{4,5,3}$
	3,0	$F_{5,1,1}$	$F_{5,2,1}$	$F_{5,3,1}$	$F_{5,4,1}$	$F_{5,5,1}$
		$F_{5,1,2}$	$F_{5,2,2}$	$F_{5,3,2}$	$F_{5,4,2}$	$F_{5,5,2}$
$F_{5,1,3}$		$F_{5,2,3}$	$F_{5,3,3}$	$F_{5,4,3}$	$F_{5,5,3}$	

3.9.2. Analisa Data Statistik

Dalam penelitian ini terdapat 2 buah faktor yang divariasikan, yaitu kecepatan *punch* dan kandungan Al_2O_3 pada *die* keramik. Oleh karena itu, digunakan analisa varian dua arah untuk mengetahui pengaruh dari variasi setiap faktor tersebut terhadap gaya *drawing*. Rumus umum perhitungan statistik yang digunakan adalah sebagai berikut (Sumber: Slamet Wahyudi, *Statistik Teknik*, 2006 : 91-100) :

Tabel 3.5. Rancangan Penelitian Dengan Setiap Sel Lebih Dari Satu Pengamatan

		FAKTOR B				Σ baris	Rata2	
		B1	...	Bj	...			Bc
FAKTORA	A1	X111		X1j1		X1c1	T1...	X _{1.}
		X112		X1j2		X1c2		
			
		X11t		X1jt		X1ct		
		T11.		Tij.		Tic.		
	Ai	Xi11		Xij1		Xic1	Ti..	X _{i.}
		Xi12		Xij2		Xic2		
			
		Xi1t		Xijt		Xict		
		Ti1.		Tij.		Tic.		
	Ar	Xr11		Xrj1		Xrc1	Tr..	X _{r.}
		Xr12		Xrj2		Xrc2		
			
		Xr1t		Xrjt		Trc.		
		Tr1.		Trj.		T.c.		
Σ Kolom		T.1.		T.j.		T...		
Rata-rata		X _{1.}		X _{j.}		X _{c.}		X _{...}

- Pengaruh interaksi antara faktor A pada level ke-i dan faktor B pada level ke-j dinyatakan $(\alpha\beta)_{ij}$, μ merupakan nilai rata-rata dari seluruh pengamatan, maka dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} \quad (3.1)$$

sehingga,
$$Y_{ijk} = \mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (3.2)$$

dengan batas :
$$\sum_{i=1}^r \alpha_i = 0; \quad \sum_{j=1}^c \beta_j = 0; \quad \sum_{i=1}^r (\alpha\beta)_{ij} = 0; \quad \sum_{j=1}^c (\alpha\beta)_{ij} = 0 \quad (3.3)$$

α = pengaruh faktor A

β = pengaruh faktor B

$(\alpha\beta)$ = pengaruh interaksi antara faktor A dan B

- Dalam hal ini diuji tiga jenis hipotesis, dan ditulis sebagai berikut :

1. $H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_i$

berarti faktor kecepatan *punch* tidak berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

$$H_1^1 : \text{sekurang – kurangnya ada satu } \alpha_i \neq 0$$

berarti faktor kecepatan *punch* berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

2. $H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_j$

berarti faktor kandungan alumina tidak berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

$$H_1^2 : \text{sekurang – kurangnya ada satu } \beta_j \neq 0$$

berarti faktor kandungan alumina berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

3. $H_0^3 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = (\alpha\beta)_{13} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$

berarti faktor interaksi kecepatan *punch* dengan kandungan alumina tidak berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

$$H_1^3 : \text{sekurang – kurangnya ada satu } (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$$

berarti faktor interaksi kecepatan *punch* dengan kandungan alumina berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

- Adapun rumus yang digunakan dalam analisis varian dua arah ini adalah :

1. Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t X_{ijk}^2 - \frac{T_{...}^2}{rct} \quad (3.4)$$

2. Jumlah Kuadrat Nilai Tengah Baris (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i..}^2}{ct} - \frac{T_{...}^2}{rct} \quad (3.5)$$

3. Jumlah Kuadrat Nilai Tengah Kolom (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_{.j.}^2}{rt} - \frac{T_{...}^2}{rct} \quad (3.6)$$

4. JKPerlakuan

$$JKPerlakuan = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{t} - \frac{T_{...}^2}{rct} \rightarrow JKAB = JKP - JKA - JKB \quad (3.7)$$

5. Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \\ = JKT - JKA - JKB - JKAB \quad (3.8)$$

- Tabel yang digunakan untuk analisa varian dua arah adalah :

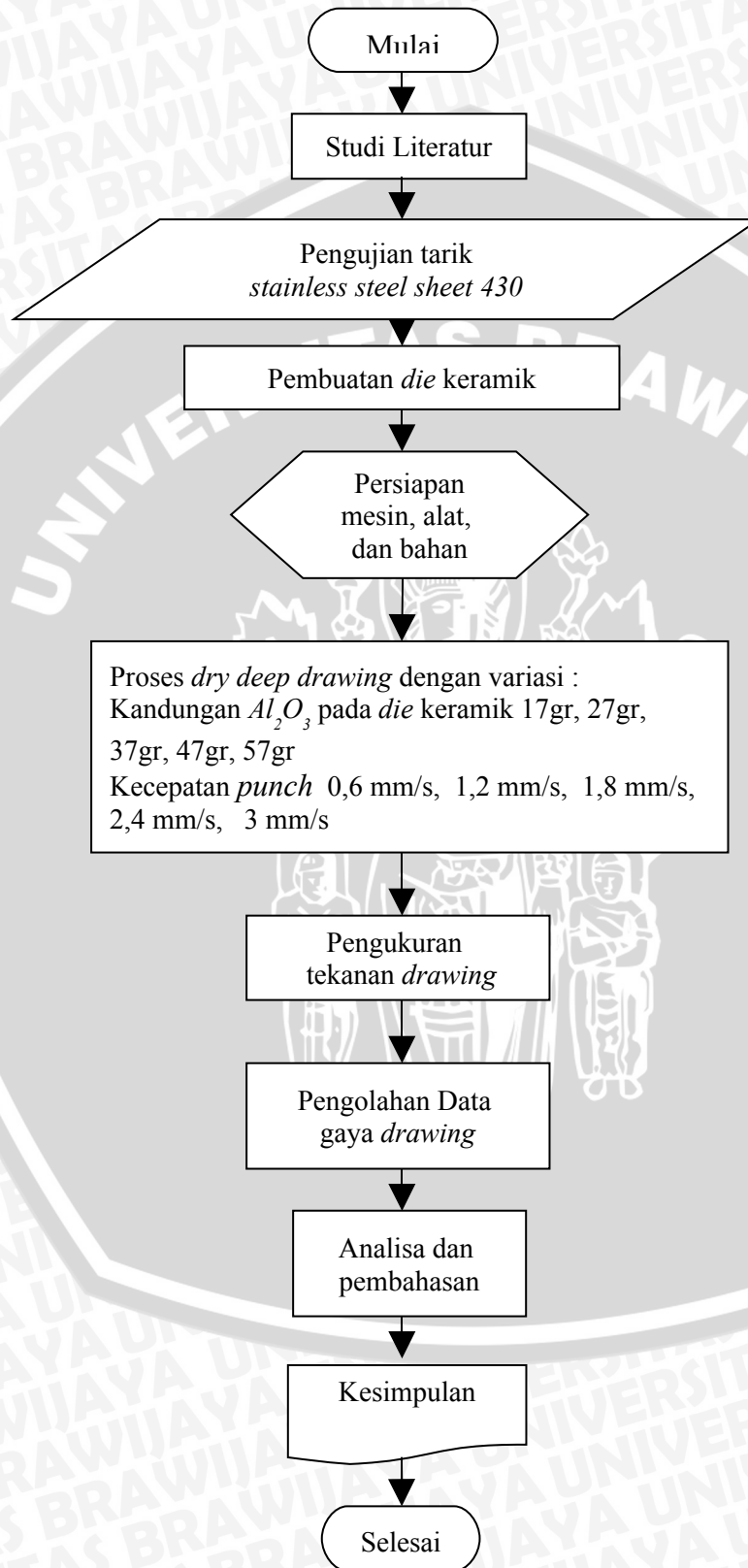
Tabel 3.6. Analisis Varian Dua Arah

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	f_{hitung}	f_{tabel}
Nilai tengah baris	JKA	$r - 1$	$s_1^2 = \frac{JKA}{r - 1}$	$f_1 = \frac{s_1^2}{s_2^2}$	
Nilai tengah kolom	JKB	$c - 1$	$s_2^2 = \frac{JKB}{c - 1}$	$f_2 = \frac{s_2^2}{s_3^2}$	
Interaksi AB	JKAB	$(r - 1)(c - 1)$	$s_3^2 = \frac{JKAB}{(r - 1)(c - 1)}$	$f_3 = \frac{s_3^2}{s_4^2}$	
Galat	JKG	$rc(t-1)$	$s_4^2 = \frac{JKG}{rc(t-1)}$		
Total	JKT	$rct - 1$			

Kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Bila $f_{1\ hitung} > f_{1\ tabel}$, maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima.
Berarti faktor kecepatan *punch* berpengaruh terhadap variabel terikatnya.
2. Bila $f_{2\ hitung} > f_{2\ tabel}$, maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima.
Berarti faktor kandungan Al_2O_3 berpengaruh terhadap variabel terikatnya.
3. Bila $f_{3\ hitung} > f_{3\ tabel}$, maka H_0^3 ditolak dan H_1^3 diterima.
Berarti faktor interaksi kecepatan *punch* dengan kandungan Al_2O_3 berpengaruh terhadap variabel terikatnya.

3.10. Diagram Alir Penelitian



BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Parameter Terkendali

Dalam penelitian ini ada beberapa parameter terkendali yang perlu diperhitungkan terlebih dahulu, yaitu :

1. Diameter awal spesimen (d_0)

$$\begin{aligned} d_0 &= \sqrt{(d_1^2 + 4d_1(h - 0,43r))} \\ &= \sqrt{(40,4^2 + 4 \cdot 40,4(13 - 0,43 \cdot 5))} \\ &= 58,25 \text{ mm} \approx 58,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Die clearance (U_D)

$$\begin{aligned} U_D &= s_0 + 0,07\sqrt{10 \cdot s_0} \\ &= 0,30 + 0,07\sqrt{10 \times 0,30} = 0,421 \text{ mm} \approx 0,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Diameter punch (D_P)

$$\begin{aligned} D_P &= d_1 - s_0 \\ &= 40,4 - 0,3 = 40,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. Diameter die (D_D)

$$\begin{aligned} D_D &= D_P + (2U_D) \\ D_D &= 40,1 + 0,8 \\ &= 40,9 \approx 41 \text{ mm} \end{aligned}$$

5. Radius die (r_D)

Faktor 0,035 pada persamaan 2.1 ditingkatkan menjadi 0,08, maka :

$$\begin{aligned} r_D &= 0,08[50 + (d_0 - d_1)]\sqrt{s_0} \\ &= 0,08[50 + (58,3 - 40,4)]\sqrt{0,3} = 2,97 \text{ mm} \approx 3 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. Gaya blank holder (F_{BH})

$$F_{BH} = 2 \cdot A_H \cdot p_H$$

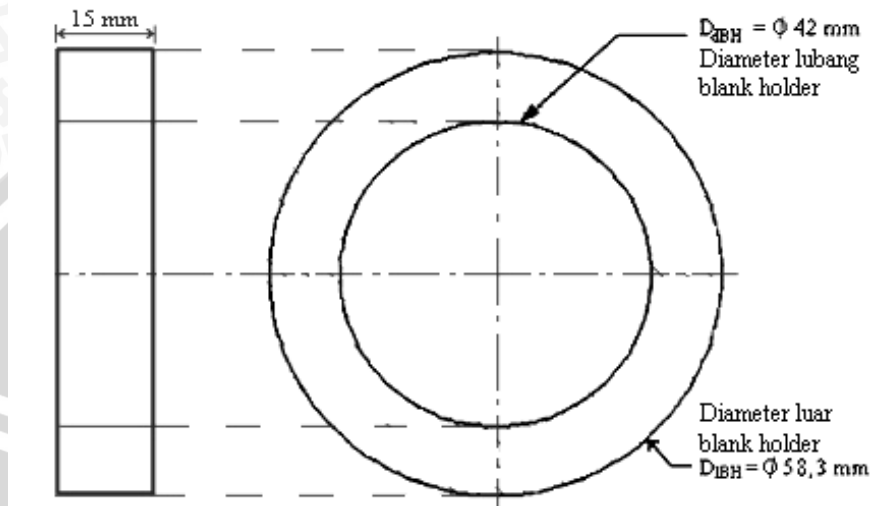
$$p_H = 50 \text{ bar} = 500 \text{ N/cm}^2 \text{ (tekanan hidrolik blank holder)}$$

$$A_H = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (2,3)^2 = 4,15 \text{ cm}^2 \text{ (luas penampang piston hidrolik blank holder)}$$

$$F_{BH} = 2 \times 4,15 \times 500 = 4,15 \text{ kN}$$

7. Tekanan *blank holder* (p_{BH})

$$p_{BH} = \frac{F_{BH}}{A_{BH}}$$



Gambar 4.1. Dimensi *blank holder*

$$\begin{aligned} A_{BH} &= A_{\text{luar BH}} - A_{\text{lubang BH}} \\ &= (\frac{1}{4} \cdot \pi \times 58,3^2) - (\frac{1}{4} \cdot \pi \times 42^2) \\ &= 2668,1 - 1384,74 = 1283,36 \text{ mm}^2 \approx 12,83 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$p_{BH} = \frac{4150}{12,83} = 323,46 \text{ N/cm}^2$$

4.2. Data Hasil Pengujian

4.2.1. Data Uji Tarik *Stainless Steel Sheet 430*

Bahan *stainless steel sheet 430* yang akan digunakan diuji terlebih dahulu untuk mengetahui tegangan sejati dan regangan sejati.

Tabel 4.1. Data hasil pengujian uji tarik *stainless steel sheet 430*

No	Panjang Awal (l_0)	Panjang Akhir (l) (mm)	Beban Maksimal (kg)	Beban Yield (kg)
1	50	54,12	194	174
2	50	54,85	192	171
3	50	55,11	189	178
4	50	54,69	193	171
5	50	54,71	201	186

Berikut adalah contoh perhitungan spesimen ke-1 untuk mendapatkan tegangan sejati berdasarkan tabel 4.1.

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

$$\sigma = \frac{194}{3,75} \cdot \frac{54,12}{50} \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma = 55,9 \text{ kg/mm}^2$$

Regangan sejati dihitung dengan persamaan :

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

$$\varepsilon = \ln \frac{54,12}{50} = 0,079$$

Hasil perhitungan spesimen pertama sampai kelima dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.2. Tegangan sejati dan regangan sejati *stainless steel sheet* 430

No	Tegangan Sejati (σ)	Regangan Sejati
1	55,9	0,0795
2	56,1	0,0925
3	55,5	0,0937
4	56,2	0,0896
5	58,6	0,0900

4.2.2. Data Hasil Pengujian *Deep Drawing*

Dari hasil pengujian diperoleh beberapa data yang akan diolah dan digunakan sebagai bahan analisa. Data hasil pengujian adalah tekanan *punch*, gaya *blank holder*, dan waktu *drawing* dengan variasi kecepatan *punch* dan *die* keramik.

Untuk mempermudah perhitungan, data hasil pengukuran tekanan *drawing* (bar) tersebut ditabelkan pada tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.3. Data tekanan *drawing* (bar)

		Kandungan Al_2O_3				
		17 gr	27 gr	37 gr	47 gr	57 gr
Kecepatan <i>punch</i> (mm/s)	0,6	83	84	84	81	80
		84	83	82	80	81
		82	82	81	79	80
	1,2	85	86	85	84	80
		85	85	85	82	83
		84	85	84	81	83
	1,8	89	89	87	87	89
		88	88	87	86	87
		87	87	86	85	86
	2,4	89	90	88	88	88
		90	89	88	89	88
		89	89	87	88	88
	3,0	92	92	92	90	91
		91	91	90	90	89
		91	89	89	89	89

Data tersebut dikonversikan terlebih dahulu menjadi gaya *drawing* (kN) sebelum diolah dengan analisa varian. Contoh perhitungan gaya *drawing* adalah sebagai berikut :

$$p_{H_2} = 84 \text{ bar} = 840 \text{ N/cm}^2 \text{ (tekanan hidrolis } \textit{punch})$$

$$A_{H_2} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (4,3)^2 = 14,51 \text{ cm}^2 \text{ (luas penampang dalam pompa hidrolis } \textit{punch})$$

Maka,

$$\text{Gaya } \textit{drawing} : D_F = p_{H_2} \cdot A_{H_2}$$

$$D_F = 840 \cdot 14,51 = 12,192 \text{ kN}$$

Hasil perhitungan gaya *drawing* dari data hasil pengujian ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 4.4. Data gaya *drawing* (kN)

		Kandungan Al_2O_3					Σ	
		17 gr	27 gr	37 gr	47 gr	57 gr		
Kecepatan <i>punch</i> (mm/s)	0.6	12.047	12.192	12.192	11.757	11.612	177.95	
		12.192	12.047	11.902	11.612	11.757		
		11.902	11.902	11.757	11.467	11.612		
	1.2	12.337	12.483	12.337	12.192	11.612	182.449	
		12.337	12.337	12.337	11.902	12.047		
		12.192	12.337	12.192	11.757	12.047		
	1.8	12.918	12.918	12.628	12.628	12.918	189.852	
		12.773	12.773	12.628	12.483	12.628		
		12.628	12.628	12.483	12.337	12.483		
	2.4	12.918	13.063	12.773	12.773	12.773	192.755	
		13.063	12.918	12.773	12.918	12.773		
		12.918	12.918	12.628	12.773	12.773		
	3	13.353	13.353	13.353	13.063	13.208	196.674	
		13.208	13.208	13.063	13.063	12.918		
		13.208	12.918	12.918	12.918	12.918		
	Σ		189.997	189.997	187.965	185.642	186.078	939.678

4.3. Analisis Statistik

Data yang diperoleh dari pengujian gaya *drawing* diolah menggunakan analisa varian dua arah untuk mengetahui pengaruh kecepatan *punch* (faktor A) dan kandungan alumina pada *die* keramik (faktor B) terhadap besar gaya *drawing*.

Hipotesis analisis ini dapat ditulis sebagai berikut :

1. $H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_i$,

berarti faktor kecepatan *punch* tidak berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

$$H_1^1 : \text{sekurang – kurangnya ada satu } \alpha_i \neq 0 ,$$

berarti faktor kecepatan *punch* berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

2. $H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_j$,

berarti faktor kandungan alumina tidak berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

$$H_1^2 : \text{sekurang – kurangnya ada satu } \beta_j \neq 0 ,$$

berarti faktor kandungan alumina berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

3. $H_0^3 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = (\alpha\beta)_{13} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$,

berarti faktor interaksi kecepatan *punch* dengan kandungan alumina tidak berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

H_1^3 : sekurang – kurangnya ada satu $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$,

berarti faktor interaksi kecepatan *punch* dengan kandungan alumina berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

dengan,

α = pengaruh faktor A

β = pengaruh faktor B

$(\alpha\beta)$ = pengaruh interaksi antara faktor A dan B

Pengolahan data dengan analisa varian dua arah menggunakan taraf nyata $\alpha = 5\%$.

Perhitungan statistik :

6. $FK = \frac{T_{...}^2}{rct} = \frac{939,678}{5.5.3} = 11773,27$

7. Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^t X_{ijk}^2 - \frac{T_{...}^2}{rct}$$

$$JKT = (12,047^2 + 12,192^2 + \dots + 12,918) - FK$$

$$JKT = 18,2$$

8. Jumlah Kuadrat Nilai Tengah Baris (JKA)

$$JKA = \frac{\sum_{i=1}^r T_{i..}^2}{ct} - \frac{T_{...}^2}{rct} = \left(\frac{177,95^2 + \dots + 196,674^2}{5.3} \right) - FK$$

$$JKA = 15,53771$$

9. Jumlah Kuadrat Nilai Tengah Kolom (JKB)

$$JKB = \frac{\sum_{j=1}^c T_{.j.}^2}{rt} - \frac{T_{...}^2}{rct} = \left(\frac{189,997^2 + \dots + 186,078^2}{5.3} \right) - FK$$

$$JKB = 1,147196$$

10. JKPerlakuan

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{t} - \frac{T_{...}^2}{rct} = 17,13$$

$$JKAB = JKP - JKA - JKB$$

$$= 17,13 - 15,53771 - 1,147196 = 0,44$$

11. Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 18,21 - 17,13 = 1,08$$

Tabel 4.5. Hasil Analisa Varian Dua Arah

Sumber Varian	JK	db	KT	F _{hitung}	F _{tabel}
Faktor A	15,5377	4,00	3,8844	13,5441	2,557
Faktor B	1,1472	4,00	0,2868	10,3655	2,557
Interaksi A dan B	0,4427	16,00	0,0277	1,2792	1,85
Galat	1,0815	50,00	0,0216		
Total	18,2091	74,00			

Sehingga dari hasil tabel 4.5 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

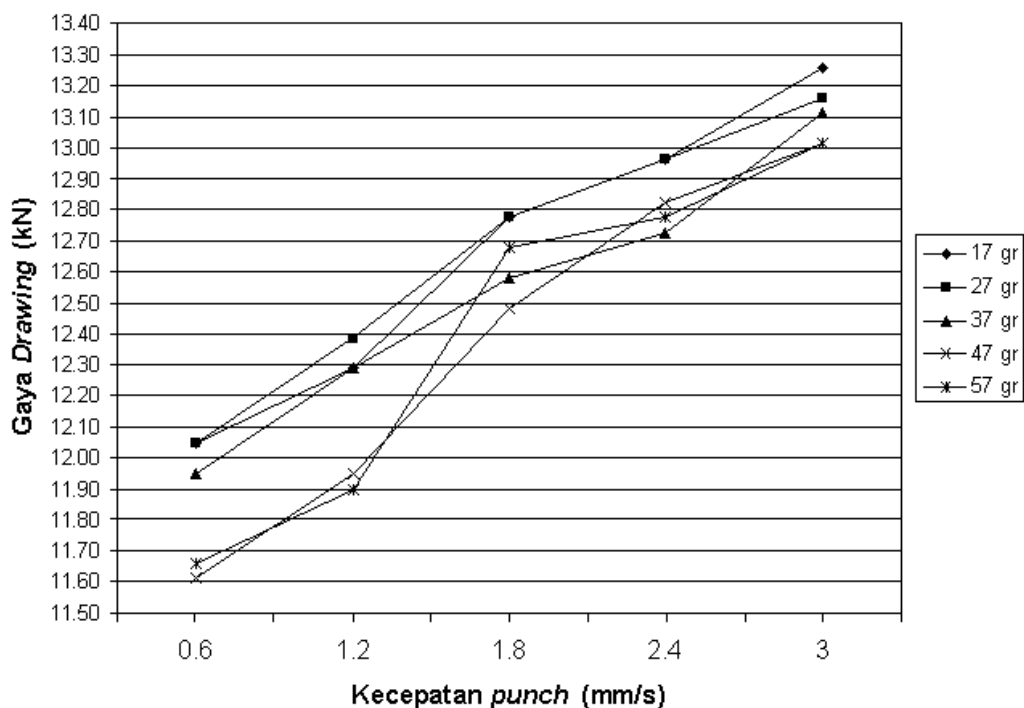
- $F_{A \text{ hitung}} = 13,5441$ dan $F_{A \text{ tabel}} = 2,557$ sehingga $F_{A \text{ hitung}} > F_{A \text{ tabel}}$, maka H_0^1 ditolak dan H_1^1 diterima. Berarti faktor kecepatan *punch* berpengaruh terhadap gaya *drawing*.
- $F_{B \text{ hitung}} = 10,3655$ dan $F_{B \text{ tabel}} = 2,557$ sehingga $F_{B \text{ hitung}} > F_{B \text{ tabel}}$, maka H_0^2 ditolak dan H_1^2 diterima. Berarti faktor kandungan alumina pada *die* keramik berpengaruh terhadap gaya *drawing*.
- $F_{AB \text{ hitung}} = 1,2792$ dan $F_{AB \text{ tabel}} = 1,850$ sehingga $F_{AB \text{ hitung}} < F_{AB \text{ tabel}}$, maka H_0^3 diterima dan H_1^3 ditolak. Berarti faktor interaksi kecepatan *punch* dan kandungan alumina tidak berpengaruh terhadap gaya *drawing*.

4.4. Pembahasan

4.4.1. Pengaruh kecepatan *punch* terhadap gaya *drawing*

Kecepatan pembentukan *draw piece* dalam industri pembentukan logam sangat berguna untuk meningkatkan produktifitas. Dari hasil percobaan variasi kecepatan *punch* didapatkan gaya *drawing* berbanding lurus dengan bertambahnya kecepatan *punch*. Gambar 4.2 mempresentasikan grafik hubungan antara kecepatan *punch* dengan gaya *drawing* tersebut.

Grafik Hubungan antara Kecepatan *Punch* terhadap Gaya *Drawing*



Gambar 4.2. Grafik hubungan antara kecepatan *punch* dengan gaya *drawing*

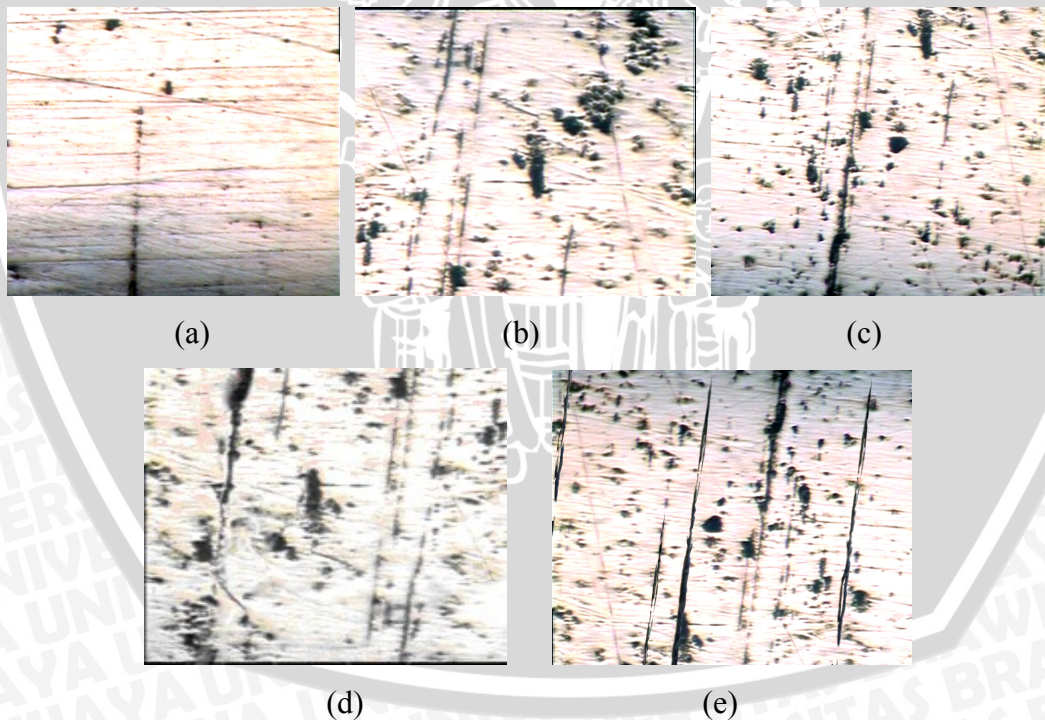
Pada gambar 4.2 terlihat bahwa gaya *drawing* terendah diperoleh pada kecepatan *punch* 0,6 mm/s yang menggunakan *dies* dengan kandungan 47 gr yaitu sebesar 11,61 kN. Sedangkan gaya *drawing* maksimal sebesar 13,26 kN terjadi pada kecepatan *punch* 3 mm/s dengan kandungan alumina 17 gr. Pada *die* keramik dengan kandungan 37 gr dan kecepatan *punch* 0,6 mm/s membutuhkan gaya *drawing* 11,95 kN, kemudian meningkat menjadi 12,9 kN saat kecepatan *punch* 1,2 mm/s. Gaya *drawing* terus meningkat hingga sebesar 13,11 kN pada kecepatan *punch* maksimal

yaitu 3 mm/s, sehingga trend dari grafik hubungan kecepatan *punch* dengan gaya *drawing* mengalami peningkatan secara bersamaan.

Perbedaan besar kecepatan *punch* berpengaruh terhadap besar gaya *drawing*, karena pada saat *blank* ditekan dengan kecepatan *punch* yang lebih besar mengakibatkan *blank* mengalami kecepatan regangan dan tegangan deformasi yang lebih hebat. Dari persamaan dasar $\sigma = F/A$, terlihat bahwa tegangan berbanding lurus dengan gaya yang bekerja, sehingga ketika tegangan deformasi yang dialami *blank* tersebut meningkat karena ditekan oleh *punch* dengan kecepatan yang tinggi, maka besar gaya *drawing* juga meningkat.

4.4.2. Kondisi Permukaan *Draw Piece* dengan Variasi Kecepatan *Punch*

Gesekan dan kerusakan permukaan diamati dengan menggunakan foto makro 8 mega pixel dan foto mikro 250 kali perbesaran.



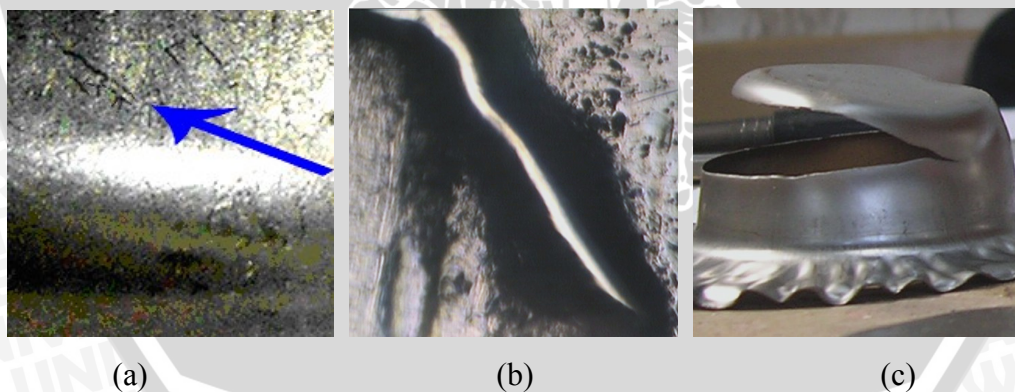
Gambar 4.3. Foto mikro dinding cup setelah *deep drawing* dengan kecepatan *punch*

(a). 0,6 mm/s, (b). 1,2 mm/s, (c). 1,8 mm/s, (d). 2,4 mm/s, (e). 3 mm/s,

Dari gambar 4.3 terlihat ada perbedaan kuantitas dan kedalaman goresan pada kecepatan *punch* yang berbeda. Goresan ringan berupa garis-garis tegak yang bewarna abu-abu kehitaman, dan goresan berat berupa garis hitam pekat yang searah dengan gerakan *punch*. Pada kecepatan *punch* 0,6 mm/s terjadi goresan ringan dalam jumlah yang kecil. Sedangkan dengan bertambahnya kecepatan *punch*, kondisi permukaan dinding cup cenderung semakin banyak mengalami goresan ringan maupun berat. Goresan yang semakin parah banyak ditemukan pada *deep drawing* dengan kecepatan *punch* 3 mm/s.

Goresan pada dinding cup disebabkan oleh gesekan saat luncuran material *blank* pada permukaan glasir keramik yang tidak rata. Glasir keramik yang tidak rata tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain adalah faktor keausan yang tidak merata pada glasir keramik itu sendiri setelah digunakan untuk beberapa kali proses *drawing*, selanjutnya adalah faktor penyusutan yang tidak merata di sekitar radius *die* saat pembuatan keramik khususnya saat proses pembakaran.

Draw piece mengalami cacat dan sobek setelah kecepatan *punch* ditingkatkan hingga 30 mm/s, hal ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan *punch* maksimal yang dapat digunakan untuk *deep drawing* dengan material dan kondisi seperti dalam penelitian ini.



Gambar 4.4. Kondisi permukaan dinding cup yang mengalami cacat retak pada kecepatan *punch* 20 mm/s (a). Foto makro cacat retak, (b). Foto mikro retakan, (c). Material sobek pada kecepatan *punch* 30 mm/s

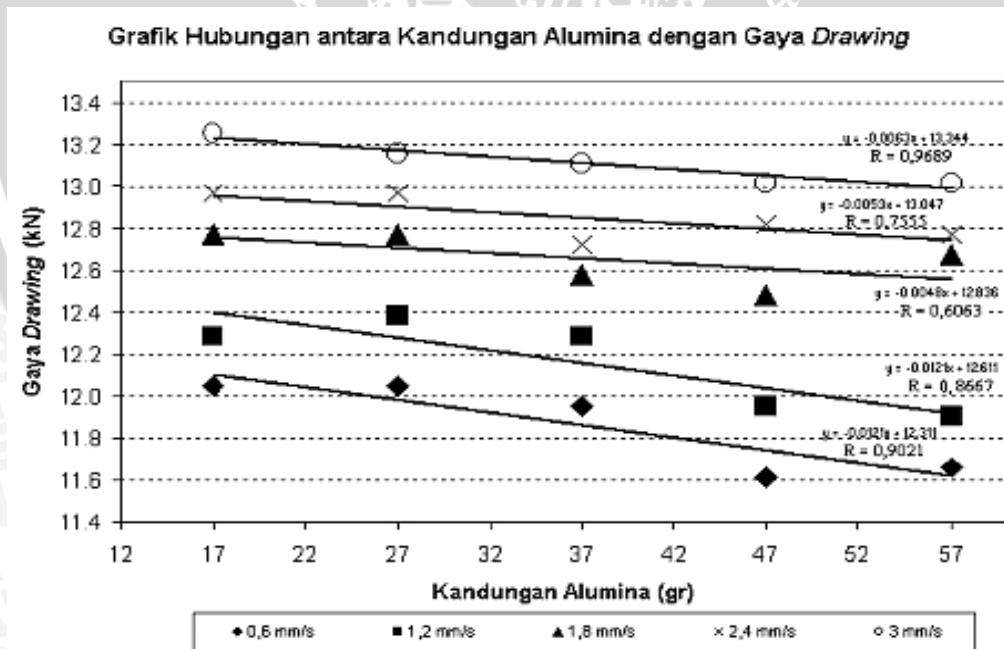
Cacat berupa retakan pada permukaan terjadi pada bagian dinding cup yang dekat dengan radius *punch*, hal ini terjadi karena pada bagian tersebut material

mengalami tegangan tarik sangat besar dan penipisan tebal *blank*, sehingga ketika terdapat goresan pada bagian tersebut goresan akan cenderung melebar dan menjadi awal dari sobeknya material saat *deep drawing*.

4.4.3. Pengaruh Kandungan Al_2O_3 pada *Die* Keramik terhadap Gaya *Drawing*

Badan keramik dengan lapisan glasir yang digunakan sebagai *dies* mempunyai keunggulan tersendiri karena memiliki permukaan yang relatif licin. Kandungan alumina pada lapisan glasir tersebut berpengaruh terhadap besar gaya *drawing* pada material *stainless steel sheet 430*, karena dari analisa varian diperoleh $f_{B \text{ hitung}} = 10,3655$ dan $f_{B \text{ tabel}} = 2,557$, maka $f_{B \text{ hitung}} > f_{B \text{ tabel}}$.

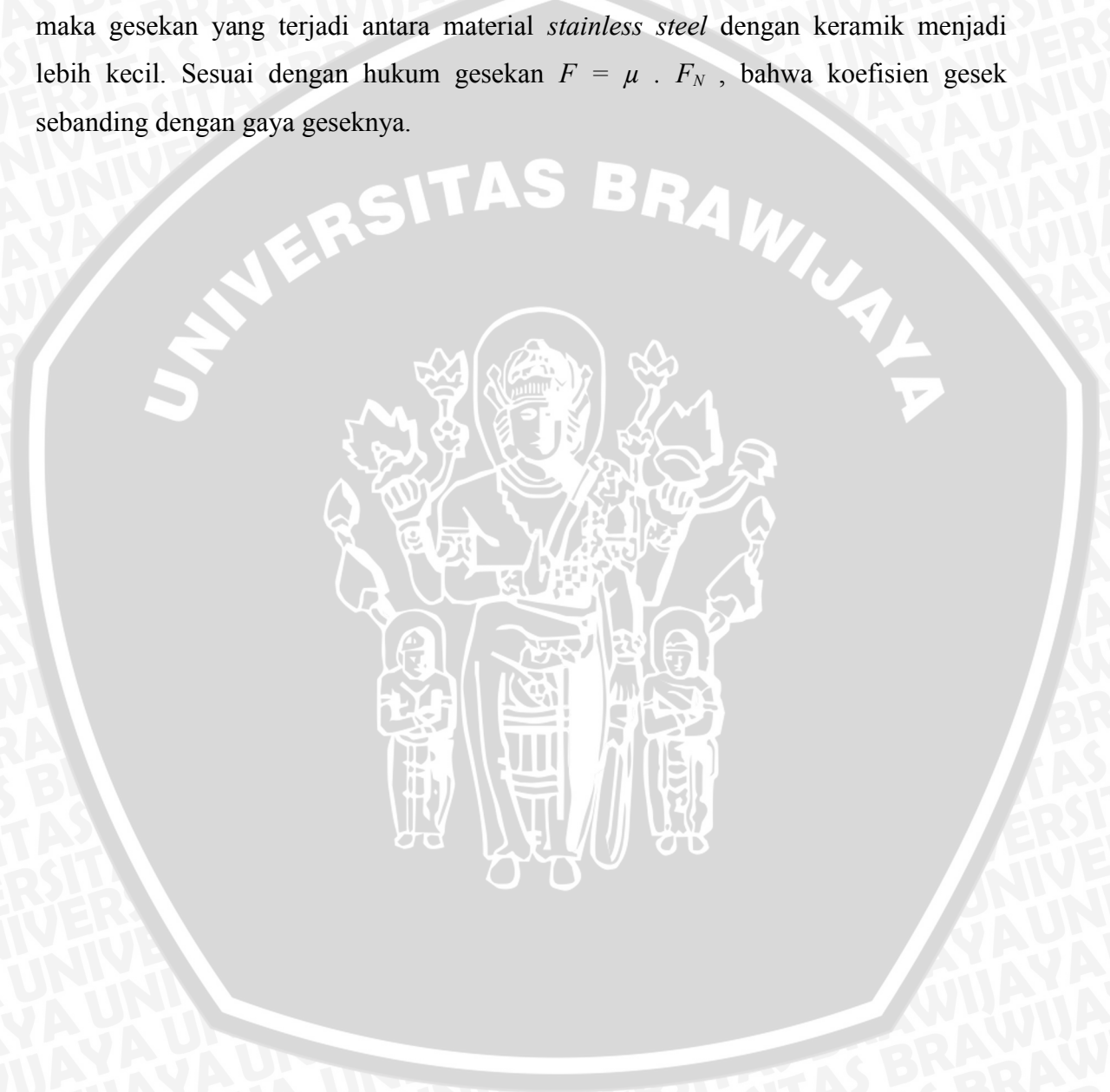
Dari gambar 4.5 terlihat bahwa gaya *drawing* menurun sedikit demi sedikit seiring dengan penambahan alumina pada *die* keramik. Gaya *drawing* rata-rata maksimal sebesar 12,67 kN terjadi pada *die* dengan kandungan alumina 17 gr, dan gaya *drawing* berangsur-angsur menurun hingga gaya *drawing* terendah yaitu 12,4 kN dengan menggunakan *die* keramik 57 gr mengandung alumina.



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara kandungan alumina dengan gaya *drawing*

Penurunan gaya *drawing* seiring dengan bertambahnya kandungan alumina disebabkan oleh beberapa sifat unggul bahan alumina, antara lain penambahan alumina

dapat menambah kekuatan tegangan permukaan dan kekerasan pada glasir *die* keramik. Disamping itu, penambahan alumina juga menambah kestabilan bentuk permukaan glasir agar tetap rata dan tidak bergelombang pada saat pendinginan setelah proses pembakaran. Dengan permukaan keramik yang lebih rata dan keras tersebut, maka gesekan yang terjadi antara material *stainless steel* dengan keramik menjadi lebih kecil. Sesuai dengan hukum gesekan $F = \mu \cdot F_N$, bahwa koefisien gesek sebanding dengan gaya geseknya.



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang pengaruh kecepatan *punch* dan kandungan Al_2O_3 dalam *die* keramik terhadap gaya *drawing* spesimen *stainless steel sheet 430* dapat ditarik kesimpulan :

1. Gaya *drawing* semakin meningkat pada setiap penambahan kecepatan *punch* 0,6 mm/s hingga 3 mm/s, dan menghasilkan *draw piece* yang baik, sehingga kecepatan *punch* ditingkatkan terus sampai mendapatkan *draw piece* yang mengalami sobek atau rusak yaitu pada kecepatan *punch* 30 mm/s.
2. Kandungan Al_2O_3 pada glasir *die* keramik berpengaruh terhadap gaya *drawing*, semakin besar kandungan Al_2O_3 pada *die* keramik maka gaya *drawing* semakin menurun.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih mendalam mengenai keramik canggih yang diproses dengan suhu pembakaran lebih dari 1400°C.
2. Dapat dikembangkan penelitian lebih lanjut mengenai proses *deep drawing* dengan menggunakan keramik hanya pada bagian radius *die* saja.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, Ambar. 1997. *Pengetahuan Keramik*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Bushan, B. 1996. *Handbook of Tribology*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Bushan, B 1996. *Principal and Applications of Tribology*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Carlsson, P. 2005. "Surface Engineering in Sheet Metal Forming". *Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 7, viii + 68pp.
- Eary, D, F dan Reed, E, A. 1974. *Techniques of Pressworking Sheet Metal*. New Jersey: An Engineering Approach to Die Design, Prentice-Hall Inc.
- Kataoka, S. M, Aizawa, et al., 2004. "Tribology of dry deep-drawing of various metal sheets with use of ceramics tools". *Journal of Surface and Coating Technology*, 177 – 178, 582-590. Elsevier Science Publishers, B.V.
- Lange, K. 1985. *Handbook of Metal Forming*. New York: McGraw Hill Book Co.
- Ostergaard, D, E. 1967. *Metal Forming*. New York: McGraw Hill Book Co.
- Sebayang, P dan Muljadi S. 2002. "Pembuatan dan karakterisasi dari keramik Al_2O_3 untuk diaplikasikan pada bidang engineering". *TELAAH Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, Vol.23 No.0201. Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Siebert, K dan Wagner, S. 1994. "Deep Drawing". *TALAT Lecture 3704*. EAA-European Aluminium Association.
- Wahyudi, Slamet. 2006. *Statistik Teknik*. Malang: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Zhu, Qingshan. 2005. "Near net-shape fabrication of alumina glass composites". *Journal of European Ceramic Society*, 633 – 638.

LAMPIRAN

1.1. Foto Draw Piece



Kecepatan *punch* 0,6 mm/s
Die kandungan Al_2O_3 17 gr



Kecepatan *punch* 1,2 mm/s
Die kandungan Al_2O_3 37 gr



Kecepatan *punch* 1,8 mm/s
Die kandungan Al_2O_3 27 gr



Kecepatan *punch* 12,4 mm/s
Die kandungan Al_2O_3 17 gr



Kecepatan *punch* 3 mm/s
Die kandungan Al_2O_3 47 gr



Keseluruhan bagian atas *draw piece*

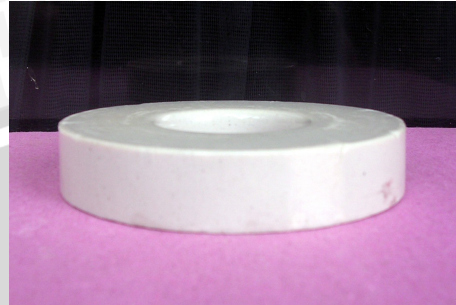


Bagian bawah *draw piece*

1.2 Foto Die Keramik



Kandungan Al_2O_3 17 gr



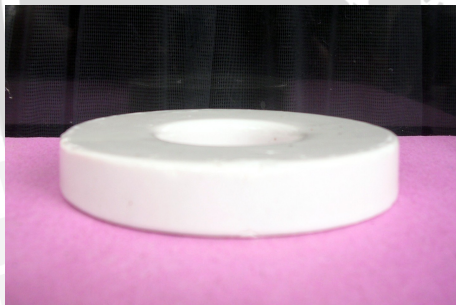
Die kandungan Al_2O_3 27 gr



Kandungan Al_2O_3 37 gr



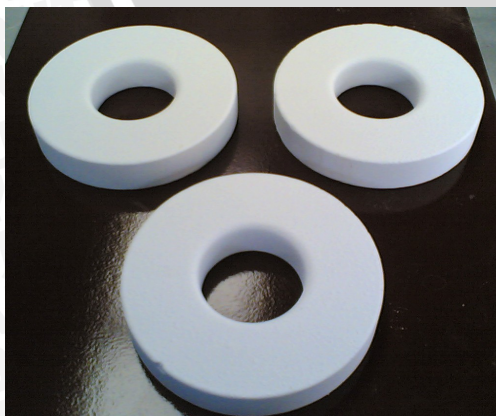
Die kandungan Al_2O_3 47 gr



Kandungan Al_2O_3 57 gr



Keseluruhan Die Keramik



Die keramik sebelum dibakar

1.3. Foto Alat Penelitian



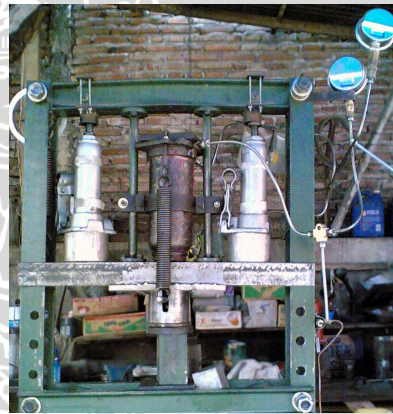
Mesin Uji Tarik



Kamera Mikrostruktur



Timbangan Digital



Mesin press untuk *drawing*



Mesin press untuk mencetak die

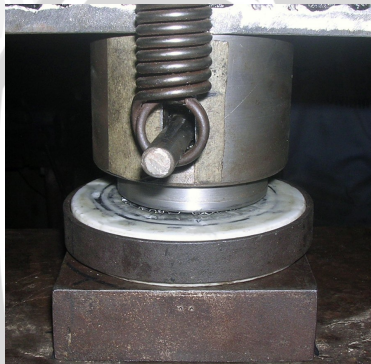
1.4. Foto Tahapan Drawing



Pengaturan die dan *punch*



Pengaturan *blank*



Penekanan *dry deep drawing*



Pengambilan *draw piece*