

**PENGARUH *BLANKHOLDER FORCE* TERHADAP *SPRINGBACK*
DAN KETEBALAN PELAT BENTUK U HASIL PROSES *DEEP*
DRAWING PADA *ANNEALED* ALUMINIUM PADUAN**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

**NANANG DWI PRASETIYO
NIM. 0310620088-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2009**

**PENGARUH *BLANKHOLDER FORCE* TERHADAP *SPRINGBACK*
DAN KETEBALAN PELAT BENTUK U HASIL PROSES *DEEP
DRAWING* PADA *ANNEALED* ALUMINIUM PADUAN**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Produksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

NANANG DWI PRASETIYO
NIM. 0310620088-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Abdul Hadi Djaelani
NIP. 19450728 197412 1 001

Ir. Ari Wahjudi, MT.
NIP. 19680324 199412 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH *BLANKHOLDER FORCE* TERHADAP *SPRINGBACK*
DAN KETEBALAN PELAT BENTUK U HASIL PROSES *DEEP
DRAWING* PADA *ANNEALED* ALUMINIUM PADUAN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

NANANG DWI PRASETIYO

NIM. 0310620088-62

Skripsi ini telah diuji dan
dinyatakan lulus pada tanggal 10 September 2009

Dosen Penguji :

Penguji Skripsi I

Penguji Skripsi II

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Ir. Erwin Sulistyono, MT.
NIP. 19661213 199802 1 001

Penguji Komprehensif

Putu Hadi Setyarini, ST., MT.
NIP. 19770806 200312 2 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. H. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat serta hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul “**Pengaruh *Blankholder Force* Terhadap *Springback* Dan Ketebalan Pelat Bentuk U Hasil Proses *Deep Drawing* Pada *Annealed Aluminium Paduan*” dapat terselesaikan dengan baik.**

Dalam rangka penyusunan skripsi ini, penulis tidak dapat terlepas dari bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. H. Slamet Wahyudi, ST. MT selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Abdul Hadi Djaelani dan Bapak Ir. Ari Wahjudi, MT. selaku dosen pembimbing.
3. Bapak Ir. Marsoedi W., MT selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Kedua orang tua dan masku yang tercinta yang telah memberikan dukungan semangat, materi dan doanya sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-temanku seperjuangan M'03, Laboratorium NC/CNC, Brawijaya Taekwondo Team, 286A Crew. Terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya.
6. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari walaupun telah berusaha dengan sebaik-baiknya dalam penyusunan skripsi ini pasti masih jauh dari sempurna dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Maka dengan ini penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna menuju kesempurnaan.

Akhirnya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan berbagai pihak yang akan mengembangkan skripsi ini.

Malang, September 2009

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Aluminium.....	4
2.2 Klasifikasi Aluminium.....	4
2.3 Perlakuan Panas.....	6
2.4 Klasifikasi Proses Pembentukan.....	8
2.4.1 Proses Pengerjaan Dingin.....	8
2.5 Mekanisme Deformasi.....	9
2.6 Pengertian Deformasi Elastis dan Plastis.....	10
2.7 Hubungan antara Deformasi dengan Teori Dislokasi.....	12
2.8 Pengaruh Pengerjaan Dingin Terhadap Sifat Logam.....	14
2.9 Pengaruh Deformasi dan Pemanasan Terhadap Besar Butir.....	15
2.10 Deep Drawing.....	16
2.10.1 Analisa Variabel <i>Deep Drawing</i>	17
2.11 Springback setelah <i>Deep Drawing</i>	18
2.12 Hipotesa.....	20
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Metode Penelitian.....	21
3.2 Variabel Penelitian.....	21
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.4 Spesimen dan Peralatan yang Digunakan.....	21
3.4.1 Spesimen yang digunakan.....	21
3.4.2 Peralatan yang digunakan.....	23
3.5 Prosedur Penelitian.....	25
3.6 Diagram Alir.....	26
3.7 Rancangan Penelitian.....	27
3.8 Analisis Statistik.....	27
3.9 Analisis Varian Satu Arah.....	27
3.10 Parameter pengukuran.....	30



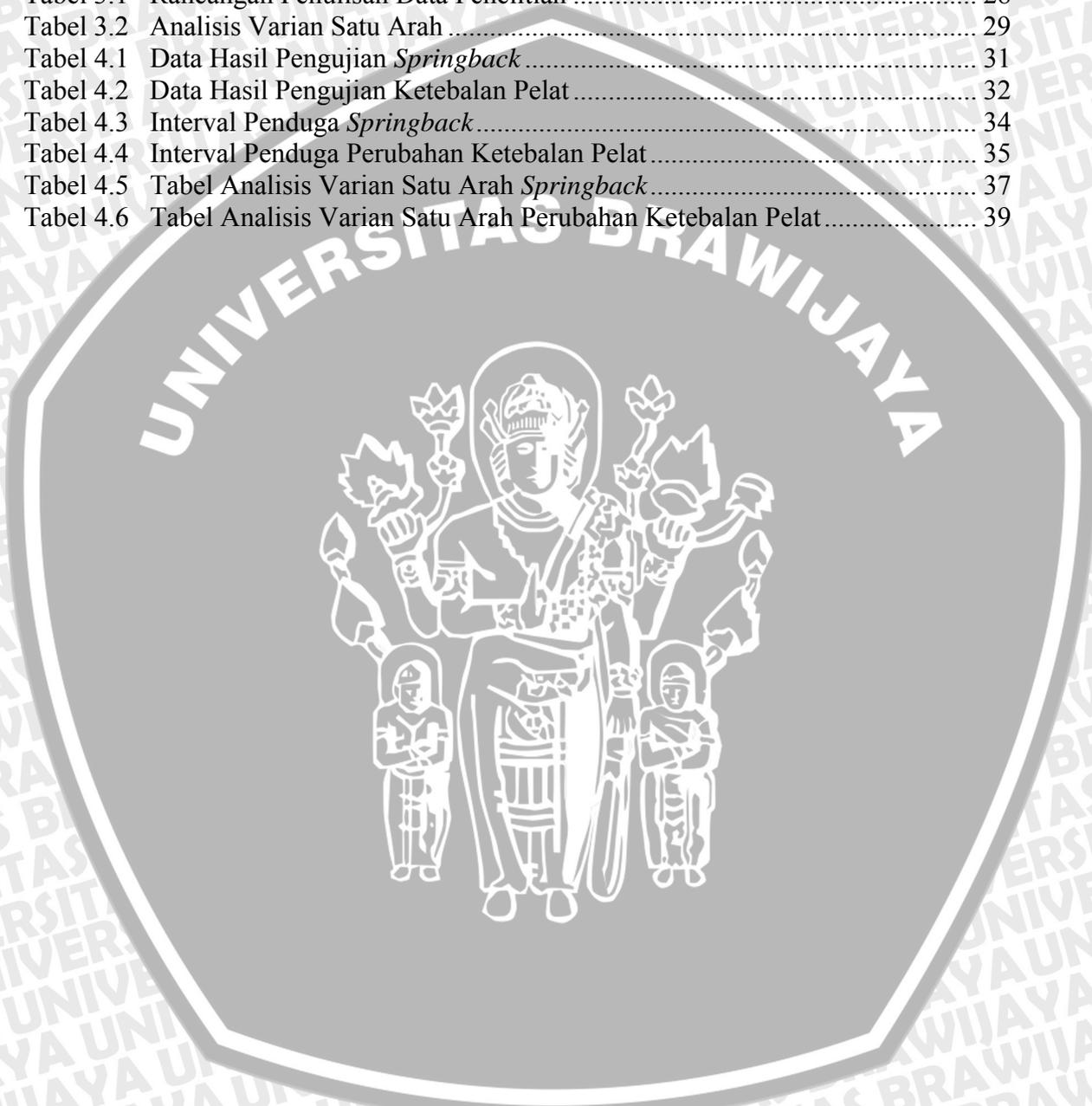
BAB IV. DATA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Data Hasil Pengujian	31
4.1.1 Hasil Pengujian <i>Springback</i>	31
4.1.2 Hasil Pengujian Ketebalan Pelat	31
4.2 Analisis Statistik	33
4.2.1 Analisis Statistik <i>Springback</i>	33
4.2.2 Analisis Statistik Perubahan Ketebalan Pelat	34
4.3 Analisis Varian Satu Arah	36
4.3.1 Analisis Varian Satu Arah <i>Springback</i>	36
4.3.2 Analisis Varian Satu Arah Perubahan Ketebalan Pelat	38
4.4 Pembahasan	40
4.4.1 Analisa Hubungan antara <i>Blankholder Force</i> dengan <i>Springback</i> Pelat Bentuk U	40
4.4.2 Analisa Hubungan antara <i>Blankholder Force</i> dengan Perubahan Ketebalan Pelat	43
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Aluminium <i>Alloy</i> berdasarkan AA	4
Tabel 2.2	Klasifikasi Proses Pembentukan Logam	8
Tabel 3.1	Rancangan Penulisan Data Penelitian	28
Tabel 3.2	Analisis Varian Satu Arah	29
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian <i>Springback</i>	31
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Ketebalan Pelat	32
Tabel 4.3	Interval Penduga <i>Springback</i>	34
Tabel 4.4	Interval Penduga Perubahan Ketebalan Pelat	35
Tabel 4.5	Tabel Analisis Varian Satu Arah <i>Springback</i>	37
Tabel 4.6	Tabel Analisis Varian Satu Arah Perubahan Ketebalan Pelat	39



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram proses <i>annealing</i>	7
Gambar 2.2	Pergeseran atom di daerah plastis (<i>slip</i>).....	8
Gambar 2.3	Geometri <i>slip</i> pada kristal tunggal yang ditarik.....	10
Gambar 2.4	Pergeseran atom pada gerakan kembaran (<i>twinning</i>)	10
Gambar 2.5	Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan.....	12
Gambar 2.6	Gerakan Atom (a) Gerakan atom pada dislokasi dalam slip ; (b) Dislokasi sisi ; (c) Dislokasi ulir	13
Gambar 2.7	Reaksi dislokasi sisi dengan dislokasi sisi (a) Sebelum berpotongan ; (b) Sesudah berpotongan masih bisa bergerak pada bidang slip	13
Gambar 2.8	Reaksi dislokasi ulir dengan dislokasi ulir (a) Sebelum berpotongan ; (b) Sesudah berpotongan ; (c) Hasil reaksi tidak mudah bergerak.....	14
Gambar 2.9	Perubahan sifat mekanik akibat pengerjaan dingin	14
Gambar 2.10	Pengaruh deformasi terhadap besar butir setelah proses pemanasan.....	15
Gambar 2.11	Perubahan sifat mekanik akibat pengerjaan dingin	16
Gambar 2.12	Proses <i>deep drawing</i>	16
Gambar 2.13	<i>Springback</i>	19
Gambar 2.14	Kondisi Pada Radius <i>Die</i> a) Definisi Parameter ; b) Distribusi Tegangan dan Regangan.....	20
Gambar 3.1	Ukuran benda kerja.....	22
Gambar 3.2	Instalasi proses <i>deep drawing</i>	23
Gambar 3.3.	Dapur pemanas.....	23
Gambar 3.4.	Mesin Press	24
Gambar 3.5.	<i>Micro caliper</i>	24
Gambar 3.6	Diagram alir penelitian	26
Gambar 3.7.	Parameter Pengukuran Sudut <i>Springback</i>	30
Gambar 3.8.	Parameter Pengukuran Perubahan Ketebalan Pelat	30
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara <i>Blankholder Force</i> dengan Sudut <i>Springback</i>	41
Gambar 4.2	Distribusi Tegangan - Regangan pada daerah radius <i>die</i>	41
Gambar 4.3	Grafik Hubungan antara <i>Blankholder Force</i> dengan Perubahan Ketebalan Pelat.....	43



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Tabel Distribusi nilai F dengan $\alpha = 5 \%$
Lampiran 2	Data Hasil Pengujian Komposisi Unsur Penyusun Material Aluminium Paduan
Lampiran 3	<i>Spectra</i> Hasil Pengujian Komposisi Unsur Penyusun Material Aluminium Paduan



RINGKASAN

NANANG DWI PRASETIYO, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, September 2009, *Pengaruh Blankholder Force Terhadap Springback Dan Ketebalan Pelat Bentuk U Hasil Proses Deep Drawing Pada Annealed Aluminium Paduan*, Dosen Pembimbing : Ir. Abdul Hadi Djaelani dan Ir. Ari Wahjudi, MT.

Pada proses pembentukan, khususnya *deep drawing* salah satu fenomena yang terjadi pada hasil akhir produk adalah *springback* dan perubahan ketebalan pelat. Faktor yang mempengaruhi *springback* dan perubahan ketebalan pelat pada produk yang dihasilkan dari proses *deep drawing* ini diantaranya adalah *blankholder force*, radius *punch* dan *die*, dan material yang digunakan.

Penelitian ini menggunakan bahan *Aluminium* paduan. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental nyata. Parameter dalam penelitian ini adalah *blankholder force* dengan variasi (0,5kN, 1kN, 1,5kN, 2kN, dan 2,5kN) sebagai variabel bebas, *springback* dan ketebalan pelat sebagai variabel terikat, dan radius *punch*, radius *die*, tebal material uji sebagai variabel terkontrol. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan perlakuan panas *annealing* pada spesimen terlebih dahulu, kemudian dilakukan proses *deep drawing*. Data yang diperoleh berupa sudut *springback* dan perubahan ketebalan pelat diolah dengan analisis varian satu arah digambarkan dalam bentuk grafik.

Dari hasil penelitian dan pembahasan didapatkan *springback* mengalami penurunan hingga *blankholder force* 2,5kN. *Springback* rata-rata terkecil dicapai pada *blankholder force* 2,5kN sebesar $1,92^{\circ}$ untuk θ_1 dan $1,33^{\circ}$ pada θ_2 . Sedangkan ketebalan pelat tidak mengalami perubahan yang signifikan dengan berbagai variasi *blankholder force*.

Kata kunci : *Deep drawing*, *blankholder force*, *springback*, ketebalan pelat.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium paduan adalah salah satu jenis material yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan produk dalam berbagai bidang industri, diantaranya otomotif, penerbangan dan produk rumah tangga. Salah satu proses produksi yang dilakukan untuk membuat produk itu adalah *sheet metal forming*, yaitu suatu proses yang bertujuan agar pelat atau material mengalami deformasi plastis sehingga terbentuk komponen dari desain yang diinginkan (Imadudin, Effendy, 2005:31). *Sheet metal forming* adalah proses pembentukan yang efektif dikarenakan proses ini bisa menggantikan proses pengelasan dan pemesinan.

Akan tetapi dalam aplikasinya produk yang dihasilkan dari proses *sheet metal forming* ini tidak selamanya sesuai dengan apa yang diharapkan. Hal yang umum terjadi pada proses *sheet metal forming* adalah *springback*. *Springback* adalah kondisi elastik dimana benda akan membentuk sudut yang lebih besar dari bentuk yang diinginkan setelah beban dilepas (Marinov, 2004:31). *Springback* terjadi disebabkan beberapa faktor yaitu gaya dari *blankholder*, dan radius *punch* dan *die*, (Chirita, 2003:1). Selain itu, yang umum terjadi adalah perubahan ketebalan pelat pada akhir proses. Ketebalan pelat yang terlalu besar pada akhir proses *deep drawing* akan mempengaruhi kualitas produk yang dibuat.

Ayed, *et.al* (2005) melakukan penelitian untuk mencari *blankholder force* yang optimal untuk mendapatkan produk yang bebas cacat dan kerutan. Pada penelitian ini Lanour Ben Ayed, *et.al* menggunakan *software Abaqus Explicit* dengan objek yang diteliti adalah *front door panel*. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa untuk mendapatkan produk yang bebas cacat dan kerutan harus mengontrol tegangan yang terjadi, salah satunya dengan mengontrol *blankholder force*. Sedangkan Chirita (2003) meneliti tentang pengaruh dari *blankholder force* terhadap *springback* dari pelat aluminium alloy AA6061 dengan bentuk U. Variasi *blankholder force* yang digunakan dibatasi sampai 45 kN, karena pembebanan di atas nilai tersebut menyebabkan material akan rusak. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa semakin besar *blankholder force* maka nilai *springback* akan semakin kecil.

Proses *annealing* pada aluminium akan berpengaruh pada sifat mekaniknya, yaitu keuletan yang meningkat, kekuatan tarik menurun dan meningkatkan sifat mampu

mesin. Oleh karena itu perlu diketahui apakah perlakuan panas sebelum proses *deep drawing* mempunyai pengaruh terhadap nilai *springback* dan ketebalan pelat dari produk, selain variasi *blankholder force*. Maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh pemanasan dan *blankholder force* terhadap *springback* dan ketebalan pelat dari hasil proses *deep drawing*. Dari penelitian ini nantinya diharapkan dapat menghasilkan data yang bisa digunakan untuk mengoptimalkan proses produksi khususnya proses *deep drawing*, sehingga proses produksi bisa berlangsung efektif dan efisien.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut: Bagaimanakah pengaruh *blankholder force* terhadap *springback* dan perubahan ketebalan pelat bentuk U hasil proses *deep drawing* pada *annealed* aluminium paduan?

1.3 Batasan Masalah

Agar dalam menganalisa pembahasan menjadi lebih spesifik dan terarah maka dalam penelitian ini perlu adanya beberapa batasan masalah. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan aluminium paduan
2. Material dianggap homogen dan isentropik
3. Pemanasan dianggap merata
4. Tidak membahas perubahan struktur dari material
5. Pengaruh yang diamati hanya akibat *blankholder force*
6. *Dies clearance* yang digunakan 6.6 mm
7. Koefisien gesek adalah 0.61
8. Gaya *punch* sebesar 7 kN

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui besarnya pengaruh *blankholder force* terhadap *springback* dan ketebalan pelat hasil proses *deep drawing* pada *annealed* aluminium paduan

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai kontribusi terhadap perkembangan teknologi pembentukan logam, khususnya *sheet metal forming*
2. Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh yang terjadi pada proses *sheet metal forming*



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aluminium

Aluminium ditemukan pada tahun 1809 oleh Sir Humphrey Davy dan sampai saat ini penggunaannya menempati urutan kedua setelah besi dan baja (Surdia, 1985:129). Aluminium merupakan material yang ringan, kuat dan tahan korosi, selain itu juga mempunyai kemampuan hantaran listrik yang baik. Untuk meningkatkan kemampuan mekaniknya aluminium dipadukan dengan beberapa unsur seperti Cu, Mg, Si, Mn, dan Zn. Material ini digunakan dalam berbagai bidang diantaranya peralatan rumah tangga, industri pesawat terbang, mobil, kapal laut dan konstruksi.

2.2. Klasifikasi Aluminium

Paduan aluminium diklasifikasi dalam berbagai standar oleh beberapa negara di dunia. Tetapi saat ini klasifikasi yang digunakan dan sempurna adalah standar Aluminium Association (AA) di America (Surdia, 1986:135). Standar AA menggunakan penandaan dengan 4 angka, yaitu angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur tambahannya. Untuk klasifikasi aluminium *alloy* dengan standar AA dengan unsur paduannya dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1. Klasifikasi Aluminium *Alloy* berdasarkan AA

Alloy Numbering Designation	Major Alloying Element
1XXX	Pure Aluminum (99% and Greater)
2XXX	Copper
3XXX	Manganese
4XXX	Silicon
5XXX	Magnesium
6XXX	Magnesium and Silicon
7XXX	Zinc

Sumber: McMaster-Carr, 2002 :1

1. Al Murni (1XXX)

Aluminium jenis ini mempunyai kandungan aluminium di atas 99%. Merupakan jenis aluminium *nonheat-treatable*. Aluminium jenis ini selain baik dalam hal tahan karat, konduktor panas dan listrik, juga memiliki sifat mampu las dan mampu potong yang baik pula. Akan tetapi mempunyai kekuatan yang rendah.

2. Al – Cu (2XXX)

Paduan yang *heat treatable*. Cu berguna untuk meningkatkan kekerasan dari aluminium. Daya tahan korosinya rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan lainnya. Sifat mampu lasnya juga kurang baik, karena itu jenis paduan ini biasanya digunakan pada konstruksi keeling dan konstruksi pesawat. Paduan ini yang terkenal seri 2017 dikenal dengan nama duralumin dan seri 2024 super duralumin

3. Al – Mn (3XXX)

Paduan dalam seri ini termasuk dalam *nonheat-treatable*. Mn mempunyai fungsi untuk meningkatkan sifat tahan korosi dari aluminium. Untuk menaikkan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Mempunyai kelebihan mudah dibentuk dan weldability-nya baik (mampu las). Banyak digunakan untuk pipa, tangki minyak.

4. Al – Si (4XXX)

Paduan seri ini termasuk *nonheat-treatable*. Si dapat menurunkan temperature leleh dari aluminium dan meningkatkan sifat mampu alir. Paduan jenis ini banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan aluminium baik paduan cor maupun paduan tempa.

5. Al – Mg (5XXX)

Termasuk golongan *nonheat-treatable*. Mg berguna untuk meningkatkan sifat mampu bentuk dan mampu las dari aluminium. Selain itu juga dapat meningkatkan sifat tahan korosi. Banyak digunakan untuk konstruksi umum juga untuk tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6. Al – Mg – Si (6XXX)

Termasuk paduan *heat treatable*. Magnesium dan silicon membentuk senyawa Mg_2Si (magnesium silisida) yang memberikan kekuatan tinggi pada paduan ini setelah proses *heat treatment*. Memiliki sifat tahan korosi sangat baik daripada *heat treatable* aluminium lainnya. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas las yang timbul.

7. Al – Zn (7XXX)

Aluminium paduan yang *heat treatable*. Biasanya dalam paduan pokok Al – Zn ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tariknya tinggi, akan tetapi sifat mampu las dan tahan korosinya kurang baik. Dalam waktu akhir ini paduan Al – Mg – Zn banyak digunakan dalam konstruksi las karena jenis ini mempunyai sifat mampu las dan daya tahan korosi yang lebih baik daripada paduan dasar AL – Zn.

2.3. Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas secara umum didefinisikan sebagai serangkaian perlakuan yang meliputi pemanasan logam pada temperatur tertentu, penahanan temperatur pemanasan, dan pendinginan dengan media tertentu yang semuanya dilakukan secara terkontrol dengan tujuan untuk mendapatkan perubahan sifat, khususnya sifat mekanik dari suatu material.

Tujuan dari masing-masing proses adalah :

- *Heating* (pemanasan)

Memanaskan spesimen pada suhu tertentu supaya terjadi perubahan struktur pada atom-atomnya.

- *Holding* (penahanan)

Menahan spesimen pada suhu tertentu sampai pada waktu tertentu dengan tujuan memberi kesempatan agar suhunya merata.

- *Cooling* (pendinginan)

Menurunkan suhu dengan kecepatan pendinginan melalui suatu media tertentu agar didapatkan struktur dan sifat-sifat yang diinginkan.

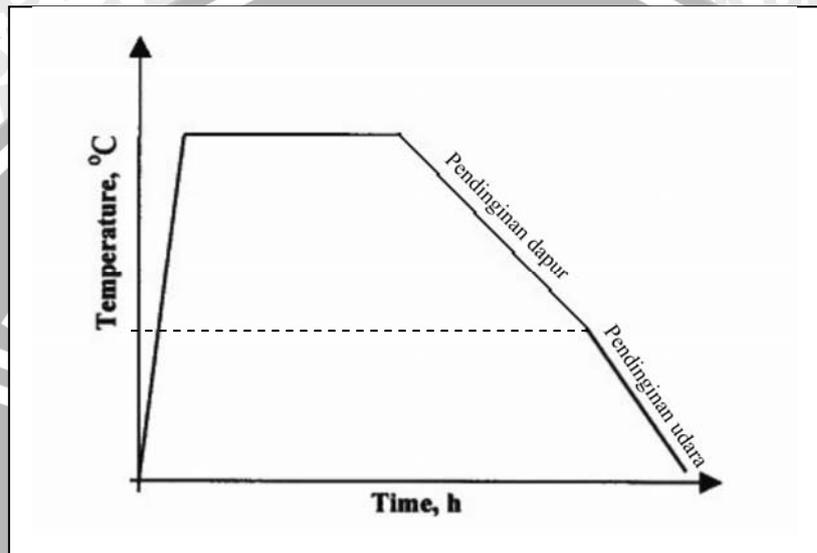
Annealing adalah salah satu dari proses perlakuan panas yang bertujuan untuk melunakkan material, meningkatkan keuletannya, mengurangi tegangan dalam, menghaluskan ukuran butiran, dan meningkatkan sifat mampu mesin. Prosesnya dengan memanaskan material sampai suhu tertentu, lalu ditahan beberapa saat pada temperatur tersebut selama beberapa waktu kemudian didinginkan secara perlahan dalam dapur pemanas.

Distorsi, dislokasi dalam struktur material yang dihasilkan dari suatu pengerjaan dingin pada Aluminium dengan kadar kemurnian yang rendah dan Aluminium paduan komersil yang mengalami kondisi tersebut diatas, dapat diubah hanya dengan perlakuan panas *Annealing* pada temperatur tertentu. Struktur dalam paduan ini berubah pada beberapa properti yang disebabkan oleh pengerjaan dingin.

Annealing juga digunakan pada paduan Aluminium yang *heat treatable* maupun yang *non-heat treatable* untuk meningkatkan keuletan dengan sedikit penurunan pada kekuatannya. Dalam *Annealing* penting untuk memastikan bahwa suhu yang diperoleh pada semua bagian adalah sama dan merata. Suhu maksimum dari *Annealing* perlu untuk dikontrol secara hati-hati.

Full Annealing menghasilkan material yang paling lunak, paling ulet, dan paling mudah dikerjakan baik untuk paduan tempa *non-heat treatable* maupun yang *heat*

treatable dan yang dihasilkan dari proses ini diberi simbol "O". Untuk aluminium paduan baik yang *non-heat treatable* maupun yang *heat treatable*, pengurangan dari efek pengerasan pengerjaan dingin dapat dilakukan dengan memanaskan pada suhu dari 260 – 440 °C. Selama proses *Annealing* berlangsung, kecepatan pelunakan sangat bergantung pada suhu, dan waktu yang diperlukan untuk melunakkan material dapat bervariasi dari beberapa jam pada suhu rendah sampai pada beberapa detik pada suhu tinggi. (ASM Metals Handbook Vol.4 : 1936)



Gambar 2.1 Diagram Proses *Annealing*

Jenis lain dari *annealing* termasuk diantaranya : *stress-relief annealing*, yang digunakan untuk mengurangi efek pengerasan regangan dari pengerjaan dingin pada paduan aluminium tempa ; *partial annealing (recovery annealing)* dilakukan pada paduan Aluminium tempa yang *non-heat treatable* untuk mendapatkan sifat mekanik yang sedang, dan rekristalisasi. (Howard, Robert D. 2007)

Partial annealing (recovery annealing) dilakukan pada pengerjaan dingin paduan Aluminium tempa yang *non-heat treatable* untuk mendapatkan sifat mekanik yang sedang (*H2-type tempers*). Suhu yang digunakan dibawah suhu rekristalisasi. Sifat mekanik yaitu *bendability* dan *formability* dari paduan yang diannealing dengan proses ini juga lebih meningkat (ASM Metals Handbook Vol.4). Pemanasan pada *stress-relief annealing* dilakukan pada suhu sampai 345°C, atau sampai $400 \pm 8^\circ\text{C}$ untuk paduan seri 3003, dan pendinginannya dilakukan pada suhu kamar. Waktu yang diperlukan untuk holding juga tidak terlalu lama. (ASM Metals Handbook Vol.4).

2.4. Klasifikasi Proses Pembentukan

Prinsip dasar dari proses pembentukan logam adalah melakukan perubahan bentuk pada benda kerja dengan cara memberikan gaya luar sehingga terjadi deformasi plastis. Proses pembentukan logam memerlukan pengklasifikasian untuk memudahkan dalam melakukan pengakajian. Pengklasifikasian proses pembentukan logam dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi Proses Pembentukan Logam

Klasifikasi	Proses
Berdasarkan daerah temperatur pengerjaan	<ul style="list-style-type: none"> - pengerjaan panas - pengerjaan dingin
Berdasarkan jenis gaya pembentukan	<ul style="list-style-type: none"> - pembentukan dengan tekanan <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>forging</i> 2. <i>rolling</i> 3. <i>extruding</i> - pembentukan dengan tekanan dan tarikan <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>wire drwing</i> 2. <i>tube drawing</i> 3. <i>deep drawing</i> - pembentukan dengan tarikan <ul style="list-style-type: none"> <i>stretch forming</i> - pembentukan dengan tekukan <ul style="list-style-type: none"> <i>bending</i>
Berdasarkan bentuk benda kerja	<ul style="list-style-type: none"> - pembentukan benda kerja pejal - pembentukan benda kerja pelat
Berdasarkan tahapan produk	<ul style="list-style-type: none"> - proses pembentukan primer - proses pembentukan sekunder

Sumber: Siswosuwarno, 1985 :5

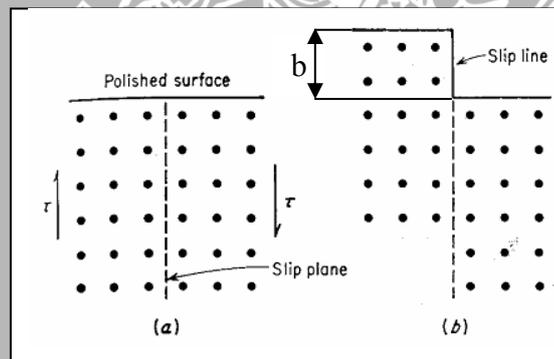
2.4.1. Proses Pengerjaan Dingin

Proses pengerjaan dingin adalah proses yang dilakukan pada daerah temperatur di bawah temperatur rekristalisasi. Temperatur di bawah temperatur rekristalisasi ini disebut daerah temperatur rendah. Pada kondisi ini logam yang dideformasi mengalami pengerasan regangan (*strain-hardening*). Untuk benda kerja dengan bentuk pelat, proses deformasi yang dilakukan hanyalah dengan proses pengerjaan dingin. Hal ini dikarenakan apabila pelat mengalami proses pembentukan, misalnya pengerolan, temperturnya akan cepat turun.

2.5 Mekanisme Deformasi

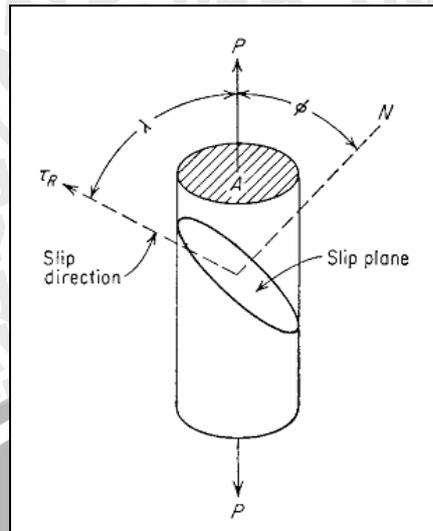
Secara umum deformasi adalah perubahan bentuk. Perubahan yang terjadi dapat dibedakan menjadi deformasi elastis dan deformasi plastis. Kedua perubahan bentuk ini disebabkan bergesernya kedudukan atom – atom dari tempat semula. Pada deformasi elastis adanya tegangan membuat atom – atom akan bergeser ke tempat kedudukan yang baru, dan akan kembali ke tempat kedudukan semula apabila tegangan itu ditiadakan. Jarak pergeseran atom pada deformasi elastis relatif kecil.

Atom – atom pada deformasi plastis, akan bergeser menempati tempat kedudukan yang baru dan tidak akan kembali ke tempat semula meskipun beban dihilangkan. Atom ini akan stabil berada di tempat yang baru dikarenakan tempat yang baru itu adalah posisi atom pada sel satuannya. Pada gambar 2.2 terlihat atom bergeser sebesar b (satu satuan kisi). Model pergeseran atom ini disebut dengan *slip*. Prinsip terjadinya perubahan bentuk pada kristal tunggal yang diberi beban tarik dan juga bidang slip serta arah slipnya ditunjukkan pada gambar 2.3. Bentuk dan ukuran sel satuan logam yang telah mengalami slip adalah tetap.



Gambar 2.2 Pergeseran atom di daerah plastis (*slip*)

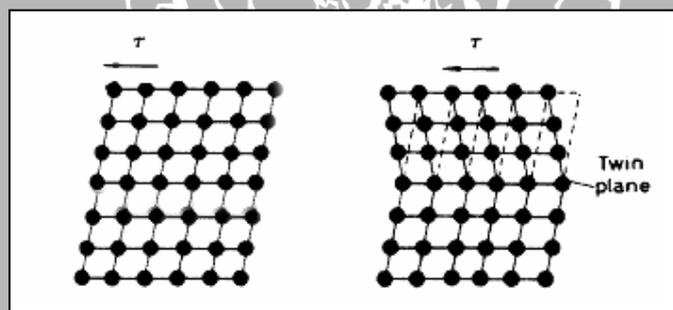
Sumber: Dieter, 1988 :115



Gambar 2.3 Geometri *slip* pada kristal tunggal yang ditarik

Sumber: Dieter, 1988 :115

Deformasi dapat pula disebabkan oleh mekanisme kembaran (*twinning*). Secara skematis terlihat pada gambar 2.4. Dikarenakan adanya tegangan geser maka sederetan bidang atom akan berpindah tempat. Tempat kedudukan atom – atom yang baru adalah simetris terhadap kedudukannya yang lama. Bidang simetri ini disebut bidang kembaran (*twin plane*).



Gambar 2.4 Pergeseran atom pada gerakan kembaran (*twinning*)

Sumber: Smallman, 1999 :203

2.6 Pengertian Deformasi Elastis dan Plastis

Deformasi elastis adalah perubahan bentuk yang terjadi apabila ada gaya yang bekerja pada material dan akan hilang jika gaya itu ditiadakan. Sehingga material akan kembali ke bentuk dan ukuran semula bila gaya ditiadakan. Sedangkan deformasi plastis adalah perubahan bentuk yang sifatnya permanen, walaupun beban gaya dihilangkan. Apabila material dibebani sampai daerah plastis, perubahan bentuk yang

terjadi adalah gabungan antara deformasi plastis dan deformasi elastis, dan saat beban dihilangkan maka perubahan bentuk yang ada hanya deformasi plastis saja.

Beban yang terjadi pada benda akan menghasilkan suatu tegangan. Karena ketegangan ini yang akhirnya menghasilkan suatu deformasi atau perubahan bentuk. Dan hasil dari tegangan itu adalah munculnya regangan. Persamaan untuk tegangan seperti berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2-1)$$

Dengan: σ = Tegangan (N/mm²)

F = Gaya yang diberikan (N)

A = Luas penampang (mm²)

Dan persamaan untuk regangan adalah:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2-2)$$

Dengan: ε = Regangan

ΔL = Perubahan panjang (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

Selain kepada gaya yang bekerja pada benda, tingkat perubahan panjang juga sangat tergantung dari sifat bahan itu sendiri, atau dari materi pembentuk benda tersebut. Dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\Delta L = \frac{1}{E} \frac{F}{A} L_0 \quad (2-3)$$

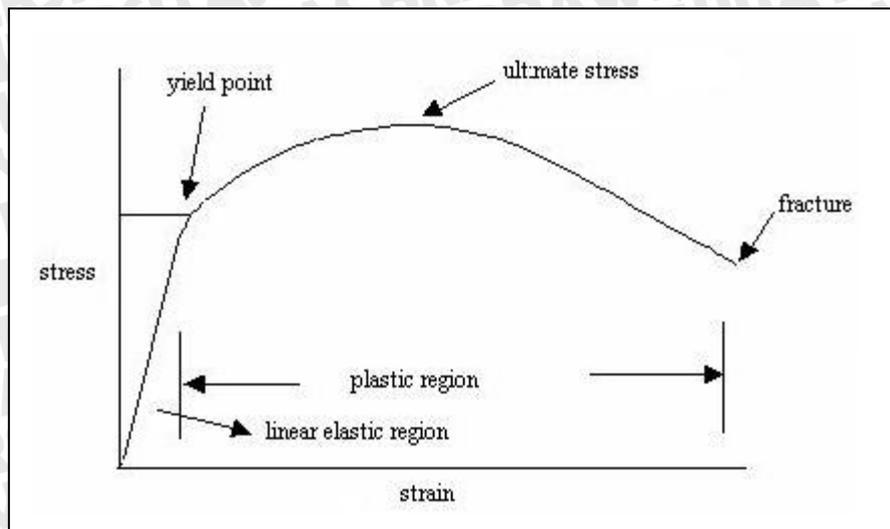
Dengan E = Modulus Young atau Modulus Elastisitas.

Dari persamaan (2-3) diatas maka hubungan tegangan dan regangan dapat diketahui seperti berikut:

$$E = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}, \text{ sehingga}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ atau } E = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} \quad (2-4)$$

Persamaan (2-4) disebut dengan Hukum *Hooke*.



Gambar 2.5 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan

Sumber: mmd.sdsmt.edu

2.7 Hubungan antara Deformasi dengan Teori Dislokasi

Dengan model logam sempurna tanpa cacat, kekuatan geser teoritis dapat dihitung dengan persamaan (Dieter, 1988:119)

$$\tau_m = \frac{G}{2\pi} \quad (2-5)$$

Dengan G = modulus geser

Modulus geser untuk logam adalah sekitar 20 – 150 GPa. Dengan persamaan di atas maka didapatkan kekuatan geser teoritis sekitar 3 – 30 GPa, sedangkan harga tegangan geser yang diperlukan untuk menghasilkan deformasi plastis adalah sekitar 0,5 – 10 MPa. Kekuatan geser teoritis setidaknya 100 kali lebih besar daripada kekuatan geser yang diamati. Oleh sebab itu maka dapat disimpulkan bahwa terjadi suatu cacat (dislokasi) pada logam yang mengalami tegangan geser.

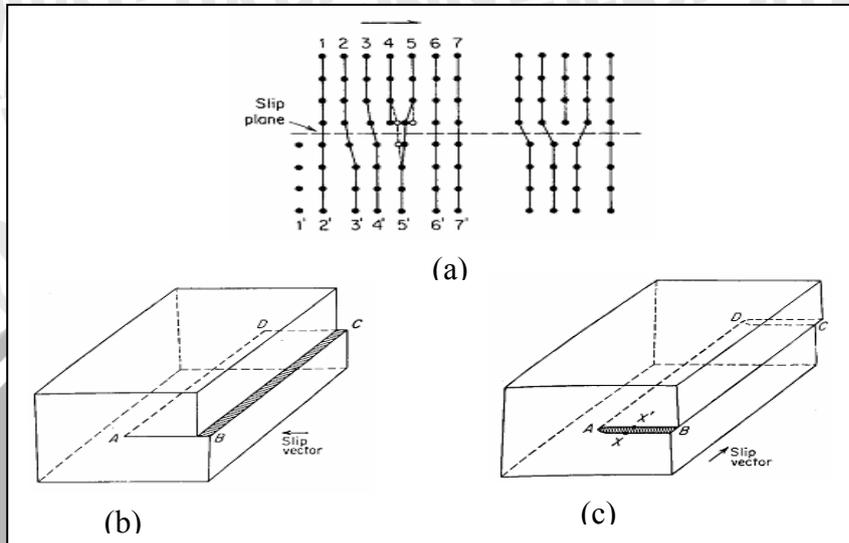
Karena terdapat perbedaan antara tegangan geser teoritis dan tegangan geser yang diamati maka dikembangkan teori dislokasi. Adanya dislokasi akan memudahkan terjadinya slip. Model gerakan dislokasi sisi pada bidang slip sebagai akibat dari tegangan geser dapat dilihat pada gambar 2.6 (a). Dislokasi yang mencapai titik luar diartikan mengalami deformasi, meskipun dalam skala kecil. Dislokasi dapat dibedakan menjadi dua jenis (Siswosuwarno, 1985:26) :

1. Dislokasi sisi

- garis dislokasi tegak lurus terhadap vektor slipnya (vektor Burger)
- arah gerakan dislokasi searah dengan vektor Burger

2. Dislokasi ulir

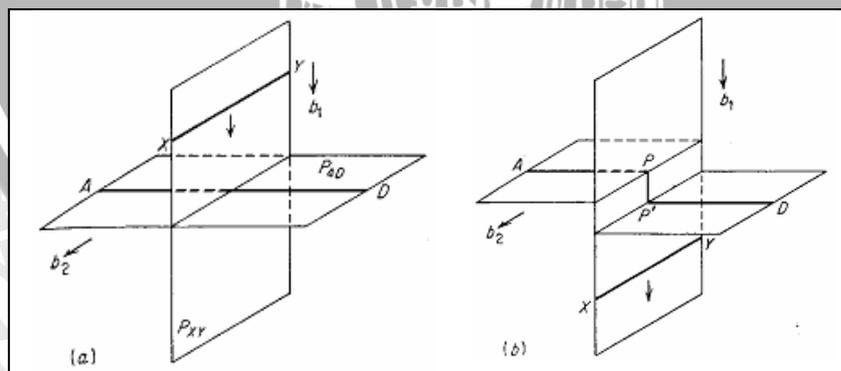
- garis dislokasi searah dengan vektor slipnya (vektor Burger)
- arah gerakan dislokasi tegak lurus dengan vektor Burger



Gambar 2.6 Gerakan Atom (a) Gerakan atom pada dislokasi dalam slip ; (b) Dislokasi sisi ; (c) Dislokasi ulir

Sumber: Siswosuwarno, 1985:27

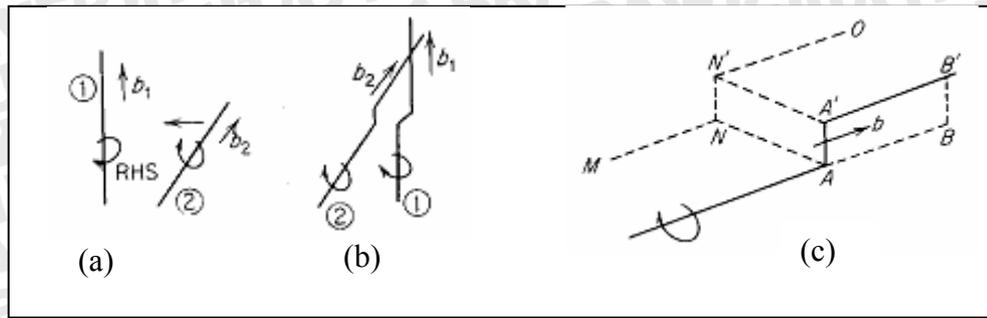
Pada logam yang mengalami proses *annealing*, kerapatan dislokasinya sekitar 10^5 sampai 10^6 per cm^2 (Siswosuwarno, 1985:29) Logam yang lunak setelah mengalami proses *annealing*, dideformasi sehingga dislokasinya bergerak ke permukaan luar. Dalam dislokasi ini terjadi reaksi – reaksi, seperti garis dislokasi yang berpotongan. Reaksi ini ada yang mudah bergerak, ada yang tidak mudah bergerak. Reaksi – reaksi ini dapat dilihat pada gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7 Reaksi dislokasi sisi dengan dislokasi sisi

- (a) Sebelum berpotongan ;
- (b) Sesudah berpotongan masih bisa bergerak pada bidang slip

Sumber: Siswosuwarno, 1985:30



Gambar 2.8 Reaksi dislokasi ulir dengan dislokasi ulir

(a) Sebelum berpotongan ;

(b) Sesudah berpotongan

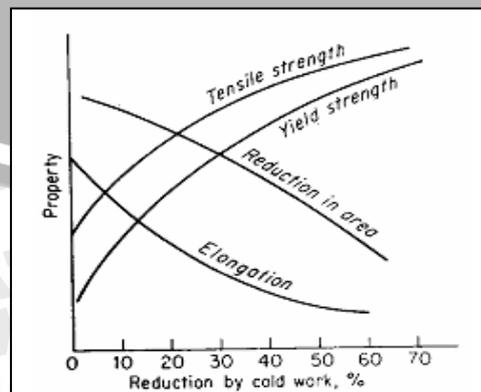
(c) Hasil reaksi tidak mudah bergerak

Sumber: Siswosuwarno, 1985:30

Perpotongan dua dislokasi sisi dengan vektor Burgers, membuat sudut siku – siku seperti terlihat pada gambar 2.7. Perpotongan ini membuat simpangan (*jog*) PP' yang memotong dislokasi AD . Simpangan yang disebabkan oleh perpotongan dua dislokasi sisi mampu untuk bergerak dengan mudah dikarenakan simpangan tersebut berada pada bidang slip dislokasi asli. Sedangkan perpotongan dua dislokasi ulir menghasilkan simpangan orientasi sisi di kedua dislokasi ulir (gambar 2.8b). Hal ini yang membuat dislokasi ulir sulit untuk bergerak.

2.8 Pengaruh Pengerjaan Dingin Terhadap Sifat Logam

Deformasi yang terjadi pada temperatur di bawah temperatur rekristalisasi akan menyebabkan naiknya kekuatan dan kekerasan tetapi menurunkan keuletan. Perubahan sifat itu dapat dilihat pada gambar 2.9. Kenaikan kekuatan setiap jenis logam dan paduannya sebagai akibat pengerjaan dingin sangat bergantung pada kenaikan kerapatan dislokasinya.



Gambar 2.9 Perubahan sifat mekanik akibat pengerjaan dingin

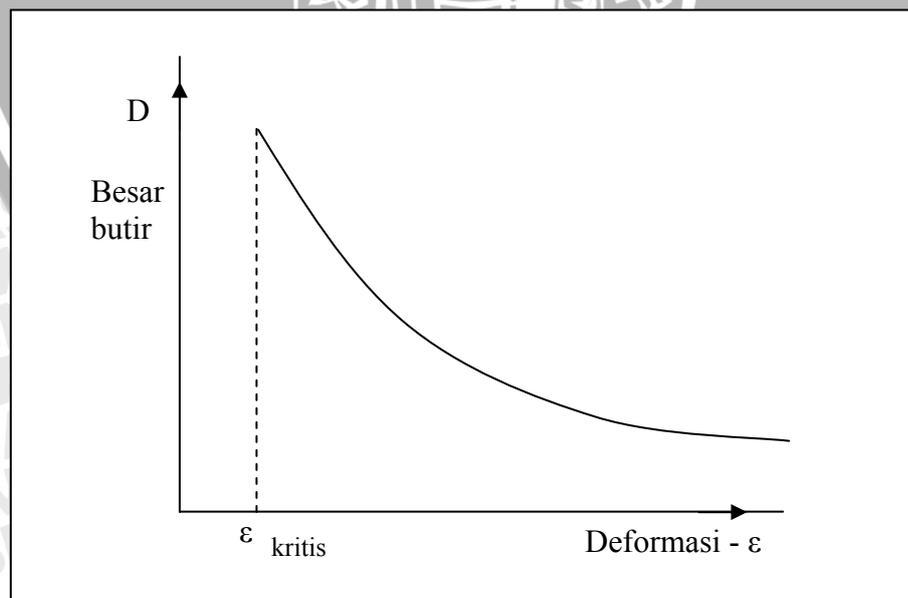
Sumber: Dieter, 1988 :232

2.9 Pengaruh Deformasi dan Pemanasan Terhadap Besar Butir

Deformasi yang semakin besar membuat energi dalam akan bertambah tinggi. Dan nukleasi butir – butir baru dimulai pada tempat yang tingkat energinya tinggi. Dapat dikatakan bahwa logam yang besar deformasinya akan mempunyai inti baru bila dipanaskan sampai temperatur rekristalisasi. Inti itu akan tumbuh dan rekristalisasi akan sempurna bila butir – butir baru telah bertemu satu dengan yang lain.

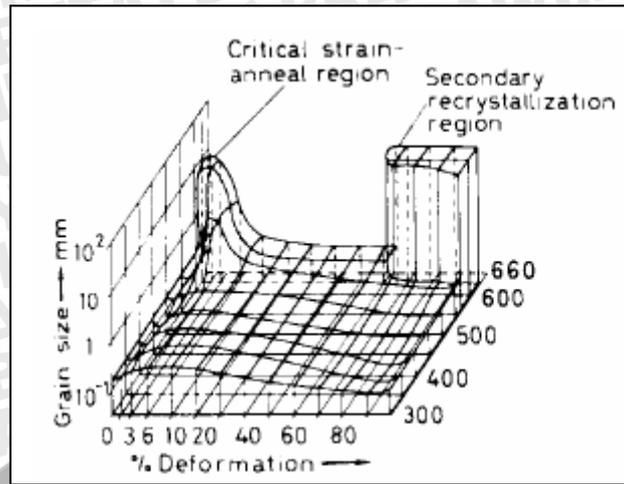
Rekristalisasi logam yang telah mengalami deformasi akan menghasilkan butir yang semakin halus bila deformasinya semakin besar. Demikian pula sebaliknya, deformasi yang kecil akan menghasilkan butir yang kasar. Secara skematis dapat dilihat pada gambar 2.10. Pada gambar terlihat adanya harga regangan minimum yang dapat menimbulkan rekristalisasi. Bila deformasinya sangat kecil maka energi dalamnya juga akan kecil sehingga tidak menimbulkan perubahan besar butir meskipun diberi masukan energi aktivasi.

Gambar 2.11 menunjukkan pengaruh regangan dan temperatur pemanasan terhadap besar butir pada aluminium. Terlihat bahwa adanya daerah yang rekristalisasinya menghasilkan butir yang kasar, yaitu pada keadaan dengan deformasi yang besar dan dipanaskan pada temperatur yang tinggi. Keadaan ini disebut *secondary recrystallization* (rekristalisasi sekunder). Pada keadaan rekristalisasi sekunder terjadi penggantian butir – butir yang halus dengan butir – butir yang kasar, yang mengesankan adanya pertumbuhan atau pengkasaran butir.



Gambar 2.10 Pengaruh deformasi terhadap besar butir setelah proses pemanasan

Sumber: Siswosuwarno, 1985 : 41

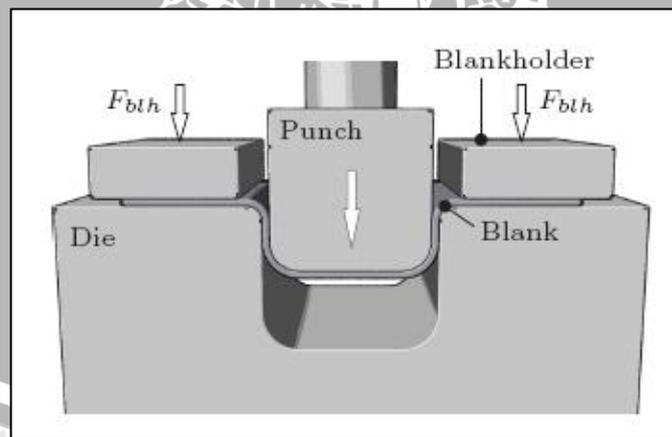


Gambar 2.11 Perubahan sifat mekanik akibat pengerjaan dingin

Sumber: Smallman, 1999 :244

2.10 Deep Drawing

Deep drawing atau penarikan dalam adalah proses pembentukan logam dimana mempunyai bentuk akhir berupa silinder dan mempunyai kedalaman tertentu. Dalam satu unit *die set* terdapat komponen utama yaitu, *punch*, *blankholder* dan *die*. Prosesnya seperti terlihat pada gambar 2.12. Proses *deep drawing* dilakukan dengan menekan material benda kerja yang berupa lembaran logam yang disebut dengan *blank* sehingga terjadi peregangan mengikuti bentuk *die*, bentuk akhir ditentukan oleh *punch* sebagai penekan dan *die* sebagai penahan benda kerja saat di tekan oleh *punch*.



Gambar 2.12 Proses *deep drawing*

Sumber: Burchitz, 2008 : 22

2.10.1 Analisa Variabel *Deep Drawing*

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

1. *Radius Punch*

Radius *punch* disesuaikan dengan besarnya radius *die*. Radius *punch* yang tajam akan memperbesar gaya bending yang dibutuhkan untuk proses *drawing*.

2. *Radius Die*

Radius *die* disesuaikan dengan produk yang pada nantinya akan dihasilkan. Radius *die* tergantung pada ukuran benda kerja dan ketebalan *blank*. Sedangkan semakin besar radius *die* maka akan menurunkan beban *drawing*. Tetapi radius *die* yang besar berakibat berkurangnya kontak antara kontak antara *blankholder* dan *flange* sehingga memungkinkan terjadinya kerutan (*wrinkle*).

3. *Gaya Blankholder*

Pada daerah *flange* terjadi tegangan tekan pada arah melintang, yang dinamakan tegangan tangensial. Tegangan ini dapat menimbulkan kerutan (*wrinkle*). Kerutan ini dapat dihindari dengan menggunakan pencekam atau *blankholder*. Besar gaya *blankholder* akan mempengaruhi besar gaya *drawing* yang berakibat terhadap hasil produk.

Gaya *blankholder* yang tinggi akan meningkatkan gesekan yang terjadi, bila gaya *blankholder* terlalu tinggi dapat mengakibatkan aliran material tidak sempurna sehingga produk dapat mengalami cacat. Dan pada umumnya cacat yang terjadi berupa sobekan pada *flange*.

4. *Drawing Ratio*

Drawing ratio (β) memiliki harga dimana besar maksimal adalah antara 1,8 – 2 (tergantung banyak *draw*). *Drawing ratio* juga dapat dinyatakan sebagai prosentase reduksi. Semakin besar harga prosentase reduksi maka gaya *drawing* juga semakin besar. Dengan demikian, harga prosentase reduksi akan mempengaruhi hasil produksi dan dengan harga prosentase reduksi yang tepat maka cacat produk dapat dihindarkan. Secara teoritis, prosentase reduksi maksimum untuk satu kali penekanan mendekati 50%. Untuk tujuan praktis baik menggunakan maksimal 40% pada penekanan pertama dan untuk penekanan selanjutnya dengan prosentase reduksi 20-25%.

5. *Strain Ratio*

Strain ratio adalah ketahanan lembaran logam untuk mengalami peregangan, bila lembaran memiliki perbandingan regangan yang tinggi maka kemungkinan terjadinya sobekan akan lebih kecil.

6. *Ukuran Blank*

Ukuran *blank* dari *drawing* merupakan variabel yang sangat penting dalam segi ekonomi, karena dapat meminimalkan ongkos produksi. Sedangkan dari segi proses, diameter *blank* yang besar akan memperbesar *drawing ratio* dan dapat menyebabkan retak.

7. *Limiting Drawing Ratio (LDR)*

Limiting drawing ratio adalah kemampuan pelat logam untuk didrawing tanpa mengalami sobekan.

8. *Die Clearance*

Die Clearance atau ukuran kelonggaran antara *punch* dan *die* adalah sangat penting sebab berkaitan dengan kemudahan aliran material selama proses *drawing*. Umumnya *die clearance* lebih besar daripada tebal *blank*, karena untuk menampung perubahan tebal dari *blank*. Apabila *die clearance* lebih kecil atau sama dengan tebal *blank* maka akan terjadi *ironing* yang berakibat naiknya gaya *drawing* sehingga kemungkinan untuk retak besar.

9. *Gaya Cracking*

Retak yang dapat terjadi pada saat proses maupun setelah terbentuknya dasar tabung. Bentuk pertama retak dinamakan *premature crack*, dan terjadi pada daerah radius dasar tabung. Sedangkan untuk bentuk kedua dinamakan *proper crack*, terjadi pada daerah sepanjang perpindahan gaya dari radius dasar tabung menuju dinding tabung. Bentuk lain dari retak dinamakan *optimal crack* yang terjadi pada saat gaya berpindah ke daerah deformasi.

2.11 Springback setelah *Deep Drawing*

Pada proses *sheet metal forming*, pelat akan ditekan untuk menghasilkan deformasi plastis, pada saat bending dihilangkan akan terjadi perubahan bentuk atau penyimpangan terhadap permukaan *die* yang digunakan untuk penekanan, hal ini disebabkan karena pelat memiliki sifat elastis sehingga sebagian deformasi akan sedikit kembali ke titik tertentu. Penyimpangan bentuk dan ukuran karena sifat elastis bahan ini

dikenal dengan istilah *springback*, atau regangan elastis sisa pada daerah *bending* ketika beban dihilangkan.

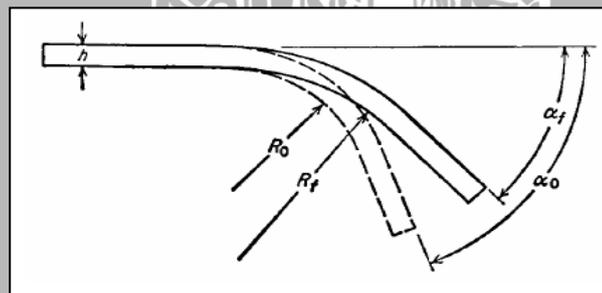
Springback akan semakin besar jika tegangan luluh (*yield*) semakin tinggi, atau modulus elastisitas lebih rendah dan regangan platisnya semakin besar. Untuk bahan dan regangan tertentu, *springback* akan bertambah besar dengan perbandingan antara dimensi lateral lembaran dan tebalnya.

Springback dapat terjadi pada semua proses pembentukan, tetapi pada pembengkokan paling mudah untuk diamati. Rasio *springback* dapat dihitung dengan rumus (Dieter, 1998:661):

$$K_s = \frac{\alpha_f}{\alpha_0} = \frac{R_0 + \frac{h}{2}}{R_f + \frac{h}{2}} \quad (2-6)$$

Dengan:

- K_s = rasio *springback*
- α_0 = sudut lengkungan sebelum beban ditiadakan (°)
- α_f = sudut lengkungan setelah beban ditiadakan (°)
- R_0 = jari-jari lengkungan sebelum beban ditiadakan (mm)
- R_f = jari-jari lengkungan setelah beban ditiadakan (mm)
- h = tebal pelat (mm)



Gambar 2.13 *Springback*

Sumber: Dieter, 1988 :662

Jari-jari lengkungan sebelum beban ditiadakan (R_0) lebih kecil dibandingkan dengan jari-jari lengkungan setelah beban ditiadakan (R_f). Namun kemampuan pembengkokan adalah sama antara sebelum dan sesudah pembengkokan. Pendekatan

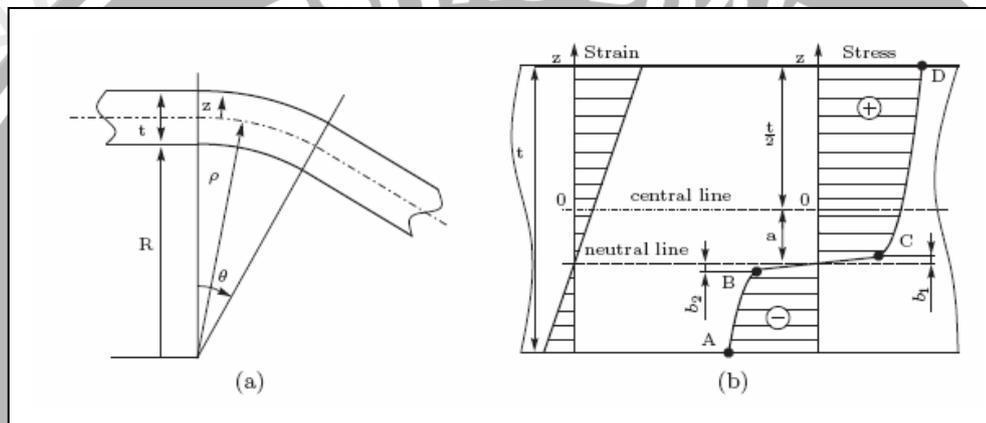
awal dari *springback* pada pembengkokan dapat dinyatakan dengan rumus (Dieter, 1998:661):

$$\frac{1}{R_f} = \frac{1}{R_0} - \frac{3 \sigma_y}{E \times h} \quad (2-7)$$

Dengan:

E = modulus elastisitas (N/mm²)

Pada daerah radius *die* akan terjadi distribusi tegangan regangan karena pengaruh beban bending. Kondisi distribusi tegangan regangan pada daerah radius *die* dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Kondisi Pada Radius *Die*

a) Definisi Parameter ; b) Distribusi Tegangan dan Regangan

Sumber: Burchitz, 2008 : 24

2.14 Hipotesa

Hipotesa yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Semakin besar gaya *blankholder* yang diberikan maka perubahan nilai *springback* akan semakin kecil dan akan mempunyai ketebalan yang lebih kecil pula.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental nyata dan pengkajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku dan jurnal dari internet yang bertujuan untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas (gaya *blankholder*) dengan variabel terikat (ketebalan pelat dan sudut *springback*). Diharapkan dari penelitian ini didapatkan data-data yang valid agar dapat menyimpulkan permasalahan yang dibahas.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a) Variabel bebas :
 - *Blankholder force* : 0,5 kN, 1 kN, 1,5 kN, 2 kN, dan 2,5 kN
- b) Variabel terikat :
 - Ketebalan pelat hasil *deep drawing*
 - *Springback* hasil *deep drawing*
- c) Variabel terkontrol:
 - Radius *punch*, Radius *die*, tebal material uji
 - Perlakuan *Annealing*, pemanasan suhu 300°C, *holding* 1 jam, pendinginan dapur dilanjutkan pendinginan udara

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan April 2009. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu di Laboratorium Pengujian Bahan, Laboratorium Proses Produksi, dan Laboratorium Otomasi Manufaktur Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

3.4 Spesimen dan Peralatan yang Digunakan

3.4.1 Spesimen yang digunakan

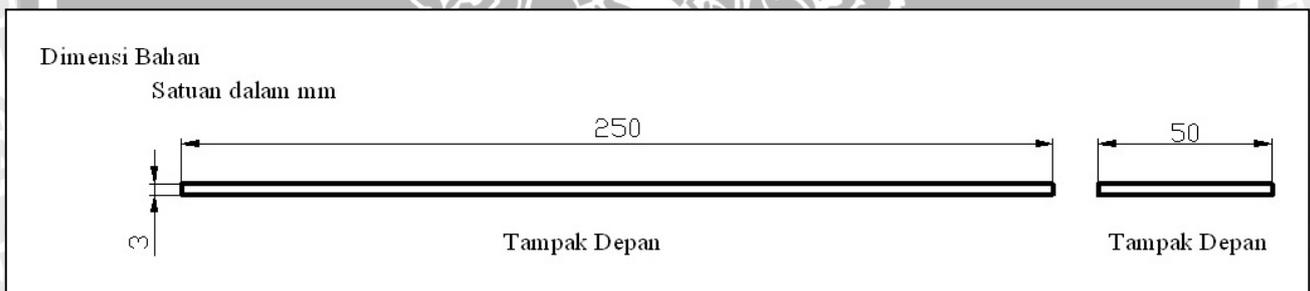
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Aluminium paduan dengan komposisi unsur kimia paduan sebagai berikut:

- Al (Aluminium) = 98,4 %
- P (Fosfor) = 0,27 %
- Ca (Kalsium) = 0,17 %

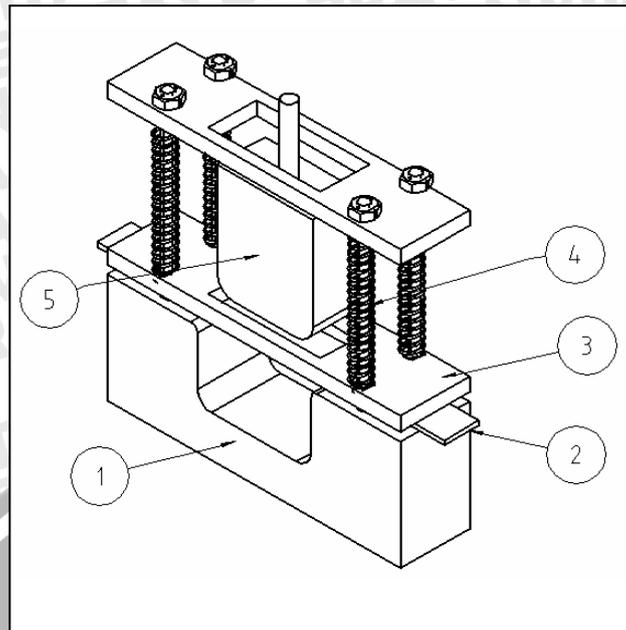
- Ti (Titanium) = 0,028 %
- Fe (Besi) = 0,815 %
- Ni (Nikel) = 0,015 %
- Cu (Tembaga) = 0,154 %
- Zn (Seng) = 0,013 %
- Ga (Galium) = 0,03 %
- Ba (Barium) = 0,03 %
- Yb (Itrbium) = 0,02 %
- Re (Renyum) = 0,004 %
- Os (Osmium) = 0,031 %

Ultimate Tensile Strength (σ_u) = 157 MPa

Bentuk dan dimensi benda kerja dapat dilihat pada gambar 3.1. Sedangkan instalasi proses *deep drawing* dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.1 Ukuran benda kerja



Gambar 3.2 Instalasi proses *deep drawing*

Keterangan gambar:

1. *Die*
2. Benda kerja
3. *Blankholder*
4. *Spring* (pegas)
5. *Punch*

3.4.2 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Dapur listrik

Dapur listrik digunakan untuk memanaskan benda kerja pada proses *annealing*.



Gambar 3.3. Dapur pemanas

2. Mesin Press

Merupakan alat bantu yang digunakan untuk memberikan tekanan pada *punch* pada waktu melakukan proses *deep drawing*.



Gambar 3.4. Mesin Press

3. Penggaris
4. Kertas milimeter
5. *Stopwatch*
6. *Micro caliper*

Merk : MITUTOYO
Jenis Ukuran : Metrik (mm) dan Inch
Resolusi : 0.0005" / 0.01 mm
Akurasi : ± 0.0010 " / ± 0.02 mm
Ukuran : 0 - 150mm / 0 - 6"



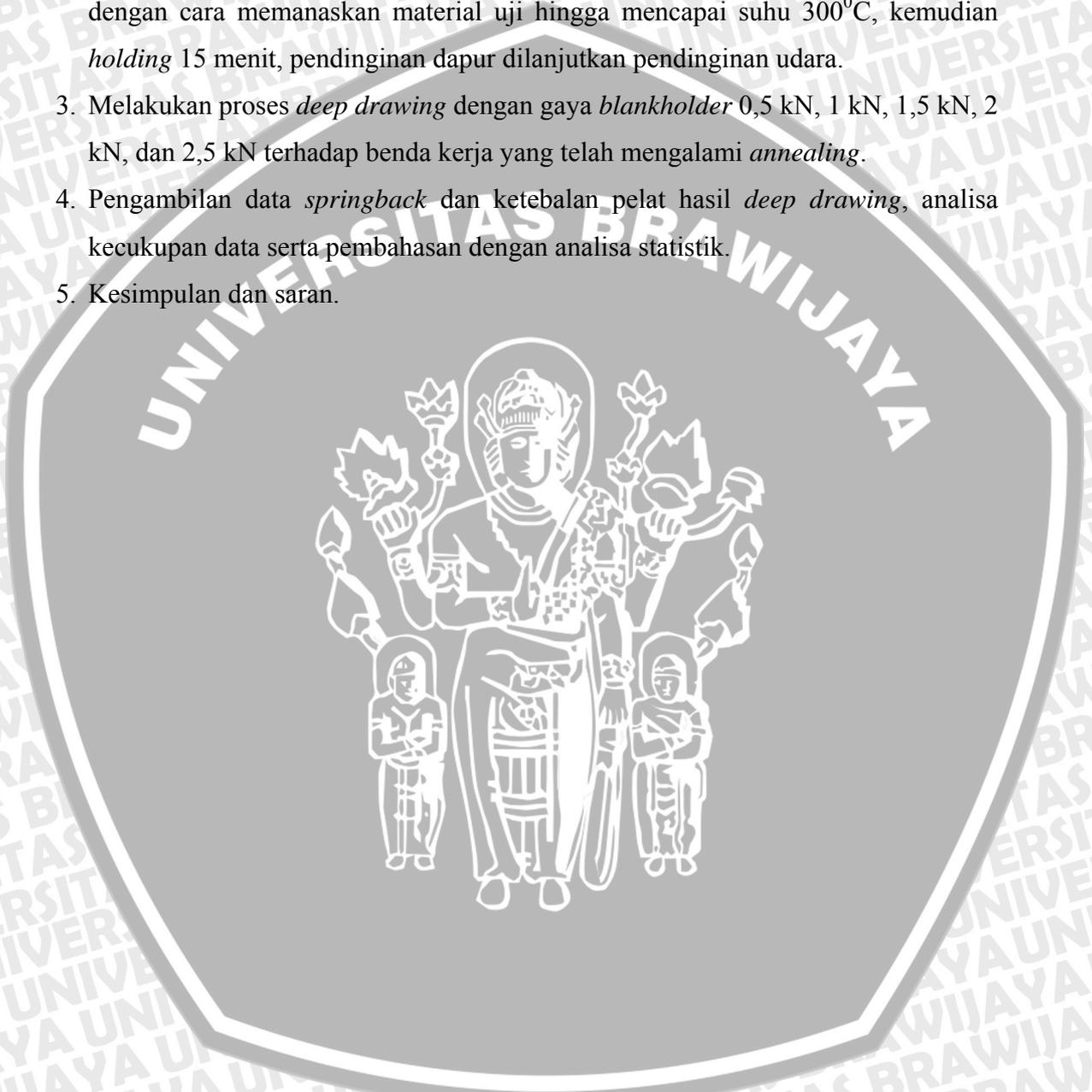
Gambar 3.5. *Micro caliper*

7. Berbagai alat keselamatan kerja

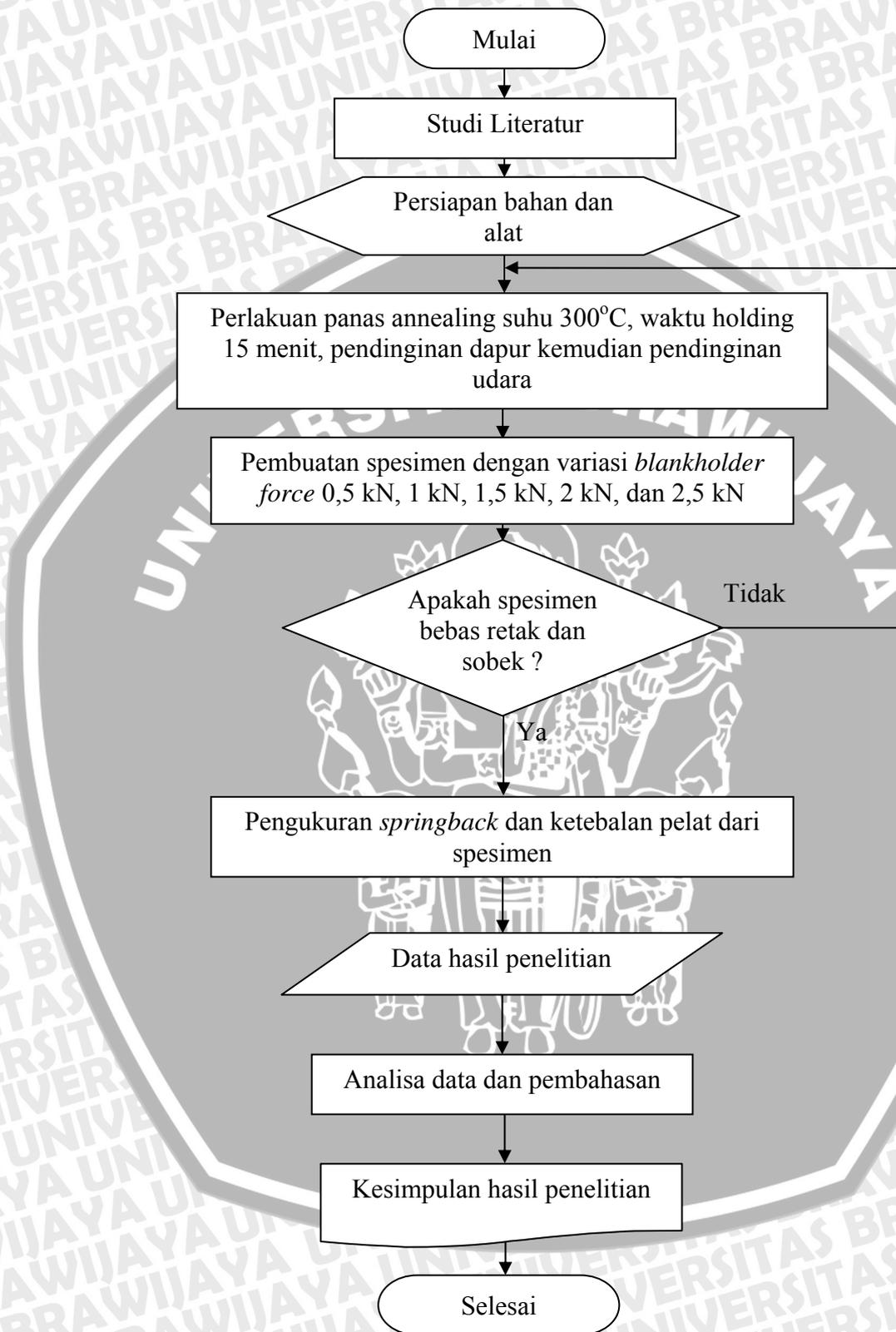
3.5 Prosedur Penelitian

Berdasar pada variable yang telah ditentukan, maka langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Pemotongan material uji dengan dimensi (panjang 250mm, lebar 50mm)
2. Melakukan proses *annealing* untuk material uji dengan perlakuan *annealing* dengan cara memanaskan material uji hingga mencapai suhu 300⁰C, kemudian *holding* 15 menit, pendinginan dapur dilanjutkan pendinginan udara.
3. Melakukan proses *deep drawing* dengan gaya *blankholder* 0,5 kN, 1 kN, 1,5 kN, 2 kN, dan 2,5 kN terhadap benda kerja yang telah mengalami *annealing*.
4. Pengambilan data *springback* dan ketebalan pelat hasil *deep drawing*, analisa kecukupan data serta pembahasan dengan analisa statistik.
5. Kesimpulan dan saran.



3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6 Diagram alir penelitian



3.7 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisis yang tepat sehingga didapat suatu analisis dan kesimpulan yang tepat.

Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisis data untuk memperoleh informasi tentang sesuatu hal yang benar. Oleh karena itu diperlukan ketelitian serta adanya sampel yang cukup mewakili populasi dari masalah yang akan diteliti.

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dengan analisis statistik dengan menggunakan analisis varian satu arah dan analisis regresi.

3.8 Analisis Statistik

- Data rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad \text{.....(3-1)}$$

- Standar Deviasi

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n-1}} \quad \text{.....(3-2)}$$

- Standar Deviasi Rata-Rata

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}} \quad \text{.....(3-3)}$$

- Interval penduga

$$\bar{x} - \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right] \quad \text{.....(3-4)}$$

3.9 Analisis Varian Satu Arah

Analisis varian satu arah digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh *blankholder force* terhadap *springback* dan ketebalan pelat hasil proses *deep drawing*. Harga variabel terikat dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$, dan μ_5 sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut :

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ (Perubahan *blankholder force* tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap *springback* dan ketebalan pelat hasil proses *deep drawing*)

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ (Perubahan *blankholder force* memberikan pengaruh yang nyata terhadap *springback* dan ketebalan pelat hasil proses *deep drawing*)

Pengamatan ditabelkan seperti Tabel 3.2 sebagai berikut :

Tabel 3.1 Rancangan Penulisan Data Penelitian

<i>Blankholder Force</i> (kN)	Hasil Pengujian			
	Pengulangan Data			Rata - rata
	1	2	3	
0,5	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	\bar{Y}_1
1	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	\bar{Y}_2
1,5	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	\bar{Y}_3
2	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	\bar{Y}_4
2,5	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	\bar{Y}_5

Berdasarkan pada tabel :

- Jumlah seluruh perlakuan = $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}$ (3-5)

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan = $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2$ (3-6)

- Faktor koreksi (fk)

$$fk = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{\sum ni} \dots\dots\dots(3-7)$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk \dots\dots\dots(3-8)$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - fk \dots\dots\dots(3-9)$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \dots\dots\dots(3-10)$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} \dots\dots\dots(3-11)$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{db} \dots\dots\dots(3-12)$$

- Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} \dots\dots\dots(3-13)$$

Setelah dilakukan perhitungan data, kemudian hasil perhitungan tersebut ditabelkan seperti pada Tabel 3.3 dibawah ini.

Tabel 3.2 Analisis Varian Satu Arah

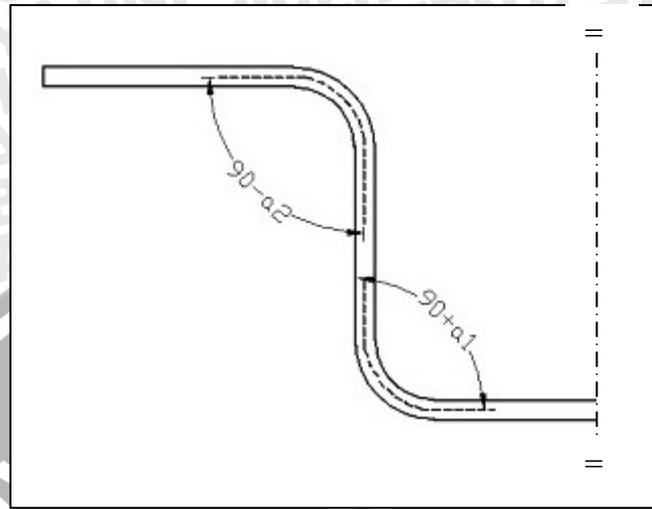
Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	JKP	KTP	F_{hitung}	$F(\alpha, k, db)$
Galat	k(n-1)	JKG	KTG	-	-
Total	nk-1	JKT	-	-	-

Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel}

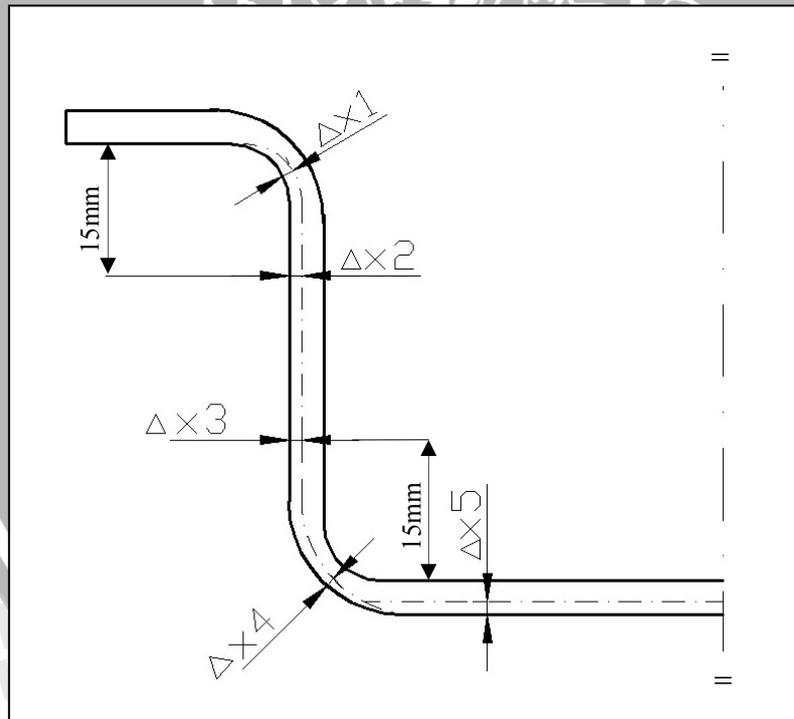
1. Jika $F_{hitung} > F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 ditolak, menyatakan bahwa ada perbedaan yang nyata antara *blankholder force* (kN) terhadap *springback* dan ketebalan pelat.
2. Jika $F_{hitung} < F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 diterima, menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang nyata antara *blankholder force* (kN) terhadap *springback* dan ketebalan pelat.

3.10 Parameter pengukuran

Parameter pengukuran *springback* dan perubahan ketebalan pelat dapat dilihat pada gambar 3.7 dan 3.8 di bawah ini.



Gambar 3.7. Parameter Pengukuran Sudut *Springback*



Gambar 3.8. Parameter Pengukuran Perubahan Ketebalan Pelat

**BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Hasil Pengujian *Springback*

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan data sudut *springback* yaitu seperti pada tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian *Springback*

Pengulangan Data	<i>Blankholder Force</i> (kN)									
	0,5		1		1,5		2		2,5	
	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
1	3,34	3,50	3,64	2,99	3,08	2,38	2,92	1,90	1,89	1,35
2	3,92	3,21	3,12	2,78	2,67	2,54	2,34	1,72	2,09	1,12
3	3,31	3,11	3,26	2,80	2,75	2,15	2,56	1,78	1,79	1,53
Rata - rata	3,52	3,27	3,34	2,86	2,83	2,36	2,61	1,80	1,92	1,33

4.1.2 Hasil Pengujian Ketebalan Pelat

Dari penelitian yang telah dilakukan untuk perubahan ketebalan pelat ditunjukkan pada tabel 4.2. Pengukuran untuk mencari nilai perubahan pelat digunakan *micro calliper*. Dalam pengambilan data untuk perubahan ketebalan pelat diambil 5 titik.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Ketebalan Pelat

Pengulangan Data	Blankholder Force (kN)																								
	0,5					1					1,5					2					2,5				
	Δx_1	Δx_2	Δx_3	Δx_4	Δx_5	Δx_1	Δx_2	Δx_3	Δx_4	Δx_5	Δx_1	Δx_2	Δx_3	Δx_4	Δx_5	Δx_1	Δx_2	Δx_3	Δx_4	Δx_5	Δx_1	Δx_2	Δx_3	Δx_4	Δx_5
1	0,51	0,43	0,47	0,49	0,41	0,51	0,41	0,49	0,47	0,4	0,52	0,43	0,44	0,55	0,44	0,53	0,44	0,43	0,52	0,41	0,6	0,45	0,46	0,55	0,46
2	0,48	0,42	0,43	0,48	0,42	0,43	0,44	0,38	0,47	0,42	0,48	0,4	0,41	0,5	0,42	0,5	0,43	0,48	0,52	0,48	0,5	0,42	0,41	0,48	0,43
3	0,52	0,39	0,39	0,49	0,39	0,52	0,41	0,46	0,49	0,41	0,52	0,47	0,48	0,42	0,39	0,52	0,41	0,45	0,49	0,42	0,56	0,46	0,49	0,55	0,43
Rata - rata	0,50	0,41	0,43	0,49	0,41	0,49	0,42	0,44	0,48	0,41	0,51	0,43	0,44	0,49	0,42	0,52	0,43	0,45	0,51	0,44	0,55	0,44	0,45	0,53	0,44



4.2 Analisis Statistik

4.2.1 Analisis Statistik *Springback*

Analisis statistik *springback* diambil salah satu contoh pada gaya *blankholder* 1,5 kN untuk sudut *springback* θ_1

- Data rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{8,50}{3} \\ &= 2,83\end{aligned}$$

- Standar Deviasi

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{0,240}{3-1}} \\ &= 0,346\end{aligned}$$

- Standar Deviasi Rata-Rata

$$\begin{aligned}\bar{\delta} &= \frac{\delta}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{0,346}{\sqrt{3}} \\ &= 0,199\end{aligned}$$

- Interval penduga

$$\bar{x} - \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right]$$

$$\begin{aligned}db &= n-1 \\ &= 3-1 = 2\end{aligned}$$

Dari tabel-T dengan $\alpha = 5\%$ dapat diketahui

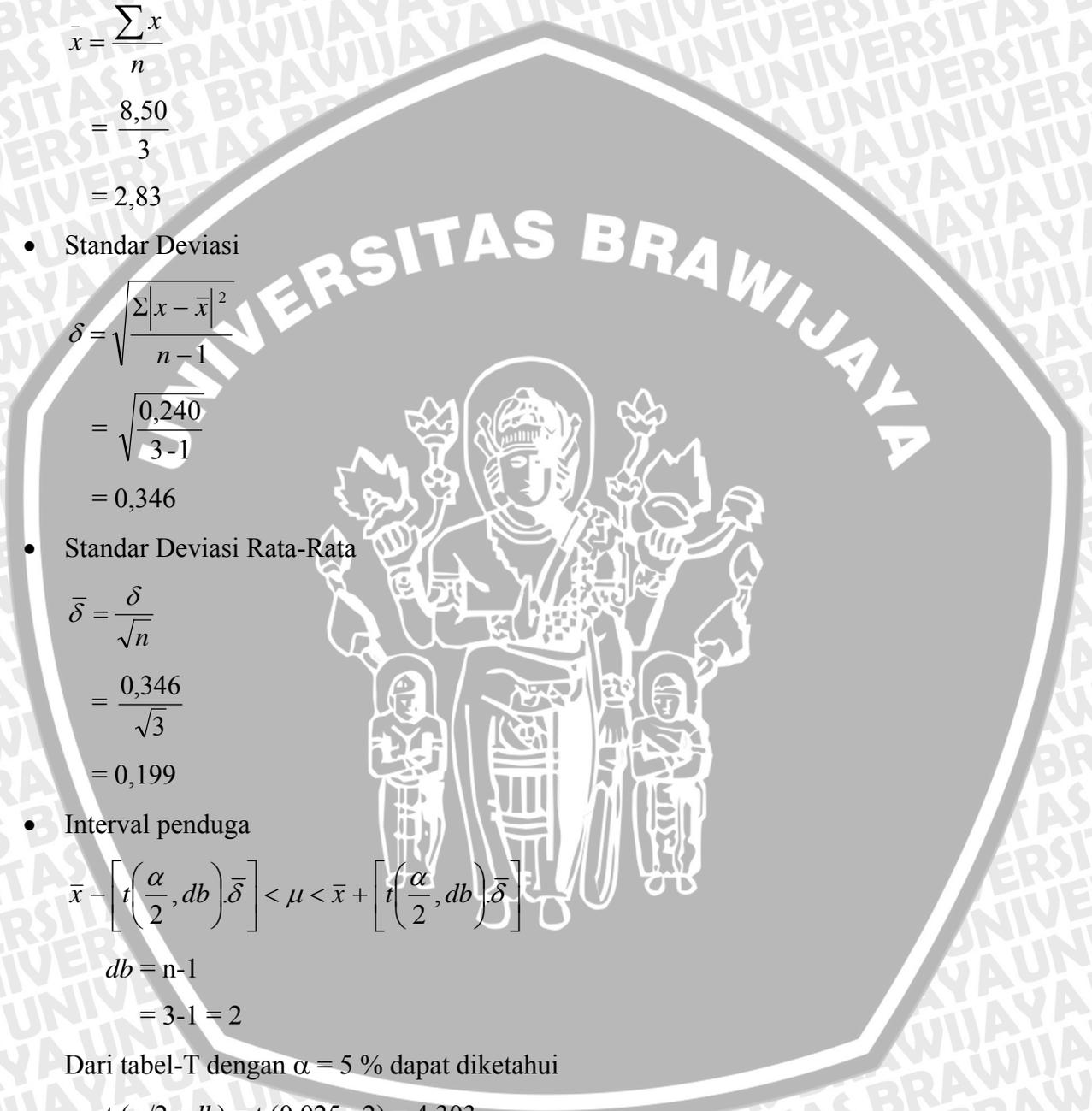
$$t(\alpha/2; db) = t(0,025; 2) = 4,303$$

maka

$$2,83 - [(4,303)(0,199)] < \mu < 2,83 + [(4,303)(0,199)]$$

$$2,83 - 0,86 < \mu < 2,83 + 0,86$$

$$1,97 < \mu < 3,69$$



Jadi interval penduga *springback* dengan gaya *blankholder* 1,5 kN untuk sudut *springback* θ_1 didapatkan 1,97° sampai 3,69° dengan tingkat keyakinan 95 %

Dengan perhitungan yang sama seperti di atas, didapatkan interval penduga *springback* berbagai variasi gaya *blankholder* dan kemudian disusun pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Interval Penduga *Springback*

Interval Penduga		Blankholder Force (kN)				
		0,5	1	1,5	2	2,5
Springback rata-rata	θ_1	3,52	3,34	2,83	2,61	1,92
	θ_2	3,27	2,86	2,36	1,80	1,33
Standar deviasi rata-rata	θ_1	0,323	0,245	0,199	0,257	0,134
	θ_2	0,184	0,110	0,167	0,081	0,175
Interval Penduga <i>Springback</i>	θ_1	2,13 < μ < 4,91	2,28 < μ < 4,39	1,97 < μ < 3,69	1,50 < μ < 3,72	1,34 < μ < 2,49
	θ_2	2,48 < μ < 4,06	2,39 < μ < 3,33	1,64 < μ < 3,08	1,45 < μ < 2,15	0,58 < μ < 2,08

4.2.2 Analisis Statistik Perubahan Ketebalan Pelat

Analisis statistik perubahan ketebalan pelat diambil salah satu contoh pada gaya *blankholder* 1,5 kN untuk sisi Δx_1

Data rata-rata

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{1,52}{3} \\ &= 0,51\end{aligned}$$

- Standar Deviasi

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{0,0011}{3-1}} \\ &= 0,035\end{aligned}$$

- Standar Deviasi Rata-Rata

$$\begin{aligned}\bar{\delta} &= \frac{\delta}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{0,011}{\sqrt{3}} \\ &= 0,013\end{aligned}$$



- Interval penduga

$$\bar{x} - \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right) \cdot \bar{\delta} \right]$$

$$db = n - 1$$

$$= 3 - 1 = 2$$

Dari tabel-T dengan $\alpha = 5\%$ dapat diketahui

$$t(\alpha/2; db) = t(0,025; 2) = 4,303$$

maka

$$0,51 - [(4,303)(0,013)] < \mu < 0,51 + [(4,303)(0,013)]$$

$$0,51 - 0,05 < \mu < 0,51 + 0,05$$

$$0,46 < \mu < 0,56$$

Jadi interval penduga perubahan ketebalan pelat dengan pada gaya *blankholder* 1,5 kN untuk sisi Δx_1 didapatkan 0,46 mm sampai 0,56 mm dengan tingkat keyakinan 95 %

Dengan perhitungan yang sama seperti di atas, didapatkan interval penduga perubahan ketebalan pelat berbagai variasi *blankholder force* dan kemudian disusun pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Interval Penduga Perubahan Ketebalan Pelat

Interval Penduga	Blankholder Force (kN)					
	0,5	1	1,5	2	2,5	
Perubahan ketebalan rata-rata	Δx_1	0,50	0,49	0,51	0,52	0,55
	Δx_2	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44
	Δx_3	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45
	Δx_4	0,49	0,48	0,49	0,51	0,51
	Δx_5	0,41	0,41	0,42	0,44	0,44
Standar deviasi rata-rata	Δx_1	0,122	0,028	0,013	0,009	0,029
	Δx_2	0,012	0,01	0,02	0,009	0,012
	Δx_3	0,023	0,032	0,020	0,014	0,023
	Δx_4	0,004	0,007	0,037	0,01	0,023
	Δx_5	0,009	0,006	0,014	0,021	0,01
Interval Penduga Perubahan Ketebalan Pelat	Δx_1	$0,45 < \mu < 0,56$	$0,36 < \mu < 0,61$	$0,45 < \mu < 0,56$	$0,48 < \mu < 0,55$	$0,43 < \mu < 0,68$
	Δx_2	$0,36 < \mu < 0,47$	$0,34 < \mu < 0,46$	$0,34 < \mu < 0,52$	$0,39 < \mu < 0,46$	$0,39 < \mu < 0,49$
	Δx_3	$0,33 < \mu < 0,53$	$0,30 < \mu < 0,58$	$0,35 < \mu < 0,53$	$0,39 < \mu < 0,52$	$0,35 < \mu < 0,55$
	Δx_4	$0,47 < \mu < 0,50$	$0,45 < \mu < 0,51$	$0,33 < \mu < 0,65$	$0,47 < \mu < 0,55$	$0,42 < \mu < 0,63$
	Δx_5	$0,37 < \mu < 0,45$	$0,38 < \mu < 0,43$	$0,35 < \mu < 0,48$	$0,34 < \mu < 0,53$	$0,39 < \mu < 0,48$

4.3 Analisis Varian Satu Arah

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh *blankholder force* terhadap *springback* dan perubahan ketebalan pelat pada proses *deep drawing* dapat diketahui dari hasil analisis variannya. Apabila nilai F_{hitung} yang diperoleh lebih besar dari F_{tabel} berarti faktor yang diuji memberikan pengaruh yang nyata. Namun apabila F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} maka faktor yang diuji tidak memberikan pengaruh yang nyata.

4.3.1 Analisis Varian Satu Arah *Springback*

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \\ &= 3,34 + 3,64 + 3,08 + \dots + 2,75 + 2,56 + 1,79 \\ &= 42,68 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

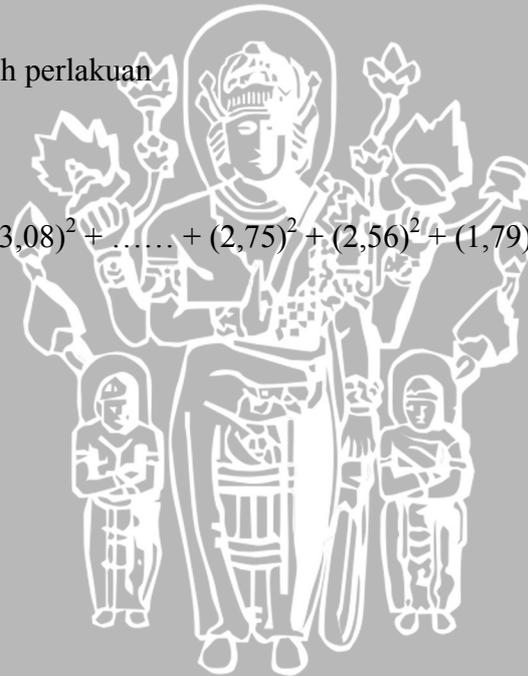
$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 \\ &= (3,34)^2 + (3,64)^2 + (3,08)^2 + \dots + (2,75)^2 + (2,56)^2 + (1,79)^2 \\ &= 126,97 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (fk)

$$\begin{aligned} fk &= \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{\sum ni} \\ &= \frac{(42,68)^2}{15} \\ &= 121,44 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk \\ &= 126,97 - 121,44 \\ &= 5,53 \end{aligned}$$



- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - fk$$

$$= \frac{378,82}{3} - 121,44$$

$$= 4,83$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 5,53 - 4,83$$

$$= 0,7$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1}$$

$$= \frac{4,83}{5-1}$$

$$= 1,207$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{db}$$

$$= \frac{0,7}{10}$$

$$= 0,07$$

- Nilai F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$$

$$= \frac{1,207}{0,07}$$

$$= 17,243$$



Tabel 4.5 Tabel Analisis Varian Satu Arah *Springback*

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	4,83	1,207	17,243	3,47
Galat	10	0,7	0,07	-	-
Total	14	5,53	-	-	-



Dari Tabel 4.5 analisis varian satu arah diatas diperoleh hasil F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} , sehingga dapat disimpulkan bahwa besarnya *blankholder force* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap *springback* dari produk *deep drawing* dengan tingkat keyakinan 95%.

4.3.2 Analisis Varian Satu Arah Perubahan Ketebalan Pelat

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \\ &= 0,51 + 0,48 + 0,52 + \dots + 0,6 + 0,5 + 0,56 \\ &= 7,7 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 \\ &= (0,51)^2 + (0,48)^2 + (0,52)^2 + \dots + (0,6)^2 + (0,5)^2 + (0,56)^2 \\ &= 3,97 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi (fk)

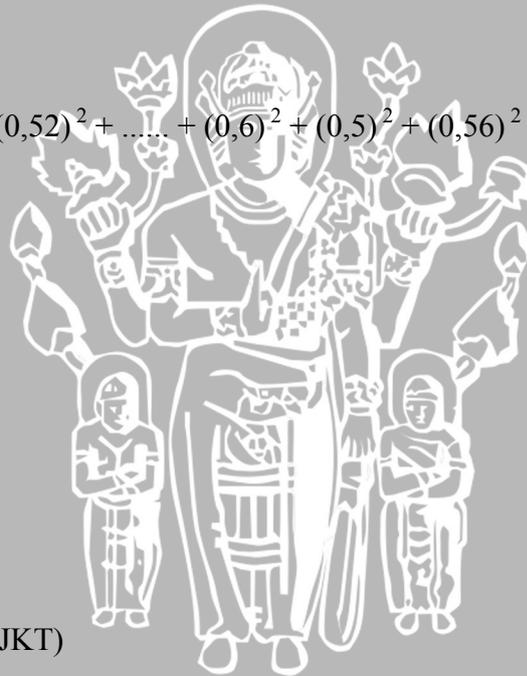
$$\begin{aligned} fk &= \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{\sum ni} \\ &= \frac{(7,7)^2}{15} \\ &= 3,95 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk \\ &= 3,97 - 3,95 \\ &= 0,02 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[\sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - fk$$



$$= \frac{11,9}{3} - 3,95 = 0,01$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$\begin{aligned} JKG &= JKT - JKP \\ &= 0,02 - 0,01 \\ &= 0,01 \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$\begin{aligned} KTP &= \frac{JKP}{k-1} \\ &= \frac{0,01}{5-1} \\ &= 0,0025 \end{aligned}$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$\begin{aligned} KTG &= \frac{JKG}{db} \\ &= \frac{0,01}{10} \\ &= 0,001 \end{aligned}$$

- Nilai F_{hitung}

$$\begin{aligned} F_{hitung} &= \frac{KTP}{KTG} \\ &= \frac{0,0025}{0,001} \\ &= 2,5 \end{aligned}$$



Tabel 4.6 Tabel Analisis Varian Satu Arah Perubahan Ketebalan Pelat

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	0,01	0,0025	2,5	3,47
Galat	10	0,01	0,001	-	-
Total	14	0,02	-	-	-

Dari Tabel 4.6 analisis varian satu arah untuk perubahan ketebalan pelat diperoleh hasil F_{hitung} lebih kecil F_{tabel} , sehingga dapat disimpulkan bahwa besarnya *blankholder force* tidak mempunyai pengaruh yang nyata terhadap perubahan ketebalan pelat hasil proses *deep drawing* dengan tingkat keyakinan 95%.

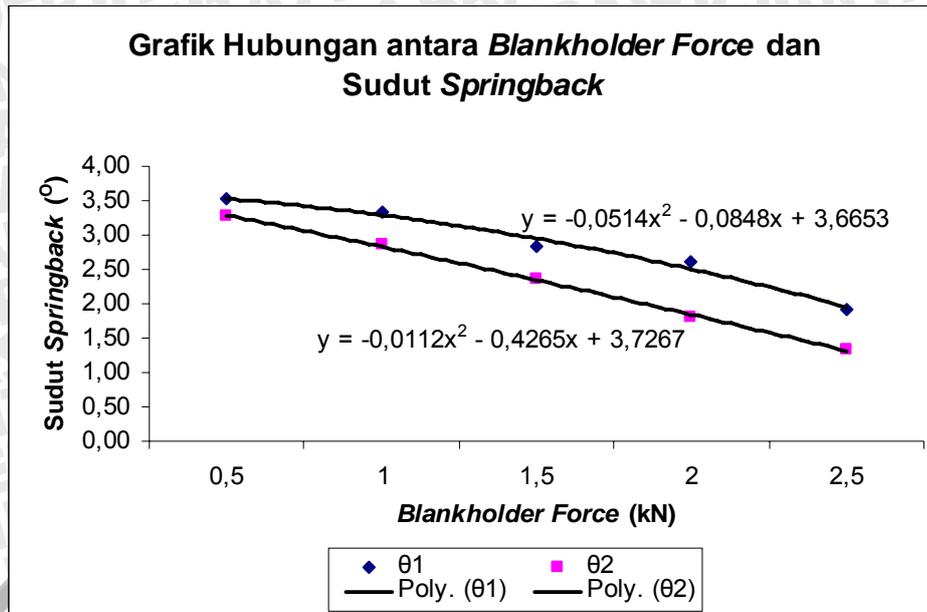
4.4 Pembahasan

Dari hasil pengujian dan perhitungan data dengan nilai *blankholder force* yang bervariasi maka didapatkan besarnya *springback* dan ketebalan pelat produk hasil *deep drawing*. Untuk mempermudah menganalisis maka hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik. Grafik-grafik tersebut menunjukkan hubungan antara *blankholder force* dengan *springback* dan perubahan ketebalan pelat bentuk U hasil proses *deep drawing*.

4.4.1 Analisis Hubungan antara *Blankholder Force* dengan *Springback* Pelat Bentuk U

Springback adalah kondisi elastis dari material dimana material akan membentuk sudut yang lebih besar dari bentuk yang diinginkan setelah beban dilepas. *Blankholder* berfungsi memegang *blank* atau benda kerja berupa lembaran logam, dan berada diatas benda kerja. Walaupun berfungsi untuk memegang benda kerja, benda kerja harus tetap dapat bergerak saat proses *drawing* dilakukan sebab saat proses *drawing* berlangsung benda kerja yang dijepit oleh *blankholder* akan bergerak ke arah pusat sesuai dengan bentuk dari *die drawing*.

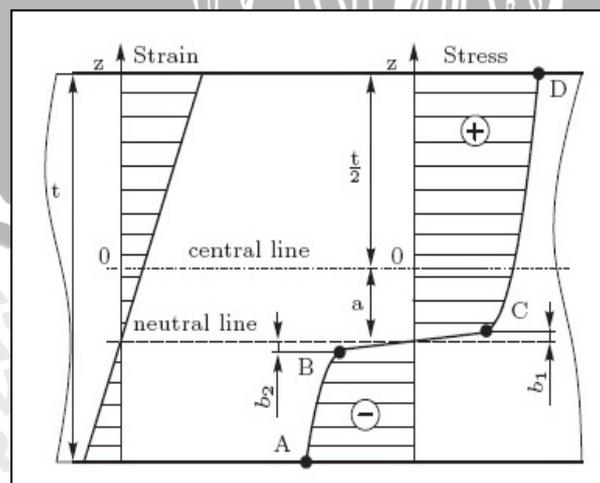
Gambar 4.1 grafik hubungan antara *blankholder force* dengan sudut *springback* pada produk *deep drawing*, dapat diketahui bahwa sudut *springback* cenderung menurun, baik itu pada θ_1 maupun θ_2 . Pada θ_1 mempunyai sudut *springback* rata – rata yang lebih besar daripada θ_2 . Pada θ_1 sudut *springback* rata – rata terkecil terjadi pada *blankholder force* 2,5 kN yaitu sebesar $1,92^\circ$, hal itu terjadi pada sudut θ_2 , dimana sudut *springback* terkecil juga terjadi pada *blankholder force* 2,5 kN yaitu sebesar $1,33^\circ$.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara *Blankholder Force* dengan *Sudut Springback*

Menggunakan perhitungan statistik analisis varian satu arah didapatkan nilai F_{hitung} sebesar 17,243 dan dari tabel statistik diketahui nilai F_{tabel} sebesar 3,47. Nilai F_{hitung} yang didapatkan lebih besar daripada F_{tabel} , sehingga dapat disimpulkan bahwa *blankholder force* memberikan pengaruh yang nyata pada *springback* produk hasil proses *deep drawing*.

Pada proses *deep drawing*, *blankholder* mempunyai fungsi untuk memegang *blank* atau benda kerja, akan tetapi benda kerja masih bisa bergerak mengikuti bentuk *die*. *blankholder force* akan menimbulkan gesekan pada saat *punch* bergerak menekan benda kerja.



Gambar 4.2 .Distribusi Tegangan - Regangan pada daerah radius *die*

Sumber : I.A. Burchitz, 2008 : 24

Blankholder force yang semakin besar akan meningkatkan gaya gesek sesuai persamaan $f = \mu \times N$, dimana N adalah gaya normal yang besarnya sama dengan *blankholder force*. Gaya tarik akan timbul karena adanya gaya gesek dan mempunyai arah berlawanan. Gaya tarik yang terjadi pada proses deep drawing mempunyai nilai lebih besar dari gaya gesek agar benda bisa bergerak mengikuti bentuk *die*. Pengaruh gaya tarik yang timbul membuat benda mengalami tegangan yang besarnya didapatkan dari persamaan $\sigma = \frac{F}{A}$, dimana F adalah gaya tarik dan A adalah luas penampang melintang dari benda.

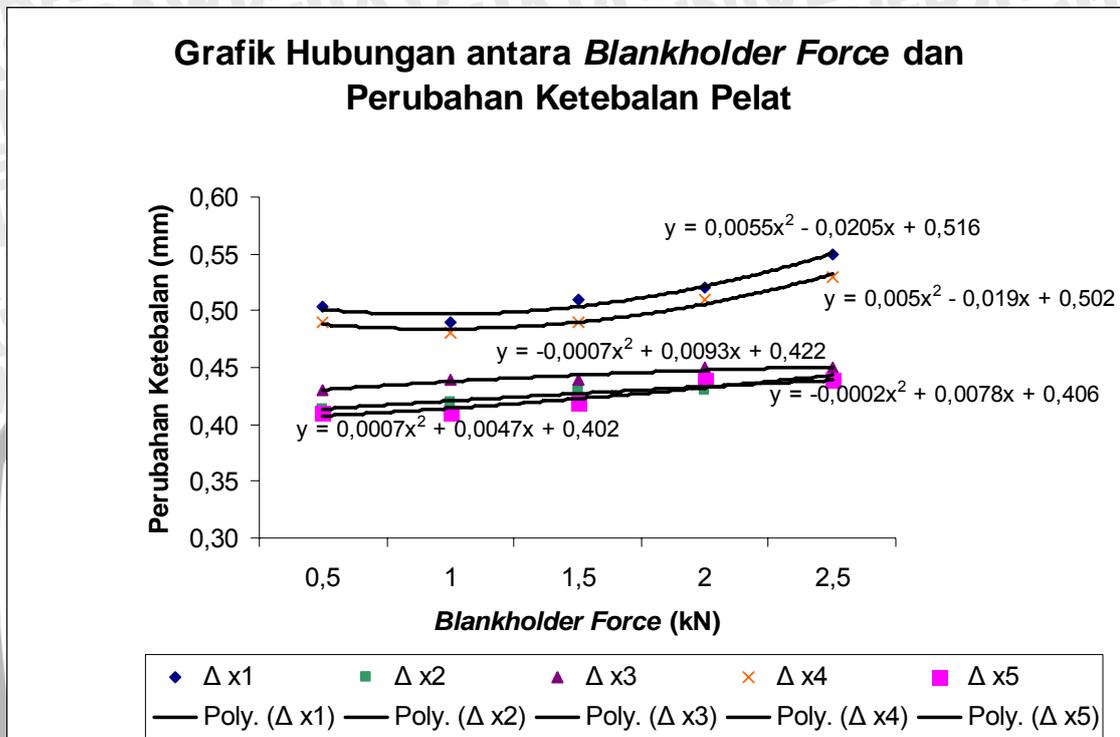
Blankholder force yang semakin besar berakibat pada peningkatan gaya gesek. Gaya gesek yang besar akan meningkatkan gaya tarik yang pada akhirnya akan membuat tegangan tarik pada material juga meningkat. Benda yang menerima gaya tarik akan mengalami perpanjangan mengikuti bentuk *die*. Perpanjangan ini menimbulkan suatu regangan, dan dituliskan dalam persamaan $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$. Hubungan

antara tegangan dan regangan berdasarkan hukum Hooke, dapat dituliskan dalam persamaan $E = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}$ atau $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$.

Tegangan tarik yang disebabkan gaya tarik akan meningkat seiring dengan meningkatnya gaya gesek akibat peningkatan *blankholder force*. Berdasarkan hukum Hooke maka peningkatan tegangan akan meningkatkan regangan. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar tegangan – regangan (Gambar 2.5). Tegangan semakin besar akan mempunyai nilai regangan yang semakin besar pula. Benda yang mengalami *springback* berarti tegangan yang terjadi berada dibawah tegangan *yield*, dimana daerah di bawah tegangan *yield* adalah daerah elastis. Benda akan mengalami deformasi plastis apabila tegangan yang terjadi diatas tegangan *yield*. Peningkatan *blankholder force* yang berakibat pada peningkatan tegangan benda membuat benda mengalami tegangan mendekati tegangan *yield*. Kondisi inilah yang membuat *springback* semakin kecil pada *blankholder force* yang lebih besar. Akan tetapi ada beberapa bagian yang masih mengalami elastis sehingga tidak mengalami deformasi mendekati tegangan *yield*. Gambar 4.1 menunjukkan semakin besar *blankholder force* semakin kecil sudut *springback* yang terjadi.

4.4.2 Analisis Hubungan antara *Blankholder Force* dengan Perubahan Ketebalan Pelat

Benda kerja yang mengalami tarikan akan mengalami perubahan ketebalan pelat. Pada proses *deep drawing* penelitian ini perubahan ketebalan pelat yang diamati diambil pada 5 titik.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara *Blankholder Force* dengan Perubahan Ketebalan Pelat

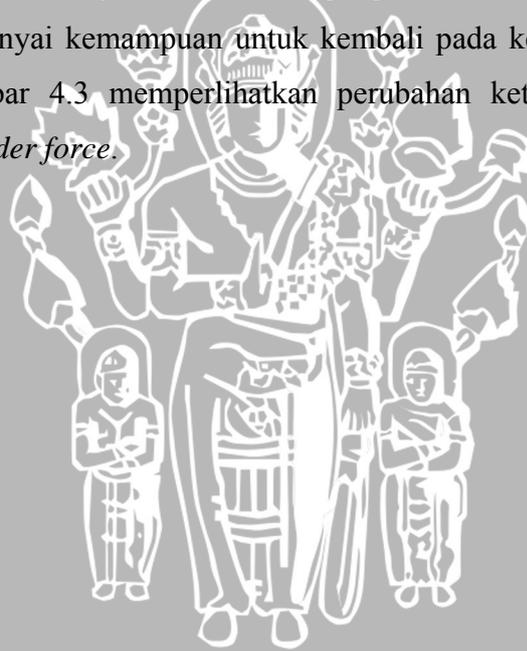
Gambar 4.3 grafik hubungan antara *blankholder force* dengan perubahan ketebalan pelat dapat diketahui bahwa perubahan ketebalan pelat mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya *blankholder force*, mulai dengan *blankholder force* 0,5 kN hingga *blankholder force* 2,5 kN. Akan tetapi perubahan yang terjadi kecil dan tidak terlalu besar selisihnya.

Dengan menggunakan perhitungan statistik analisis varian satu arah didapatkan nilai F_{hitung} sebesar 2,5 dan dari tabel statistik dapat diketahui nilai F_{tabel} sebesar 3,47. Nilai F_{hitung} yang didapatkan lebih kecil daripada F_{tabel} , sehingga dapat disimpulkan bahwa *blankholder force* pada penelitian ini tidak memberikan pengaruh yang nyata pada perubahan ketebalan pelat pada proses *deep drawing*.

Benda yang mengalami gaya tarik akan mengalami deformasi berupa perubahan bentuk dan ukuran. Besarnya deformasi yang sebenarnya dapat digambarkan pada

persamaan regangan sebenarnya yaitu $\varepsilon = \ln \frac{L_i}{L_0}$ atau $\varepsilon = \ln \frac{A_0}{A_i}$. Tegangan yang terjadi dituliskan dalam persamaan $\sigma = \frac{F}{A_i}$, dimana F adalah gaya tarik dan A_i adalah luas penampang akhir. Grafik tegangan - regangan (Gambar 2.5) menunjukkan semakin besar tegangan maka regangan juga meningkat. Gaya tarik yang terjadi meningkat seiring dengan meningkatnya *blankholder force*, dan akan berakibat pada tegangan yang semakin besar. Semakin besar tegangan, regangan yang terjadi juga akan meningkat dan menyebabkan luas penampang akan semakin kecil. Pengecilan luas penampang ini ditandai dengan berkurangnya ketebalan pelat.

Perubahan ketebalan pelat pada proses *deep drawing* yang tidak signifikan dengan berbagai variasi *blankholder force* disebabkan tegangan yang terjadi pada benda masih berada pada daerah elastis yaitu di bawah tegangan *yield*. Benda yang mengalami deformasi elastis mempunyai kemampuan untuk kembali pada keadaan semula ketika beban ditiadakan. Gambar 4.3 memperlihatkan perubahan ketebalan pelat dengan berbagai variasi *blankholder force*.



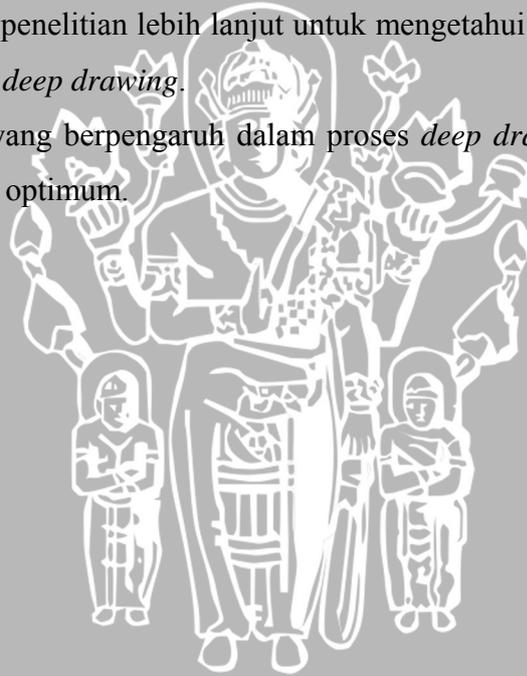
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa sudut *springback* mengalami penurunan dengan bertambahnya gaya *blankholder* mulai 0,5 kN sampai 2,5 kN, baik pada θ_1 maupun θ_2 . Sudut *springback* rata-rata terkecil terjadi pada gaya *blankholder* 2,5 kN sebesar $1,92^\circ$ untuk θ_1 dan $1,33^\circ$ pada θ_2 . Ketebalan pelat tidak mengalami perubahan secara signifikan dengan bertambahnya gaya *blankholder* hingga 2,5 kN, hal ini dibuktikan dengan nilai F_{hitung} lebih kecil dari nilai F_{tabel} pada analisis varian satu arah.

5.2 Saran

1. Dapat dikembangkan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh – pengaruh yang lain pada proses *deep drawing*.
2. Perlu diteliti variasi yang berpengaruh dalam proses *deep drawing* sehingga dapat diketahui proses yang optimum.



DAFTAR PUSTAKA

Burchitz, I.A. 2008. *Improvement of Springback Prediction in Sheet Metal Forming*. Rotterdam: Universiteit Twente

Chirita, Bogdan. 2003. *Experimental Study of The Influence of Blankholder Force on Spring-Back of Sheet Metal*. Romania: Archives Of Civil And Mechanical Engineering Vol III.

Dieter, George E. 1988. *Mechanical Metalurgy: SI Metric Edition*. London: McGraw-Hill.

Donaldson, Cyril. 1969. *Tool Design*. Mc Graw Hill. New Delhi: Publishing Company Ltd.

Eary, D.E, Reed E.A. 1974. *Technique of Press Working Sheet*. Prentice Hall. New Jersey : Englewoods Clifs

Hosford, W.F. 1986. *Metal Forming*. Prentice Hall. New Jersey : Englewoods Clifs

Hu S.J., Marciniak, Z, Duncan, J.L. 2002. *Mechanics of Sheet Metal Forming*. London : Butterworth Heinemann

Imadudin, Uud Achmad dan Effendy, Marwan. 2005. *Analisis Square Cup Deep Drawing*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta

Lanouar Ben Ayed, Arnaud Delamézière, Jean-Louis Batoz and Catherine Knopf-Lenoir. 2005. *Optimization Of The Blankholder Force With Application To Numisheet'99 Front Door Panel*. Barcelona: CIMNE.

Kutz, Myer. 2006. *Mechanical Engineers' Handbook*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Lange, Kurt. 1985. *Handbook of Metal Forming*. New York : Mc Graw Hill.

Marinov, V. 2008. *Fundamentals of Metal Manufacturing Processes*. Dubuque: Hunt Publishing

Nurrudin, Abdul Wahid. 2005. *Pengaruh Annealing pada Material JIS 3131 SPHC Terhadap Springback dengan Berbagai Variasi Sudut Bending*. Malang : Universitas Brawijaya.

Siswosuwarno, Mardjono. 1985. *Teknik Pembentukan Logam*. Bandung : ITB.

Smallman, R. E., Bishop, R. J. 1999. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. London : Butterworth Heinemann

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



Lampiran 1

Tabel Distribusi nilai F dengan $\alpha = 5\%$.

F - Distribution ($\alpha = 0.05$ in the Right Tail)

df ₂ \ df ₁	Numerator Degrees of Freedom								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353	19.371	19.385
3	10.128	9.5521	9.2766	9.1172	9.0135	8.9406	8.8867	8.8452	8.8123
4	7.7086	9.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942	6.0410	6.9988
5	6.6079	5.7861	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725
6	5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.0990
7	5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8660	3.7870	3.7257	3.6767
8	5.3177	4.4590	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881
9	5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927	3.2296	3.1789
10	4.9646	4.1028	3.7083	3.4780	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204
11	4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123	2.9480	2.8962
12	4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134	2.8486	2.7964
13	4.6672	3.8056	3.4105	3.1791	3.0254	2.9153	2.8321	2.7669	2.7144
14	4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642	2.6987	2.6458
15	4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066	2.6408	2.5876
16	4.4940	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572	2.5911	2.5377
17	4.4513	3.5915	3.1968	2.9647	2.8100	2.6987	2.6143	2.5480	2.4943
18	4.4139	3.5546	3.1599	2.9277	2.7729	2.6613	2.5767	2.5102	2.4563
19	4.3807	3.5219	3.1274	2.8951	2.7401	2.6283	2.5435	2.4768	2.4227
20	4.3512	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.5990	2.5140	2.4471	2.3928
21	4.3248	3.4668	3.0725	2.8401	2.6848	2.5727	2.4876	2.4205	2.3660
22	4.3009	3.4434	3.0491	2.8167	2.6613	2.5491	2.4638	2.3965	2.3419
23	4.2793	3.4221	3.0280	2.7955	2.6400	2.5277	2.4422	2.3748	2.3201
24	4.2597	3.4028	3.0088	2.7763	2.6207	2.5082	2.4226	2.3551	2.3002
25	4.2417	3.3852	2.9912	2.7587	2.6030	2.4904	2.4047	2.3371	2.2821
26	4.2252	3.3690	2.9752	2.7426	2.5868	2.4741	2.3883	2.3205	2.2655
27	4.2100	3.3541	2.9604	2.7278	2.5719	2.4591	2.3732	2.3053	2.2501
28	4.1960	3.3404	2.9467	2.7141	2.5581	2.4453	2.3593	2.2913	2.2360
29	4.1830	3.3277	2.9340	2.7014	2.5454	2.4324	2.3463	2.2783	2.2229
30	4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107
40	4.0847	3.2317	2.8387	2.6060	2.4495	2.3359	2.2490	2.1802	2.1240
60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1665	2.0970	2.0401
120	3.9201	3.0718	2.6802	2.4472	2.2899	2.1750	2.0868	2.0164	1.9588
∞	3.8415	2.9957	2.6049	2.3719	2.2141	2.0986	2.0096	1.9384	1.8799



Lampiran 2

Data Hasil Pengujian Komposisi Unsur Penyusun Material Aluminium Paduan

06-Mar-2009 09:19:07

Sample results

Page 1

Sample ident
Aluminium Paduan

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	06-Mar-2009 09:16:13
Position	1

Compound	Al	P	Ca	Ti	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Ba	Yb	Re	Os
Conc	98.4	0.27	0.17	0.028	0.815	0.015	0.154	0.013	0.030	0.03	0.02	0.004	0.031
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%



A. Firdaus



Lampiran 3

Spectra Hasil Pengujian Komposisi Unsur Penyusun Material Aluminium Paduan

