

SKRIPSI

**ANALISA PENGARUH VARIASI KETEBALAN LEMBARAN
ALUMINIUM 1100 DAN LUBRIKASI TERHADAP PROSES
*MICRO DEEP DRAWING***

Disusun dan diajukan oleh:

MUTAKHIR

D021 19 1099



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISA PENGARUH VARIASI KETEBALAN LEMBARAN
ALUMINIUM 1100 DAN LUBRIKASI TERHADAP PROSES
*MICRO DEEP DRAWING***

Disusun dan diajukan oleh

Mutakhir

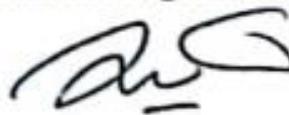
D021 19 1099

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 21 November 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Hairul Arsyad, ST., MT
NIP 19750322 200212 1 001

Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT
NIP 19740415 199903 1 001

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT
NIP 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Mutakhir
NIM : D021 19 1099
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisa Pengaruh Variasi Ketebalan Lembaran Aluminium 1100 Dan Lubrikasi Terhadap Proses *Micro Deep Drawing*

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah di beri penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap di klarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari dosen pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil dari karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 22 November 2023

Yang menyatakan


Mutakhir

ABSTRAK

MUTAKHIR. *Analisa Pengaruh Variasi Ketebalan Lembaran Aluminium 1100 dan Lubrikasi Terhadap Proses Micro Deep Drawing* (dibimbing oleh Dr. Hairul Arsyad, ST., MT dan Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT)

Perkembangan cepat miniaturisasi produk telah mendorong penelitian signifikan di bidang microforming, terutama dalam produksi komponen mikro untuk mengurangi berat dan volumenya. Salah satu masalah yang terjadi dalam miniaturisasi teknologi pembentukan seperti pembentukan mikro massif dan pembentukan lembaran logam mikro adalah efek penskalaan, yang misalnya terjadi pada aspek tribologi seperti efek gesekan yang meningkat dengan mengecilnya ukuran spesimen. Tujuan penelitian ini untuk menganalisa pengaruh ketebalan dan lubrikasi pada proses *micro deep drawing* terhadap gaya penekanan maximum, cacat pembentukan dan *micro strain* pada material. Penelitian ini menggunakan Aluminium 1100 dengan diameter spesimen 0.5 mm dengan ketebalan spesimen 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, dan 0.5 mm. Jenis pelumas yang digunakan adalah Oli SAE 40-W. Dari hasil penelitian diperoleh gaya penekanan maximum tanpa pelumas dengan ketebalan spesimen 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, dan 0.5 mm masing-masing sebesar 92.87 N, 126.33 N, 173.67 N, 254.77 N. Sedangkan hasil dari gaya penekanan maximum yang menggunakan pelumas diperoleh nilai lebih rendah dari yang tanpa menggunakan pelumas dimana nilainya yaitu 74.63 N, 110,35 N, 170.64 N, 235.78 N. Untuk nilai *Displacement* spesimen yang menggunakan pelumas didapatkan nilai secara berturut-turut sebesar 1.70 mm, 1.71 mm, 1.73 mm, 1.99 mm, sedangkan untuk spesimen yang tidak menggunakan pelumas diperoleh nilai *displacementnya* lebih rendah yaitu 1.5 mm, 1.59 mm, 1.67 mm, 1.68 mm. Pada penelitian ini diidentifikasi beberapa cacat *wrinkling* dan *tearing* yang sering muncul di ketebalan 0.1 mm di kedalaman 1 mm – 2.5 mm. Sedangkan pada ketebalan 0.2 mm, 0.3 mm, dan 0.5 mm munculnya cacat *wrinkling* dan *tearing* berada pada kedalaman 2.5 mm. Hasil pengujian XRD pada penelitian ini diperoleh nilai *micro strain* material pada sampel yang menggunakan pelumas dengan ketebalan 0.5 mm lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang tidak menggunakan pelumas dengan ketebalan 0.5 mm.

Kata Kunci: *Micro Deep Drawing*, Cacat Pembentukan, *X-ray Diffraction*.

ABSTRACT

MUTAKHIR. *Analysis of the Influence of Variation in Thickness of 1100 Aluminum Sheets and Lubrication on the Micro Deep Drawing Process (supervised by Dr. Hairul Arsyad, ST., MT and Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT)*

The rapid development of product miniaturization has driven significant research in the field of microforming, especially in the production of micro components to reduce their weight and volume. One of the challenges encountered in miniaturization of forming technologies, such as micro bulk forming and micro sheet metal forming, is the scaling effect. This is evident, for instance, in tribological aspects like increased friction effects as the specimen size decreases. The objective of this research is to analyze the influence of thickness and lubrication in the micro deep drawing process on maximum pressing force, formation defects, and microstrain in the material. This study used Aluminum 1100 with a specimen diameter of 0.5 mm and specimen thicknesses of 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, and 0.5 mm. The lubricant used was SAE 40-W oil. From the research results, the maximum pressing force without lubrication for specimen thicknesses of 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, and 0.5 mm were 92.87 N, 126.33 N, 173.67 N, and 254.77 N, respectively. Meanwhile, the results for the maximum pressing force with lubrication showed lower values compared to those without lubrication, with values of 74.63 N, 110.35 N, 170.64 N, and 235.78 N. The displacement values for specimens using lubrication were 1.70 mm, 1.71 mm, 1.73 mm, and 1.99 mm, respectively. In contrast, specimens without lubrication had lower displacement values of 1.5 mm, 1.59 mm, 1.67 mm, and 1.68 mm. In this study, several wrinkling and tearing defects were identified, often occurring at a thickness of 0.1 mm at depths of 1 mm to 2.5 mm. Meanwhile, for thicknesses of 0.2 mm, 0.3 mm, and 0.5 mm, wrinkling and tearing defects occurred at a depth of 2.5 mm. The XRD testing in this research revealed that the microstrain values in samples using lubrication with a thickness of 0.5 mm were lower than those in samples without lubrication with the same thickness.

Keywords: Micro Deep Drawing, Formation Defects, X-ray Diffraction

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
KATA PENGANTAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Sheet Metal Forming</i>	6
2.2 <i>Micro Deep Drawing</i>	10
2.3 Variabel Proses <i>Drawing</i>	12
2.4 Deformasi.....	15
2.5 Aluminium	17
2.6 <i>Limit Drawing Rasio (LDR)</i>	22
2.7 Koefisien Gesek	23
2.8 Pelumasan	23
2.9 Cacat <i>Micro Deep Drawing</i>	24
2.10 Pengujian XRD	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1 Waktu Dan Tempat.....	32
3.2 Alat Dan Bahan	32
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	35

3.4 Prosedur Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Data Gaya Penekanan	38
4.2 Data Hasil Pengujian Cacat Pembentukan	43
4.3 Data Hasil Pengujian XRD	49
BAB V PENUTUP.....	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Proses <i>deep drawing</i>	7
Gambar 2 Bagian utama <i>die drawing</i>	10
Gambar 3 Produk <i>micro deep drawing</i>	10
Gambar 4 <i>Micro deep drawing apparatus</i> . (a) <i>Press machine DT-3AW</i> ; (b) <i>MDD die set and control box</i>	11
Gambar 5 Skema proses <i>micro deep drawing</i> (a) Tahap awal <i>micro deep drawing</i> , (b) Tahap <i>Blanking micro deep drawing</i> , (c) Tahap pembentukan <i>micro deep drawing</i> ...	11
Gambar 6 Cacat <i>wrinkling</i> pada lingkaran cup.....	25
Gambar 7 Cacat <i>tearing</i>	25
Gambar 8 Cacat <i>earing</i>	25
Gambar 9 Prinsip kerja XRD	26
Gambar 10 Komponen-komponen <i>X-ray diffraction (XRD)</i>	27
Gambar 11 Tabung sinar-X	27
Gambar 12 Difraksi radiasi sinar-X dalam struktur kristal	28
Gambar 13 Deteksi dan interpretasi difraksi sinar-X.....	28
Gambar 14 Informasi pola difraksi ideal	29
Gambar 15 Hubungan antara FWHM (<i>Full Width at Half Maximum</i>) terhadap ukuran kristal dan <i>Integral Breadth</i> suatu puncak difraksi dalam skala nanometer)	30
Gambar 16 Intensitas <i>peak XRD</i>	31
Gambar 17 Mesin bor	32
Gambar 18 <i>X-Ray Diffraction</i>	32
Gambar 19 Jangka sorong.....	33
Gambar 20 Mesin <i>deep drawing</i>	33
Gambar 21 Aluminium 1100.....	33
Gambar 22 Cetakan (<i>dies</i>).....	34
Gambar 23 as stainless steel 2.5 mm.....	34
Gambar 24 Pelumas (Oli SAE 10W-40).....	34
Gambar 25 Amplas	35
Gambar 26 <i>Flow chart</i> penelitian.....	35
Gambar 27 Nilai gaya penekanan maksimum	39
Gambar 28 <i>Displacement</i> spesimen menggunakan pelumas dan tanpa pelumas	41
Gambar 29 Distribusi ketebalan menggunakan pelumas 0.1 mm (a) Berhasil, (b) Cacat .	42
Gambar 30 Distribusi ketebalan menggunakan pelumas 0.2 mm (a) Berhasil, (b) Cacat .	42
Gambar 31 Distribusi ketebalan menggunakan pelumas 0.3 mm (a) Berhasil, (b) Cacat .	43
Gambar 32 Distribusi ketebalan tanpa menggunakan pelumas 0.3 mm (a) Berhasil, (b) Cacat.....	43
Gambar 33 Distribusi ketebalan menggunakan pelumas 0.5 mm (a) Berhasil, (b) Cacat .	43
Gambar 34 Distribusi ketebalan tanpa menggunakan pelumas 0.5 mm (cacat).....	44
Gambar 35 Spesimen tebal 0.1 mm kedalaman 1 mm (a) Pelumas (b) Tanpa Pelumas....	45
Gambar 36 Spesimen tebal 0.1 kedalaman 1.5 mm (a) Pelumas (b) Tanpa Pelumas.....	45
Gambar 37 Spesimen tebal 0.1 kedalaman 2 mm (a) Pelumas (b) Tanpa Pelumas.....	46
Gambar 38 Spesimen tebal 0.1 kedalaman 2.5 mm (a) Pelumas (b) Tanpa Pelumas.....	46
Gambar 39 Spesimen tebal 0.2 kedalaman penekanan 2 mm (a) Pelumas, (b) Tanpa Pelumas.....	47

Gambar 40 Spesimen tebal 0.2 kedalaman penekanan 2.5 mm (a) Pelumas, (b) Tanpa Pelumas.....	47
Gambar 41 Spesimen tebal 0.3 kedalaman penekanan 2.5 mm (a) Pelumas, (b) Tanpa Pelumas.....	48
Gambar 42 Spesimen tebal 0.5 kedalaman penekanan 2.5 mm (a) Pelumas, (b) Tanpa Pelumas.....	48
Gambar 43 Hasil XRD sampel 0.5 mm tanpa pelumas	50
Gambar 44 Hasil XRD sampel 0.5 mm menggunakan pelumas.....	50
Gambar 45 Hasil XRD sampel 0.1 mm menggunakan pelumas.....	51
Gambar 46 Ukuran kristal sampel sampel 0.5 mm tanpa menggunakan pelumas, 0.1 mm menggunakan pelumas, dan 0.5 mm menggunakan pelumas	55

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Parameter mesin press DT-3AW dan prosesnya	11
Tabel 2 Jenis material dan kecepatan maksimal <i>draw dies</i>	15
Tabel 3 Sifat – sifat fisik Aluminium	18
Tabel 4 Sifat – sifat mekanik Aluminium	19
Tabel 5 Komposisi Aluminium AA 1100 berdasarkan <i>Actual Mill Chemical and Mechanical Property Test Report In Imperial Nomenclature</i>	22
Tabel 6 Harga β_{maks} untuk beberapa material	22
Tabel 7 Harga Koefisien Gesek μ dalam prses pembentukan	23
Tabel 8 Pelumas untuk <i>deep drawing</i>	23
Tabel 9 Distribusi cacat pembentukan setelah proses <i>micro deep drawing</i> menggunakan pelumas	49
Tabel 10 Distribusi cacat pembentukan setelah proses <i>micro deep drawing</i> tanpa menggunakan pelumas	49
Tabel 11 Daftar puncak difraksi sinar X sampel 0.5 mm tanpa pelumas	54
Tabel 12 Daftar puncak difraksi sinar X sampel 0.5 mm menggunakan pelumas.....	54
Tabel 13 Daftar puncak difraksi sinar X sampel 0.1 mm menggunakan pelumas.....	54
Tabel 14. Posisi $2\theta^\circ$ dan Intensitasnya (cps) (Non Lubrikasi 0.5 mm).....	56
Tabel 15. Posisi $2\theta^\circ$ dan Intensitasnya (cps) (Lubrikasi 0.5 mm)	56
Tabel 16. Posisi $2\theta^\circ$ dan Intensitasnya (cps) (Lubrikasi 0.1 mm)	56

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
F	Gaya
A	Luas Permukaan
Cu	Tembaga
Fe	Besi
Mg	Magnesium
Si	Silicon
Mn	Mangan
Zn	Seng
Ni	Nikel
FCC	<i>Face Centered Cubic</i>
AA	<i>Aluminium Association</i>
LDR	<i>Limit Drawing Ratio</i>
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
BHF	<i>Blank Holder Force</i>
XRD	<i>X-ray diffraction</i>
n	Urutan Difraksi
λ	Panjang Gelombang Sinar X
d	Jarak Antar Bidang Kristal
D	Ukuran Kristal
θ	Sudut Difraksi
K	Konstanta
β	Lebar Setengah Puncak Maksimum
FWHM	<i>Full Width at Half Maximum</i>
ε	Regangan
μm	Mikrometer
SAE	<i>Society Automotive Engineering</i>
cps	<i>Counts Per Second</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel data hasil pengujian gaya penekanan maksimum pada proses <i>micro deep drawing</i> tanpa pelumas	62
Lampiran 2 Tabel data hasil pengujian gaya penekanan maksimum pada proses <i>micro deep drawing</i> menggunakan pelumas	62
Lampiran 3 Tabel data hasil pengujian cacat penekanan pada proses <i>micro deep drawing</i>	62
Lampiran 4 Grafik hasil penekanan tanpa menggunakan pelumas dengan ketebalan 0.5 mm	64
Lampiran 5 Grafik hasil penekanan tanpa menggunakan pelumas dengan ketebalan 0.3 mm	65
Lampiran 6 Grafik hasil penekanan tanpa menggunakan pelumas dengan ketebalan 0.2 mm	66
Lampiran 7 Grafik hasil penekanan tanpa menggunakan pelumas dengan ketebalan 0.1 mm	67
Lampiran 8 Grafik hasil penekanan menggunakan pelumas dengan ketebalan 0.5 mm ...	68
Lampiran 9 Grafik hasil penekanan menggunakan pelumas dengan ketebalan 0.3 mm ...	69
Lampiran 10 Grafik hasil penekanan menggunakan pelumas dengan ketebalan 0.2 mm .	70
Lampiran 11 Grafik hasil penekanan menggunakan pelumas dengan ketebalan 0.1 mm .	71
Lampiran 12 Hasil Ukuran Distribusi Ketebalan 0.1 mm menggunakan pelumas (berhasil)	72
Lampiran 13 Hasil Ukuran Distribusi Ketebalan 0.1 mm menggunakan pelumas (cacat)	73
Lampiran 14 Hasil Ukuran Distribusi Ketebalan 0.2 mm menggunakan pelumas (berhasil)	74
Lampiran 15 Hasil Ukuran Distribusi Ketebalan 0.2 mm menggunakan pelumas (cacat)	75
Lampiran 16 Hasil Ukuran Distribusi Ketebalan 0.3 mm menggunakan pelumas (berhasil)	76
Lampiran 17 Hasil Ukuran Distribusi Ketebalan 0.3 mm menggunakan pelumas (cacat)	77
Lampiran 18 Hasil Ukuran Distribusi Ketebalan 0.3 mm tanpa menggunakan pelumas (berhasil)	78
Lampiran 19 Hasil Ukuran Distribusi Ketebalan 0.3 mm tanpa menggunakan pelumas (cacat)	79
Lampiran 20 Hasil Ukuran Distribusi Ketebalan 0.5 mm menggunakan pelumas (berhasil)	80
Lampiran 21 Hasil Ukuran Distribusi Ketebalan 0.5 mm menggunakan pelumas (cacat)	81
Lampiran 22 Hasil Ukuran Distribusi Ketebalan 0.5 mm tanpa menggunakan pelumas (cacat)	82
Lampiran 23 Hasil data XRD sampel 0.5 mm tanpa pelumas	83
Lampiran 24 Hasil data XRD sampel 0.5 mm tanpa pelumas	84
Lampiran 25 Hasil data XRD sampel 0.1 mm menggunakan pelumas	87
Lampiran 26 Hasil data XRD sampel 0.5 mm menggunakan pelumas	90
Lampiran 27 Perhitungan ukuran kristal dan <i>micro starin</i> material hasil XRD pelumas	93

KATA PENGANTAR

Segala puji dan Syukur peneliti panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan segala limpah rahmatnya sehingga peneliti dapat melaksanakan dan menyelesaikan Skripsi ini dengan baik yang dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik dan Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Sains Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi ketebalan lembaran aluminium 1100 dan lubrikasi terhadap proses *micro deep drawing*. Sebagai bentuk syarat dalam menyelesaikan studi pada program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pada penulisan skripsi ini, peneliti tentu tak lepas dari arahan dan bimbingan dari berbagai pihak dan tidak lepas dari berbagai hambatan. Sebagai bentuk pelajaran dan pengalaman selama penyusunan skripsi ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Almarhum Drs. Hamzah dan ibu Hj. Hasnawiah, S.Pd yang telah memotivasi dan memberi nasehat untuk peneliti dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST., MT dan Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan kepada peneliti sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT, selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Para dosen, staff, dan seluruh civitas akademika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberi semangat dan dukungan selamat perkuliahan.
5. Seluruh teman-teman asisten Laboratorium Metalurgi Fisik.
6. Sahabat BRUZHLEZZ19, sebagai teman seperjuangan mulai dari mahasiswa baru sampai sekarang.

Demikian penulis ucapkan banyak terima kasih dan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca maupun bagi peneliti.

Gowa, November 2023

Peneliti

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Miniatur komponen telah digunakan secara luas dalam beberapa tahun ini. Kebutuhan akan miniatur komponen semakin meningkat terutama untuk aplikasi peralatan medis, teknologi sensor, optoelektronik dan peralatan komunikasi. Di Indonesia sendiri masih sangat sedikit industri yang memanfaatkan teknologi *microforming* untuk membuat miniature komponen. *Microforming* adalah merupakan salah satu teknologi kunci untuk tren miniaturisasi produk di bidang industri. Salah satu masalah yang terjadi dalam miniaturisasi teknologi pembentukan seperti pembentukan mikro massif dan pembentukan lembaran logam mikro adalah efek penskalaan, yang misalnya terjadi pada aspek tribologi seperti efek gesekan yang meningkat dengan mengecilnya ukuran spesimen (F Vollertsen, 2004).

Menurut Fu dan Chan (2013), perkembangan cepat miniaturisasi produk telah mendorong penelitian signifikan di bidang *microforming*, terutama dalam produksi komponen mikro untuk mengurangi berat dan volumenya. Berbeda dari proses pembentukan dalam skala makro, perilaku deformasi material dalam proses pembuatan mikro tidak dapat hanya dipahami dengan pengetahuan tradisional karena efek skala mikro. Karena itu, untuk memberikan pemahaman yang mendalam tentang perilaku material dalam deformasi plastis dalam skala mikro banyak upaya telah dilakukan dalam proses *microforming* khas seperti *micro deep drawing, blanking, bulging, stamping, forging*.

Menurut Sridhar dkk (2015), faktor penting dalam proses pembentukan mikro adalah *Blank Holder Force (BHF)* dan *optimisation BHF, Punch force* dan *Punch velocity*, *Friction, Blankshape, Forming Limits, Stress* dan *Strain Distribution, Thickness variation, Defects*. Kekuatan *blank holder* yang optimal sangat penting dalam pembentukan produk *micro deep drawing* dengan kualitas tinggi. Kerutan dan fraktur akan terjadi ketika gaya *blank holder* yang diberikan terlalu kecil atau terlalu tinggi untuk kecepatan *drawing* yang diberikan (Vollertsen dkk, 2004).

Dalam produksi komponen mikro maka sangat penting untuk memperhatikan proses dan material yang memiliki kemampuan bentuk yang baik. Untuk produksi

dalam skala makro diketahui bahwa kecepatan *punch* memiliki pengaruh pada proses *deep drawing*. Pengaruh ini disebabkan oleh gesekan dan kecepatan antara *blank* dan *tool punch*. Pengaruh lebih lanjut adalah perilaku pembentukan bahan yang bergantung pada laju regangan dari material. Dalam rentang mikro, meningkatnya ukuran butir, resiko cacat juga meningkat yang menyebabkan anisotropi pada material (Guo et al., 2017). Jenis cacat yang terjadi pada produk hasil *drawing* yaitu *wrinkling in the flang*, *wrinkling in the wall*, *tearing* (robek), *earing* dan *surface scratches* (goresan permukaan).

Aplikasi material berbasis logam pada dunia industri cukup potensial di Indonesia, seiring dengan terus berkembangnya industri dan kebutuhan masyarakat akan komponen permesinan dan bidang lainnya. Industri material berbasis logam di Indonesia pada umumnya sudah menggunakan logam aluminium. Aluminium merupakan salah satu logam yang terdapat paling banyak di bumi, penggunaannya pun meluas, mulai dari industri otomotif sampai kesehatan, dan logam ini amat berperan dalam perkembangan dunia penerbangan. Sifat-sifat penting yang menyebabkan aluminium banyak dipakai adalah ringan, tahan korosi, penghantar listrik dan panas yang baik. Berat jenisnya hanya $2,7 \text{ gr/cm}^3$ (kira-kira sepertiga berat jenis baja) karenanya aluminium banyak dipakai pada bagian-bagian pesawat terbang, kendaraan bermotor dan alat transportasi lainnya. Alat transportasi harus dibuat seringan mungkin sehingga akan dapat mengangkat beban lebih banyak (Media Nofri, 2020). Sifat lain yang sangat menguntungkan pada aluminium adalah sangat mudah difabrikasi. Dapat dituang dengan cara penuangan apapun dan dapat dibentuk dengan berbagai cara, seperti *rolling*, *forging*, *drawing*, dll menjadi bentuk yang cukup rumit sekalipun (Muhammad Teguh Imam Perdana, 2020).

Pada proses manufaktur memiliki macam-macam proses diantaranya proses gaya tekan. Gaya tekan adalah gaya yang di berikan oleh bidang pada benda yang arah gaya tekan normal tegak lurus terhadap bidang. *Metal forming* adalah proses pembentukan logam dengan menggunakan gaya tekan untuk mengubah bentuk dan ukuran dari logam yang di kerjakan agar sesuai dengan benda kerja yang di inginkan (pembentukan logam). *Metal forming* di bagi menjadi beberapa jenis, salah satunya *deep drawing*. *Deep Drawing* merupakan proses pengerjaan logam yang di gunakan untuk membentuk lembaran atau plat menjadi suatu produk

pembentukannya dengan melakukan penekanan terhadap bagian dari plat (*blank*) dengan sebuah penekan (*punch*) kedalam rongga cetakan (*die*) sampai terjadi aliran material masuk kedalam cetakan. Pada proses *deep drawing* bagian *flange* akan mengalami pengecilan diameter hal ini disebabkan oleh adanya tegangan tarik dalam arah radial selain itu juga adanya tegangan tekan dalam tangsial. Tegangan tangsial ini dapat menimbulkan *buckling* pada *flange* bila ini terjadi maka akan terbentuk keriput (*wrinkling*) (Habibullah Manullang, 2020).

Dalam proses *drawing* diperlukan pengaturan tentang sejumlah gaya dan energi yang diperlukan serta kedalaman dari proses *drawing* agar tidak mengalami kecacatan maupun kegagalan proses pembuatan produk. Pada proses *drawing* atau *deep drawing*, beberapa elemen penting seperti sifat material dan parameter proses serta parameter geometri harus diperhatikan. Sifat material meliputi densitas lembaran logam, kekuatan tarik, *fracture toughness*, koefisien gesek pada logam serta kekuatan tekan. Parameter proses yang harus diperhatikan diantaranya temperatur, pelumasan, tekanan *punch* dan tekanan pada *blank-holder*. Untuk parameter geometri yang berperan penting adalah bentuk cetakan, material cetakan dan tipe dari proses *drawing* yang digunakan. Beberapa kegagalan yang terjadi pada proses *deep drawing* diantaranya adalah fenomena bergelombang (*earing*), melipat (*wrinkling*) dan robek (*tearing*). *Earing* terjadi karena ketidak seragaman sifat pada material berdasarkan arahnya (*anisotropy property*) dan gesekan yang tidak cukup. Fenomena ini terjadi pada ujung benda kerja. *Wrinkling* atau melipat bisa terjadi karena faktor gap antara cetakan atau karena material yang tidak tertarik. *Tearing* atau sobek terjadi karena cetakan yang memiliki sudut terlalu tajam (Norman Iskandar, 2018).

Dalam penelitian ini permasalahan yang perlu dikaji adalah **“PENGARUH VARIASI KETEBALAN LEMBARAN ALUMINIUM 1100 DAN LUBRIKASI PADA PROSES MICRO DEEP DRAWING**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan diatas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah, yakni:

1. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan lembaran aluminium dan lubrikasi pada proses *micro deep drawing* terhadap gaya penekanan.

2. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan lembaran aluminium dan lubrikasi pada proses *micro deep drawing* terhadap cacat pembentukan.
3. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan lembaran aluminium dan lubrikasi pada proses *micro deep drawing* terhadap *micro strain* hasil pengujian XRD.

1.3 Tujuan Penelitian

Beberapa Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi ketebalan lembaran aluminium dan lubrikasi pada proses *micro deep drawing* terhadap gaya penekanan.
2. Mengetahui pengaruh variasi ketebalan lembaran aluminium dan lubrikasi pada proses *micro deep drawing* terhadap cacat pembentukan.
3. Mengetahui pengaruh variasi ketebalan lembaran aluminium dan lubrikasi pada proses *micro deep drawing* terhadap *micro strain* hasil pengujian XRD.

1.4 Batasan Penelitian

Agar penulisan tugas akhir ini lebih terarah, maka penulis memberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Benda kerja yang digunakan berbentuk lingkaran dengan diameter 5 mm dengan ketebalan berbeda – beda yaitu, 100 μm , 200 μm , 300 μm , dan 500 μm .
2. Material yang digunakan adalah Lembaran Aluminium 1100.
3. Hasil yang akan diperoleh yaitu gaya penekanan, cacat pembentukan, dan ukuran kristal.
4. Kondisi pengujian dengan pelumasan dan tanpa pelumasan menggunakan Oli SAE 10W-40.
5. Kedalaman penekanan yang direncanakan yaitu, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm, dan 2.5 mm.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat berkontribusi dalam perkembangan ilmu dan teknologi manufaktur terutama dalam bidang *microforming*. Dan juga dari penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak yang berkaitan, yaitu mahasiswa sebagai pelaksana penelitian mampu memahami serta mengaplikasikan ilmu yang telah didapat, khususnya dalam ilmu material/metalurgi dan juga sebagai pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar S1 pada program studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sheet Metal Forming

Sheet metal forming adalah proses pengubahan bentuk lembaran logam menjadi bentuk yang sesuai dengan kita inginkan tanpa terjadinya patahan. Jenis-jenis dari sheet metal forming antara lain :

1. *Bending*
2. *Deep Drawing*
3. *Stretching*
4. *Plane - Strain Stretching* (Habibullah Manullang, 2020)

2.1.1 Definisi Deep Drawing

Deep Drawing merupakan proses pengerjaan logam yang di gunakan untuk membentuk lembaran atau plat menjadi suatu produk pembentukanya dengan melakukan penekanan terhadap bagian dari benda kerja (*blank*) dengan sebuah penekan (*punch*) kedalam rongga cetakan (*die*) sampai terjadi aliran material masuk kedalam cetakan (Aidil Gusman, 2020).

Deep drawing dan *drawing* pada intinya merupakan satu jenis proses produksi namun terdapat beberapa ahli yang membedakan dengan indek ketinggian, proses *deep drawing* mempunyai indek ketinggian yang lebih besar dibandingkan dengan *drawing*. Bahan dasar dari proses *deep drawing* adalah lembaran logam (*sheet metal*) yang disebut dengan *blank*, sedangkan produk dari hasil proses *deep drawing* disebut dengan *draw piece* (Shofiyanto, 2009).

2.1.2 Proses Deep Drawing

Proses deep drawing adalah suatu proses pengerjaan plat yang penting, merupakan bagian dari proses *combined tensile and compressive forming*. Proses *deep drawing* banyak dipakai untuk menghasilkan produk yang berupa produksi massa seperti komponen kendaraan bermotor. Proses *deep drawing* dapat didefinisikan sebagai proses pembentukan lembaran plat (*blank*) menjadi sebuah komponen berongga. Adapun cara yang digunakan yaitu *blank* ditekan ke dalam cetakan dengan menggunakan penekan/stempel (*punch*). Pada proses ini ketebalan sebelum dan

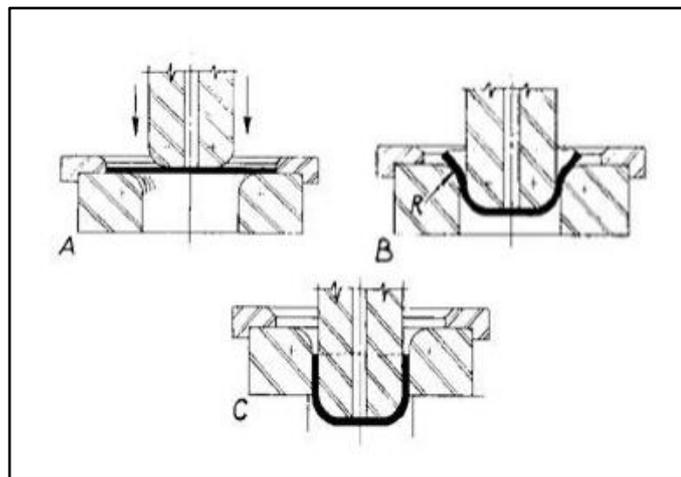
setelah dibentuk adalah kurang lebih sama atau tidak banyak berubah (Hornauer, 1959).

Proses *deep drawing* dilakukan dengan menekan material benda kerja yang berupa lembaran logam yang disebut dengan *blank* sehingga terjadi peregangan mengikuti bentuk *dies*, bentuk akhir ditentukan oleh *punch* sebagai penekan dan *die* sebagai penahan benda kerja saat di tekan oleh *punch*. pengertian dari *sheet metal* adalah lembaran logam dengan ketebalan maksimal 6 mm, lembaran logam (*sheet metal*) di pasaran dijual dalam bentuk lembaran dan gulungan.

Terdapat berbagai tipe dari lembaran logam yang digunakan, pemilihan dari jenis lembaran tersebut tergantung dari :

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

Pada umumnya berbagai jenis material logam dalam bentuk lembaran dapat digunakan untuk proses *deep drawing* seperti stainless stell, alumunium, tembaga, perak, emas, baja, maupun titanium. Gambaran lengkap proses *deep drawing* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Proses *Deep Drawing*

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

- a) Kontak awal

Pada gambar 1 A, *punch* bergerak dari atas kebawah, *blank* dipegang oleh *blank holder* agar tidak bergeser ke samping, kontak awal terjadi ketika bagian - bagian dari *die set* saling menyentuh lembaran logam (*blank*) saat kontak awal terjadi belum terjadi gaya-gaya dan gesekan dalam proses *drawing*.

b) *Bending*

Selanjutnya lembaran logam mengalami proses *bending* seperti pada gambar 1 B, *punch* terus menekan kebawah sehingga posisi *punch* lebih dalam melebihi jari-jari (R) dari *die*, sedangkan posisi *die* tetap tidak bergerak ataupun berpindah tempat, kombinasi gaya tekan dari *punch* dan gaya penahan dari *die* menyebabkan material mengalami peregangan sepanjang jari-jari *die*, sedangkan daerah terluar dari *blank* mengalami kompresi arah radial. *Bending* merupakan proses pertama yang terjadi pada rangkaian pembentukan proses *deep drawing*, keberhasilan proses *bending* ditentukan oleh aliran material saat proses terjadi.

c) *Straightening*

Saat *punch* sudah melewati radius *die*, gerakan *punch* ke bawah akan menghasilkan pelurusan sepanjang dinding *die* (gambar 1 C), lembaran logam akan mengalami peregangan sepanjang dinding *die*. Dari proses pelurusan sepanjang dinding *die* diharapkan mampu menghasilkan bentuk silinder sesuai dengan bentuk *die* dan *punch*.

d) *Compression*

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

e) *Tension*

Tegangan tarik terbesar terjadi pada bagian bawah cup produk hasil *deep drawing*, bagian ini adalah bagian yang paling mudah mengalami cacat sobek (*tore*), pembentukan bagian bawah cup merupakan proses terakhir pada proses *deep drawing* (Habibullah Manullang, 2020).

2.1.3 Komponen utama die set

Proses *deep drawing* mempunyai karakteristik khusus dibandingkan dengan proses pembentukan logam lain, yaitu pada umumnya produk yang dihasilkan memiliki bentuk tabung yang mempunyai ketinggian tertentu, sehingga *die* yang digunakan

juga mempunyai bentuk khusus, proses pembentukan berarti adalah proses *non cutting* logam. Produk yang dihasilkan dari *deep drawing* bervariasi tergantung dari desain *die* dan *punch*. Dalam satu unit *die set* terdapat komponen utama yaitu :

1) *Punch*

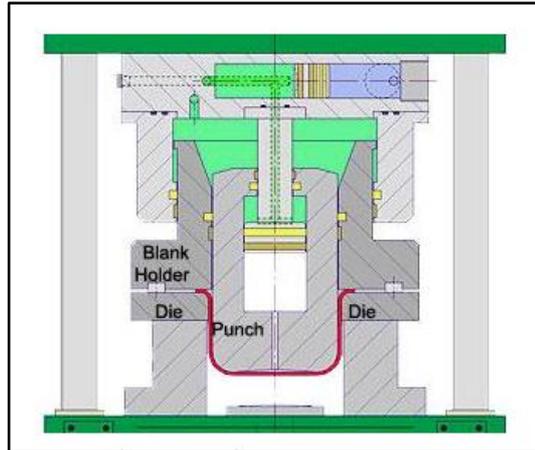
Punch merupakan bagian yang bergerak ke bawah untuk meneruskan gaya dari sumber tenaga sehingga *blank* tertekan ke bawah, bentuk *punch* disesuaikan dengan bentuk akhir yang diinginkan dari proses *drawing*, letak *punch* pada gambar 2. berada di atas *blank*, posisi dari *punch* sebenarnya tidak selalu diatas tergantung dari jenis *die drawing* yang digunakan.

2) *Blankholder*

Berfungsi memegang *blank* atau benda kerja berupa lembaran logam, pada gambar 2. *blankholder* berada diatas benda kerja, walaupun berfungsi untuk memegang benda kerja, benda kerja harus tetap dapat bergerak saat proses *drawing* dilakukan sebab saat proses *drawing* berlangsung benda kerja yang dijepit oleh *blankholder* akan bergerak ke arah pusat sesuai dengan bentuk dari *die drawing*. Sebagian jenis *blankholder* diganti dengan *nest* yang mempunyai fungsi hampir sama, bentuk *nest* berupa lingkaran yang terdapat lubang didalamnya, lubang tersebut sebagai tempat peletakan dari benda kerja agar tidak bergeser ke samping.

3) *Die*

Merupakan komponen utama yang berperan dalam menentukan bentuk akhir dari benda kerja *drawing* (*drawpiece*), bentuk dan ukuran *die* bervariasi sesuai dengan bentuk akhir yang diinginkan, konstruksi *die* harus mampu menahan gerakan, gaya geser serta gaya *punch*. Pada *die* terdapat radius tertentu yang berfungsi mempermudah reduksi benda saat proses berlangsung, lebih jauh lagi dengan adanya jari-jari diharapkan tidak terjadi sobek pada material yang akan di *drawing*. Sedangkan komponen lainnya merupakan komponen tambahan tergantung dari jenis *die* yang dipakai. Bentuk dan posisi dari komponen utama tersebut dapat dilihat pada gambar 2. (Habibullah Manullang, 2020)



Gambar 2 Bagian utama *die drawing*

2.2. Micro Deep Drawing

Microforming adalah proses untuk mereproduksi barang cetakan dalam ukuran yang jauh lebih kecil (Chi-Han Chen, 2009). Dalam definisi lain *Microforming* adalah teknologi yang cocok untuk memproduksi bagian logam yang sangat kecil, khususnya untuk produksi massal, seperti yang dibutuhkan dalam banyak produk industri yang dihasilkan dari mikroteknologi. Dibandingkan dengan teknologi manufaktur lainnya, *microforming* memiliki keunggulan ekonomis dan ekologis yang spesifik (M. Geiger, 2001). *Micro deep drawing* adalah teknik pembentukan di mana lembaran logam dideformasi di bawah tekanan mekanis menjadi bentuk tiga dimensi yang mulus. (Ronald Reurink, 2018).



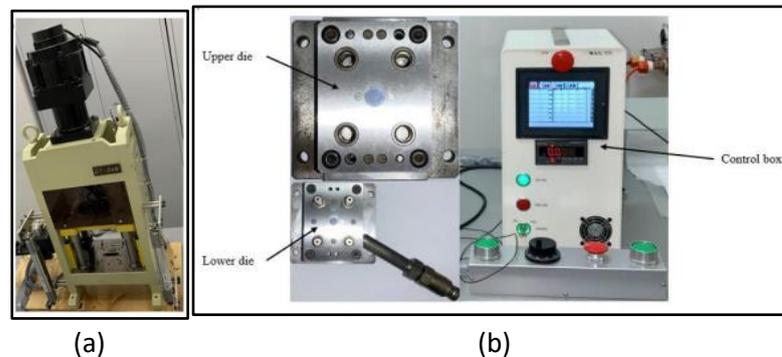
Gambar 3 Produk *micro deep drawing*

Untuk memproduksi produk seperti kotak dalam skala mikro, *micro deep drawing* dilakukan di atas meja mesin press, yang ditunjukkan pada Gambar 4 (a). Mesin press ini dapat memberikan kekuatan tekan hingga 25 KN dan kecepatan

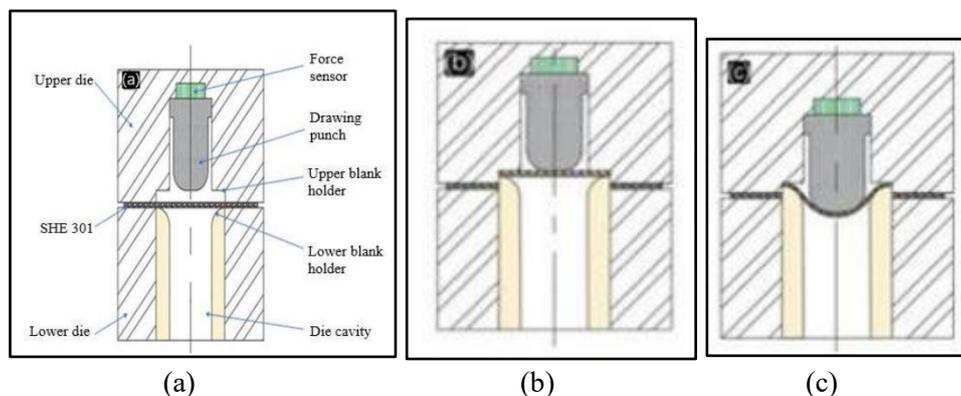
drawing dapat dikontrol oleh kotak kontrol seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 (b). Gambaran proses terjadi di *die set*, yang berisi cetakan atas dan bawah, selain itu, geometris parameter ditunjukkan pada Tabel 1. Selama *micro deep drawing*, material ditempatkan ke celah antara cetakan atas dan bawah, kemudian gaya diterapkan di atas cetakan atas. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 adalah sensor gaya, *upper blank holder* dan *punch* di cetakan atas; cetakan bawah berisi pegas, *blank holder* lebih rendah, dan *die cavity*. Gambar ini menunjukkan prinsip *micro deep drawing*, dan proses ini berisi tahap *blanking* dan tahap *drawing* (Guangqing Zhang, 2021).

Tabel 1 Parameter mesin press DT-3AW dan prosesnya

Punch diameter (mm)	Die diameter (mm)	Radius of punch fillet (mm)	Radius of die fillet (mm)	Initial blank diameter (mm)
0,8	0,975	0,3	0,3	1,6



Gambar 4 *Micro deep drawing apparatus*. (a) *Press machine DT-3AW*; (b) *MDD die set and control box*



Gambar 5 Skema proses *Micro deep drawing* (a) Tahap awal *micro deep drawing*, (b) Tahap *Blanking micro deep drawing*, (c) Tahap pembentukan *micro deep drawing*

2.3. Variabel Proses Drawing

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

1. Gesekan

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

- Pelumasan

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

- Gaya *Blank Holder*

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

- Kekasaran Permukaan *Blank*

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

- Kekasaran Permukaan *punch, die* dan *blank holder*

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

2. *Bending* dan *straightening*

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

- Radius *Punch*

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

- Radius *Die*

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

3. Penekanan

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

- *Drawability*

Drawability adalah kemampuan bahan untuk dilakukan proses *drawing*, sedangkan nilainya ditentukan oleh *Limiting Drawing Ratio* (β_{maks}), batas maksimum β_{maks} adalah batas dimana bila material mengalami proses penarikan dan melebihi nilai limit akan terjadi cacat sobek (*cracking*).

- Keuletan logam

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

- Tegangan maksimum material

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

- Ketebalan *Blank*

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

- Temperatur

Dengan naiknya temperatur akan dibutuhkan gaya penekanan yang kecil hal ini disebabkan kondisi material yang ikatan butirannya semakin meregang sehingga material mudah untuk dilakukan deformasi.

4. Diameter *Blank*

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

5. Kelonggaran

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

6. *Strain Ration*

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

7. Kecepatan *Drawing*

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

Tabel berikut adalah kecepatan maksimal beberapa jenis material yang biasa digunakan untuk *sheet metal drawing* (Ahmad Hasnan, 2006).

Tabel 2 Jenis material dan kecepatan maksimal *draw dies*

Material	Kecepatan
Aluminium	0,762 m/s
Brass	1,02 m/s
Copper	0,762 m/s
Steel	0,279 m/s
Stainless steel	0,203 m/s

2.4. Deformasi

Dalam ilmu material, deformasi adalah perubahan bentuk atau ukuran objek diterapkan karena adanya gaya. Ini bisa menjadi hasil dari tarik (menarik) kekuatan, tekan (mendorong) kekuatan, geser, membungkuk atau torsi (memutar). Deformasi sering digambarkan sebagai strain. Sebagai deformasi terjadi, internal antar-molekul muncul kekuatan-kekuatan yang menentang gaya diterapkan. Jika gaya yang diberikan tidak terlalu besar kekuatan-kekuatan ini mungkin cukup untuk diterapkan sepenuhnya menolak kekuatan, yang memungkinkan objek untuk mengasumsikan keadaan *equilibrium* baru dan kembali ke keadaan semula apabila beban dihilangkan. Gaya diterapkan yang lebih besar dapat menyebabkan deformasi permanen dari objek atau bahkan kegagalan struktural. Ada beberapa parameter yang digunakan dalam deformasi yaitu:

1) Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah gaya (F) per luas permukaan (A) yang diteruskan ke seluruh material melalui medan-medan gaya antar atom. Pada umumnya arah tegangan miring terhadap luas A tempatnya bekerja dan dapat diuraikan menjadi dua komponen, yaitu:

- a) Tegangan Normal (*Normal Stress*), tegak lurus terhadap luas A .
- b) Tegangan Geser (*Shear Stress*), bekerja pada bidang luas A atau yang sejajar dengan luas A

2) Regangan (*Strain*)

Perpindahan partikel suatu benda elastis selalu menimbulkan terjadinya perubahan bentuk benda tersebut. Perubahan bentuk suatu benda elastik dikaitkan dengan regangan, maka perubahan bentuk tersebut dipandang sebagai perubahan bentuk yang kecil.

3) Rotasi

Rotasi merupakan perubahan posisi materi tanpa mengalami perubahan bentuk yang membentuk perubahan sudut terhadap koordinat acuan.

2.4.1 Deformasi Elastis

Deformasi elastis adalah deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi pada suatu benda saat gaya atau beban itu bekerja, dan perubahan bentuk akan hilang ketika gaya atau bebannya ditiadakan. Artinya, bila beban ditiadakan, maka benda akan kembali ke bentuk dan ukuran semula.

2.4.2 Deformasi Plastis

Deformasi plastis adalah deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi pada benda secara permanen, walaupun beban yang bekerja ditiadakan.

2.4.3 Deformasi Total

Bila suatu benda kerja dikenai beban sampai pada daerah plastis, maka perubahan bentuk yang terjadi adalah gabungan antara deformasi elastis dan deformasi plastis. Penjumlahan dari kedua deformasi ini merupakan deformasi plastis. Bila beban yang bekerja ditiadakan, maka deformasi elastis akan hilang juga, sehingga yang tertinggal adalah deformasi plastis. Jadi deformasi plastis merupakan deformasi yang tertinggal setelah gaya bekerja dilepas, atau setelah benda kerja menjadi produk baru. Sederhananya, produk akhir dari sebuah proses deformasi merupakan produk yang memiliki deformasi plastis (Choirul, 2019).

2.5. Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb. Secara satu persatu atau Bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material

pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi (Kusno Kamil,2018). Aluminium berwarna putih kebiru-biruan, lebih keras dari timah putih, tetapi lebih lunak daripada seng. Aluminium mempunyai kekuatan tarik sebesar 10 kg/mm, dan untuk memperbaiki sifat mekanis dari bahan logam aluminium, bahan aluminium ditambah unsur paduan.

Logam aluminium mempunyai karakteristik tersendiri dibandingkan dengan logam lain diantaranya adalah:

1. Aluminium semakin tangguh pada suhu rendah
2. Kecepatan rambat panas tinggi
3. Melting point rendah
4. Mempunyai kekuatan yang tinggi
5. Mudah dibentuk
6. Penghantar panas dan arus yang baik
7. Permukaan mengkilap (3 kali lebih mengkilap dari pada besi)
8. Tahan korosi (terdapat lapisan oksida)
9. Tidak beracun

Unsur – Unsur Paduan Logam Aluminium:

- a. Besi (Fe); Penambahan unsur besi pada aluminium dapat mengurangi terjadinya keretakan panas.
- b. Manganase (Mn); Aluminium yang ditambahi unsur mangan dapat memperbaiki ductility pada logam aluminium.
- c. Silicon; Penambahan unsur silicon akan memengaruhi aluminium tahan terhadap korosi tetapi sulit dimachining.
- d. Copper; Unsur copper dapat mempengaruhi logam aluminium mudah dimesin.
- e. Magnesium; Penambahan unsur magnesium pada logam aluminium akan memperbaiki sifat kekuatan, tetapi sulit pada pekerjaan proses penuangan.
- f. Zinc; Penambahan unsur seng akan memperbaiki sifat logam aluminium tahan terhadap korosi dan mengurangi terjadinya keretakan panas dan pengerutan (Darsin, 2012).

2.5.1 Sifat – Sifat Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol (sma). Struktur kristal aluminium adalah struktur kristal FCC, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Keuletan yang tinggi dari aluminium menyebabkan logam tersebut mudah dibentuk atau mempunyai sifat mampu bentuk yang baik. Aluminium memiliki beberapa kekurangan yaitu kekuatan dan kekerasan yang rendah bila dibanding dengan logam lain seperti besi dan baja. Aluminium memiliki karakteristik sebagai logam ringan dengan densitas 2,7 g/cm (Setyaji, 2012).

Selain sifat-sifat tersebut aluminium mempunyai sifat-sifat yang sangat baik dan bila dipadu dengan logam lain bisa mendapatkan sifat-sifat yang tidak bisa ditemui pada logam lain. Adapun sifat-sifat dari aluminium antara lain : ringan, tahan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik. Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium (Utama, 2009). Lapisan oksida ini melekat pada permukaan dengan kuat dan rapat serta sangat stabil (tidak bereaksi dengan lingkungannya) sehingga melindungi bagian yang lebih dalam. Adanya lapisan oksida ini disatu pihak menyebabkan tahan korosi tetapi di lain pihak menyebabkan aluminium menjadi sukar dilas dan disolder (titik leburnya lebih dari 2000° C). (Kusumo,2021)

Sifat fisik dan mekanik aluminium dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut :

Tabel 3 Sifat – sifat fisik Aluminium

Sifat - sifat	Kemurnian Al(%)	
	99,996	>99,0
Massa Jenis (20°C)	2,6989	2,71
Titik Cair	660,2	653 – 657
Panas Jenis (cal/g. °C)(100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperature (/°C)	0,00429	0,0115

Koefisien Penuaan (20-100°C)	23,86x10 ⁻⁶	23,5x10 ⁻⁶
Jeni Kristal, konstanta kisi	FCC, a = 4,013 kx	FCC, a = 4,04 kx

Tabel 4 Sifat – sifat mekanik Aluminium

Sifat - sifat	Kemurnian Aluminium (%)			
	99,996		>99.0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

Tabel 3 menunjukkan sifat-sifat fisik Al dan Tabel 4 menunjukkan sifat - sifat mekaniknya. Ketahanan korosi berubah menurut kemurnian, pada umumnya untuk kemurnian 99,0 % atau di atasnya dapat dipergunakan di udara tahan dalam bertahun-tahun. Hantaran listrik Al, kira-kira 65 % dari hantaran listrik tembaga, tetapi masa jenisnya kira-kira sepertiganya sehingga memungkinkan untuk memperluas penampangnya. Oleh karena itu dapat dipergunakan untuk kabel tenaga dan dalam berbagai bentuk umpamanya sebagai lembaran tipis (foil). Dalam hal ini dipergunakan Al dengan kemurnian 99,0%. Untuk reflektor yang memerlukan reflektifitas yang tinggi juga untuk kondensor elektronik dipergunakan aluminium dengan kemurnian 99,99% (Setyaji, 2012).

2.5.2 Paduan Aluminium

Memadukan aluminium dengan unsur lainnya merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat aluminium tersebut. Paduan adalah kombinasi dua atau lebih jenis logam, kombinasi ini dapat merupakan campuran dari dua struktur kristalin. Paduan dapat disebut juga sebagai larutan padat dalam logam. Larutan padat mudah

terbentuk bila pelarut dan atom yang larut memiliki ukuran yang sama dan struktur elektron yang serupa. Larutan dalam logam utama tersebut memiliki batas kelarutan maksimum. Paduan yang masih dalam batas kelarutan disebut dengan paduan logam fasa tunggal. Sedangkan paduan yang melebihi batas kelarutan disebut dengan fasa ganda. Peningkatan kekuatan dan kekerasan logam paduan disebabkan oleh adanya atom-atom yang larut yang menghambat pergerakan dislokasi dalam kristal sewaktu deformasi plastis. Paduan aluminium diklasifikasikan oleh banyak negara di dunia salah satunya yang paling terkenal adalah *Standart Aluminium Association* (AA) di Amerika yang didasarkan atas standar terdahulu. Paduan aluminium dapat di klasifikasikan dengan tiga cara yaitu:

- a) Berdasar pembuatan dengan klasifikasi paduan cor serta paduan tempa.
- b) Berdasar perlakuan panas dengan klasifikasi dapat diperlakukan panas atau tidak dapat diperlakukan panas.
- c) Berdasar unsur – unsur paduan

Menurut Wiryosumarto & Okumura tahun 2000 pada klasifikasi aluminium berdasarkan dari kandungan unsur – unsur paduan, aluminium dibagi menjadi tujuh jenis yaitu :

1) Jenis Al – murni teknik (seri 1000)

Jenis ini memiliki tingkat kemurnian antara 99,0% - 99,9%. Aluminium pada seri ini memiliki sifat tahan terhadap korosi yang baik, konduksi panas dan listrik yang baik, serta memiliki sifat mampu potong dan mampu las yang sangat bagus namun kekurangan yang dimiliki sangat rendah.

2) Jenis Al – Cu (seri 2000)

Jenis pada paduan ini memiliki sifat dapat diperlakukan panas. Dengan melalui proses penguatan endap atau penyepuhan sifat mekanik, paduan ini akan menyamai sifat dari baja lunak namun kelemahan dari paduan ini adalah memiliki tingkat tahan terhadap korosi yang rendah, sifat mampu las yang rendah maka dari itu paduan ini bisa digunakan pada konstruksi keling dan banyak digunakan pada konstruksi produksi pesawat terbang.

3) Jenis paduan Al – Mn (seri 3000)

Pada paduan ini tidak dapat diperlakukan panas sehingga dalam proses penarikan kekuatan dari paduan ini hanya bisa memaksimalkan dari pengerjaan dingin.

4) Jenis paduan Al – Si (seri 4000)

Pada paduan jenis ini juga merupakan paduan yang tidak dapat diperilaku pamaskan. Paduan ini memiliki sifat mampu alir yang baik sehingga dlam proses pembuatan paduan ini hampir tidak terjadi retak. Dengan sifat yang dimiliki paduan ini, maka paduan Al jenis ini banyak digunakan sebagai material dari logam las pada padual aluminium baik cor maupun tempa.

5) Jenis paduan Al – Mg (seri 5000)

Pada paduan jenis ini merupakan paduan yang tidak dapat diperlakukan panas, tapi sangat baik dalam ketahanan dalam menghadapi korosi terutama korosi terhadap air laut, dan dalam sifat mampu lasnya. Biasa digunaka pada kontruksi umum dan tangki – tangki gas alam cair dan oksigen cair.

6) Jenis paduan Al – Mg – Si (seri 6000)

Pada paduan jenis ini merupakan paduan yang dapat diperilaku panaskan serta memiliki sifat mampu potong, mampu las, serta daya tahan terhadap korosi yang baik. Kekurangan dari paduan ini adalah terjadi pelunakan pada bagian las akibat dari panas pengelasan.

7) Jenis paduan Al – Zn (7000)

Paduan jenis ini termasuk dalam paduan yang dapat di perilaku panaskan. Pada paduaduan Al – Zn biasanya ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tarik dari paduan ini mencapai 70 kg/mm², sehingga paduan ini disebut juga ultra duralumin. Sedangkan kekurangannya yaitu sifat mampu las dan tahan korosi yang kurang menguntungkan (I Dewa Made Krishna, 2009).

2.5.3 Aluminium 1100

Aluminium 1100 ialah salah satu paduan aluminium terlembut dan karenanya tidak digunakan untuk aplikasi kekuatan tinggi atau tekanan tinggi. Meskipun sering dikerjakan dengan dingin, aluminium murni dapat juga dikerjakan dengan panas, tetapi lebih sering dibentuk pada proses spinning, stamping, dan drawing yang tidak membutuhkan panas yang tinggi. Pada penelitian ini logam alumunium yang digunakan adalah alumunium seri lxxx yaitu AA 1100. Aluminium ini dikenal sebagai aluminium yang memiliki ketahanan korosi yang sangat bagus, konduktivitas listrik serta sifat mampu bentuk yang baik. Aluminium AA 1100 ini biasanya digunakan untuk pembuatan pelat nama, heat exchanger, kemasan bahan

kimia dan berbagai jenis makanan, berbagai peralatan penyimpan serta perakitan komponen pengelasan lainnya. Adapun komposisi kimia aluminium AA 1100 ditunjukkan pada Tabel 5 dibawah ini (Angger Sudrajat, 2012).

Tabel 5 Komposisi Aluminium AA 1100 berdasarkan *Actual Mill Chemical and Mechanical Property Test Report In Imperial Nomenclature*

%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Ti	%Zn	%Al	UTS (N/mm ²)	Elong (%)
0,14	0,56	0,08	0,01	0,01	0,01	0,02	99,08	119,5	10

2.6. Limit Drawing Ratio (LDR)

Drawability atau kemamputarikan suatu logam ditentukan oleh perbandingan antara diameter awal bahan baku terhadap diameter produk. Untuk bahan tertentu, terdapat perbandingan tarikan batas yang menyatakan ukuran bahan baku terbesar yang dapat ditarik melalui cetakan tanpa sobek. Batasan maksimum dari limit drawing ratio (β maksimum) dapat diperoleh pada Tabel 6. untuk beberapa material dengan berbagai harga β_{maks} (Wisnu Tri Yulianto, 2007).

Tabel 6 Harga β_{maks} untuk beberapa material

Material Kind	β_{maks}
Steel Sheet depending on quality	1,8 - 2,2
Aluminium, Copper, Al, Cu, Mg Sheets	2,1
Bross Sheet depending on presstrain	1,7 - 2,2

LDR, yang dipengaruhi oleh sifat mekanik material, radius *punch* dan *die*, jarak antara *punch* dan *die*, gaya *blank holder*, dan kondisi gesekan, cukup penting dalam industri untuk memanfaatkan sepenuhnya kemampuan pembentukan material, bahan baku dan mengurangi biaya produksi. Rasio *drawing* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Persamaan.

$$K = D/d \quad (1)$$

Dimana D adalah diameter *drawing blank*, d adalah diameter *diameter punch* (Feng Gong dkk, 2014).

2.7. Koefisien Gesek (μ)

Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya cacat, selain memilih jari jari cetakan ideal dan dengan pengamatan dari besarnya cetakan *blank holder*, maka sangat disarankan untuk memberikan pelumasan ketika proses pembentukan berlangsung, dimana pelumasan ini hanya diberikan didaerah gesekan antara benda kerja (*Blank*) dengan *Blank Holder* maupun cetakan. Dengan memberikan pelumas, maka gesekan menjadi lebih kecil, Harga koefisien gesek dipengaruhi oleh :

- jenis material yang mengalami gesekan
- kekerasan permukaan dari hasil permesinan
- pelumasan (jenis pelumasan) yang menimbulkan lapisan film pada permukaan (Wisnu Tri Yulianto, 2007).

Tabel 7 Harga Koefisien Gesek μ dalam prses pembentukan

PROCESS	Coefficient of Friction (μ)	
	Pelumasan	Tanpa Pelumasan
Rolling	0,05 – 0,1	0,2 – 0,7
Forging	0,05 – 0,1	0,1 – 0,2
Drawing	0,03 – 0,1	0,1 – 0,2
Sheet-Metal Forming	0,05 – 0,1	0,1 – 0,2
Machinig	0,5 – 2	

2.8. Pelumasan

Pemilihan pelumas yang baik/tepat tergantung pada material benda kerja, permukaannya dan juga material dari tool dan permukaannya. Pelumas yang utama untuk *deep drawing* diberikan pada Tabel 8

Tabel 8 Pelumas untuk *deep drawing*

	Animal	Vegetable	Mineral
Oils	Whale oil	Rape oil Linseed oil Castor oil	Cylinder oir Karosene Carbide oil
Greases	Stearin Wool grease		Lubrication grease Vaseline

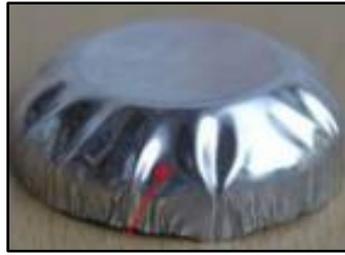
Penambah (*additive*) seperti grafit (*graphite*), *zinc sulfide*, *lime*, *chalk*, *halogen and phosphorus compounds* atau *white lead oxide* sering ditambahkan pada minyak mineral untuk meningkatkan kestabilan pada tekanan yang tinggi. Beberapa dari kandungan ini bersifat racun. Pelumas padat seperti, *metal soaps*, *molybdenum disulfide* dan *coloidal graphite*, juga sering dipakai dalam *deep drawing*. Bahan-bahan ini mampu mencegah hubungan langsung antara matres dan blank. Penyelidikan oleh Wiegand dan Kloos dan Kramer menunjukkan bahwa *metal soaps* memberikan pelumasan yang lebih baik daripada minyak pelumas. Kramer menemukan terjadi penurunan sebesar 8% beban *drawing* ketika sebuah plat *deep drawing* st 1302 (AISI 1008) dibentuk dengan matres baja perkakas dengan menggunakan pelumas *cadmium stearate* dibandingkan dengan menggunakan minyak mesin. Pengukuran penyelesaian permukaan membuktikan bahwa tekstur mikro pada permukaan cup yang dibentuk dengan pelumasan *cadmium stearate* sama dengan tekstur dari *blank*, menunjukkan tidak ada kontak langsung antara *blank* dan *matre*. Kerugian dari pelumas padat terletak pada kesulitan dalam pemakaian dan menghilangkannya setelah proses (Wiegand, 1960).

2.9. Cacat Micro Deep Drawing

Jenis kegagalan yang harus diperhatikan dalam proses *micro deep drawing* adalah kerutan (*wrinkling*), sobek (*tearing*), dan *earing* (Syamsul Hadi, 2014).

a) Kerutan (*Wrinkling*)

Kerutan merupakan pelipatan material yang terjadi pada dinding atau flens pada produk kaleng yang disebabkan oleh aliran dari material yang tidak dipegang atau dikendalikan oleh pemegang material. Kerutan dapat dihilangkan dengan memberikan gaya pengendali *blank* pada saat material mengalir pada proses *drawing* atau dengan mengganti material yang mempunyai kekerasan yang berbeda. Gaya pengendali *blank* didapatkan dengan memanfaatkan gaya pegas dengan konstanta tertentu (Iqnatius elik kristiyono, 2017). Alasan utama dari cacat kerutan (*wrinkling*) adalah tidak mampu menahan BHF (*Blank Holder Force*). Menurut pengalaman di dunia manufaktur, menunjukkan bahwa kerutan (*wrinkling*) ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti sifat mekanik dari lembar aluminium, geometri benda, kondisi kontak termasuk efek pelumasan dan proses kondisi batas (Wahyu Ahmad, 2015)



Gambar 6 Cacat *wrinkling* pada lingkaran cup

b) Sobek (*tearing*)

Tearing terjadi di dekat dasar material yang ditarik dan hasilnya dari tegangan tinggi pada dinding vertikal yang menyebabkan penipisan dan kegagalan logam di sekitar itu (A. R. Joshi, 2013).



Gambar 7 Cacat *tearing*

c) *Earing*

Earing adalah salah satu cacat utama yang diamati selama proses deep drawing karena sifat anisotropik lembaran logam. *Earing* didefinisikan sebagai pembentukan gelombang pada bagian paling atas dari cangkir yang dilakukan penarikan dalam. Cacat *earing* pada proses deep drawing disebabkan oleh karakteristik material yang digunakan sebagai blanko. (Harit Raval, 2015)

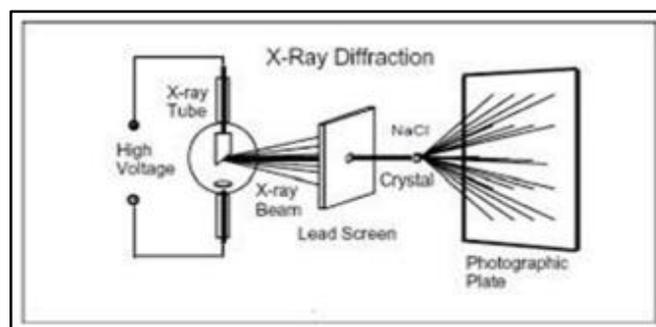


Gambar 8 Cacat *earing*

2.10. Pengujian XRD

XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak-puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf. Menurut Mukti (2012), XRD merupakan salah satu alat yang memanfaatkan prinsip dari brag Hukum Bragg dengan menggunakan metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel (Yoga Bawono Aji, 2020).

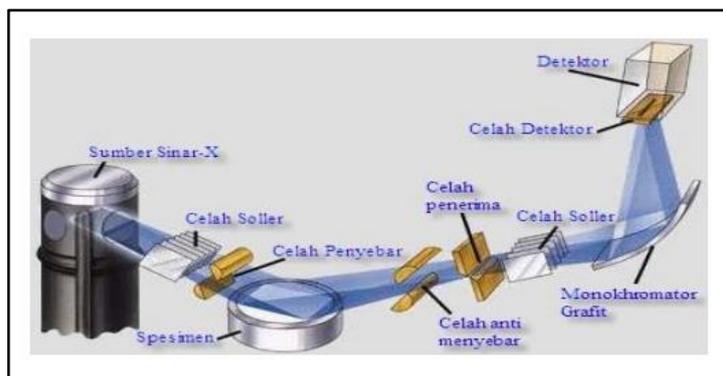
Pengujian XRD ini dilakukan untuk mengetahui fasa yang terjadi dan untuk mengetahui distribusi ukuran kristal yang terjadi pada aluminium 1100. Prinsip kerja pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Gambar 11 menunjukkan prinsip kerja pengujian XRD. Pengujian dilakukan dengan mesin PAN Analytical XRD. Sampel yang digunakan untuk pengujian XRD ini harus memiliki ketinggian tidak lebih dari 4 mm (Anam, A. K. (2020).



Gambar 9 Prinsip kerja XRD

Tahapan kerja *X-ray diffraction* (XRD) terdiri dari 4 tahap, yaitu: produksi, difraksi, deteksi dan interpretasi. Untuk dapat melakukann fungsinya, *X-ray diffraction* (XRD) dilengkapi komponen-komponen penting seperti: tabung sinar-X,

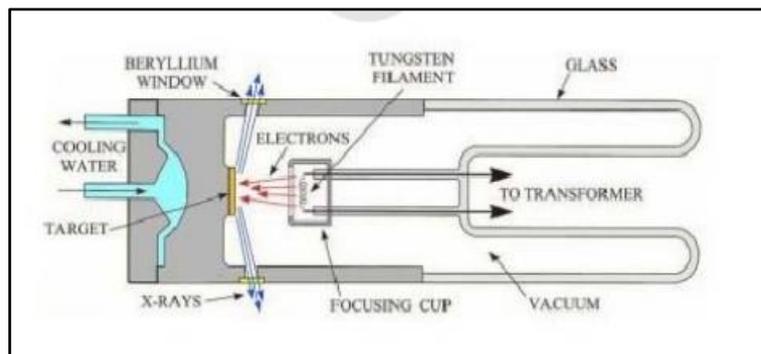
monochromator, *detector*, dan lain-lain. Dibawah ini merupakan gambar komponen-komponen *X-ray diffraction* (XRD).



Gambar 10 Komponen-komponen *X-ray diffraction* (XRD)

a. Produksi

Pada tahap ini, elektron yang dihasilkan ketika *filamen* (katoda) dipanaskan akan dipercepat akibat perbedaan tegangan antara *filamen* (katoda) dan logam target (anoda) sehingga terjadi tumbukan dengan logam target. Tumbukan antara elektron yang dipercepat tersebut dengan logam target akan menghasilkan radiasi sinar-X yang akan keluar dari tabung sinar-X dan berinteraksi dengan struktur kristal material yang akan diuji. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 11 Tabung sinar-X

b. Difraksi

Pada tahap ini, radiasi sinar-X yang telah dihasilkan oleh tabung sinar-X akan berinteraksi dengan struktur kristal material yang diuji. Material yang akan dianalisis struktur kristalnya harus berada dalam fasa padat karena dalam kondisi tersebut kedudukan atom-atomnya berada dalam susunan yang sangat teratur sehingga membentuk bidang-bidang kristal. Ketika suatu berkas sinar-X diarahkan pada bidang-bidang kristal tersebut, maka akan timbul pola-pola difraksi sinar-X melewati celah-celah kecil di antara bidang-bidang kristal tersebut. Gambar 12

menunjukkan difraksi yang terjadi. Pola-pola difraksi tersebut sebenarnya menyerupai pola gelap dan terang. Pola gelap terbentuk ketika terjadi interferensi destruktif, sedangkan pola terang terbentuk ketika terjadi interferensi konstruktif dari pantulan gelombang-gelombang sinar-X yang saling bertemu. Interferensi konstruktif tersebut terjadi sesuai dengan Hukum Bragg. Hukum Bragg merupakan hubungan antara panjang gelombang sinar datang, sudut datang, dan jarak antara bidang kisi kristal.

$$n \lambda = 2d \sin \theta \quad (2)$$

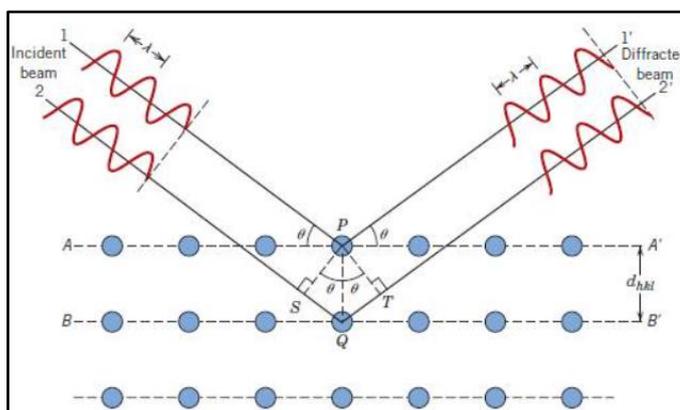
Dimana:

n : urutan difraksi

λ : panjang gelombang sinar-X

d : jarak antar bidang kristal

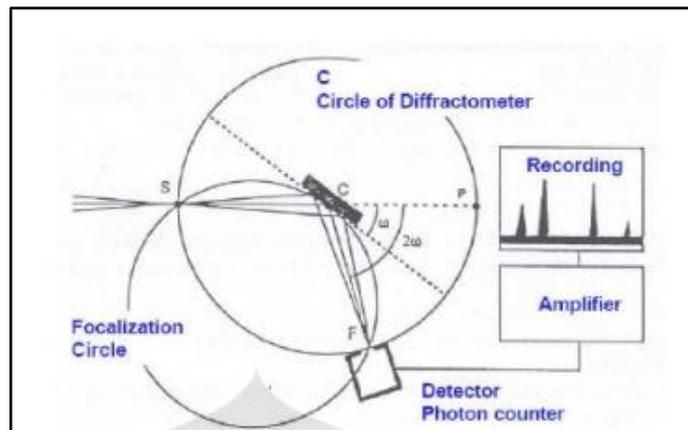
θ : sudut difraksi



Gambar 12 Difraksi radiasi sinar-X dalam struktur kristal

c. Deteksi

Interferensi konstruktif radiasi sinar-X hasil difraksi struktur kristal material yang diuji selanjutnya akan dideteksi oleh detektor. Agar detektor dapat mendeteksi interferensi konstruktif radiasi sinar-X hasil difraksi struktur kristal material yang diuji dengan tepat, maka posisinya harus berada tepat pada arah sudut pantul radiasi sinar-X tersebut. Ilustrasi deteksi dan interpretasi sinar-X dapat dilihat pada gambar 13.

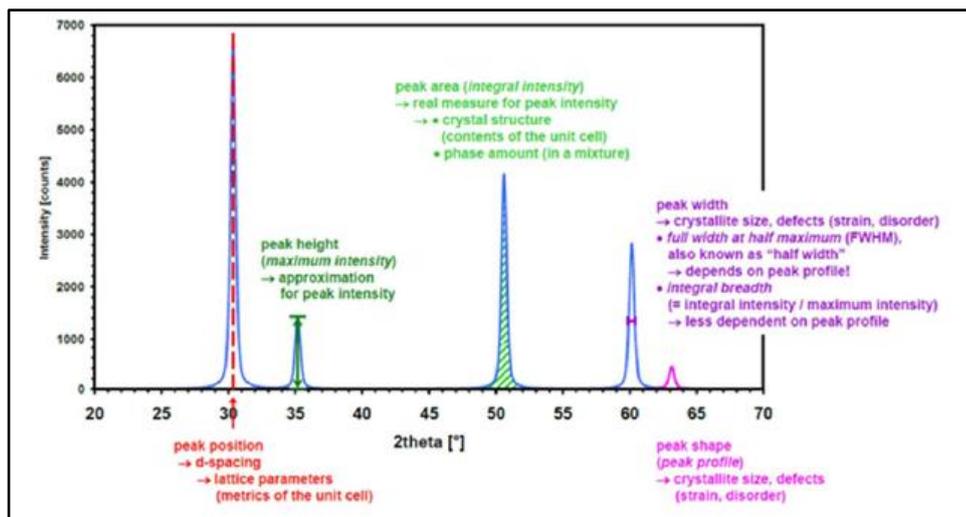


Gambar 13 deteksi dan interpretasi difraksi sinar-X

d. Interpretasi

Interpretasi konstruktif radiasi sinar-X gambar 13 yang telah dideteksi oleh detektor selanjutnya akan diperkuat gelombangnya dengan menggunakan *amplifier*. Lalu interferensi konstruktif radiasi sinar-X tersebut akan terbaca secara spektroskopi sebagai puncak-puncak grafik yang ditampilkan oleh layar komputer. Dengan menganalisis puncak-puncak grafik tersebut struktur kristal suatu material dapat diketahui (Reza Rahman, 2008).

Karakterisasi material adalah suatu metode untuk mendapatkan informasi tentang komposisi, struktur, dan cacat dari suatu material dengan atau tanpa menimbulkan kerusakan pada sampel. Salah satu teknik yang digunakan untuk melakukan karakterisasi suatu material adalah dengan cara menggunakan *X-ray diffraction* (XRD). Dalam karakterisasi dengan menggunakan XRD, sampel yang berupa kristal biasanya dibedakan antara monokristalin atau kristal tunggal dengan polikristalin atau bubuk. Monokristalin atau kristal tunggal adalah suatu material yang atom-atomnya tersusun secara teratur dan berulang secara sempurna tanpa cacat dan memiliki keteraturan dalam jangka panjang, mempunyai penampang sekitar 0,3 mm. Sedangkan polikristalin atau bubuk adalah suatu materi yang terdiri dari banyak kristal, memiliki permukaan bidang yang halus, dengan luas penampang sekitar 0,002 mm hingga 0,005 mm. Hasil karakterisasi suatu material dengan menggunakan difraksi sinar X dinyatakan dalam bentuk grafik yang disebut dengan difraktogram. Grafik difraktogram digambarkan dalam hubungan antara intensitas sebagai ordinat dan 2θ sebagai absis. Pola difraktogram sinar X dapat memberikan informasi tentang penataan atom dalam suatu material bersifat teratur, kurang teratur atau bahkan tidak teratur.



Gambar 14 Informasi pola difraksi ideal

Ket :

1. *Peak height*/tinggi puncak, menggambarkan perkiraan intensitas puncak
2. *Peak area*/Area puncak (intensitas integral), menggambarkan struktur kristal dan jumlah fasa
3. *Peak width*/lebar puncak, menggambarkan ukuran kristal dan cacat kristal
4. *Peak shape*/bentuk puncak, menggambarkan ukuran kristal dan cacat kristal
5. *Peak position*/posisi puncak, menggambarkan parameter kisi dan jarak

Luas puncak/kurva dari suatu difraksi sinar-X dipengaruhi oleh ukuran kristal sebagaimana diperlihatkan oleh persamaan Scherrer.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3)$$

Ket:

D : ukuran kristal

K : konstanta (besarnya tergantung pada faktor bentuk kristal)

λ : panjang gelombang sinar x ($\lambda = 0.1540$ nm)

β : lebar setengah puncak maksimum (FWHM/*Integral Breadth*)

θ : sudut difraksi

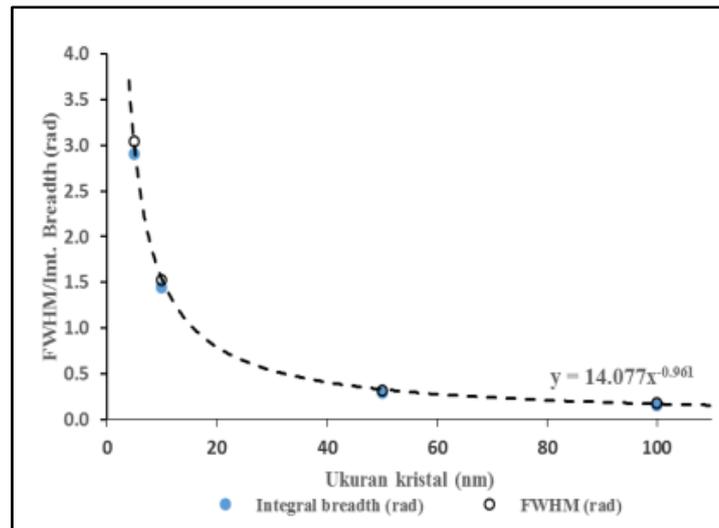
Nilai K sebenarnya bervariasi dari 0.62 sampai 2.08. Nilai yang umumnya digunakan untuk K adalah 0.94 jika FWHM (*Full Width at Half Maximum*) atau *Integral Breadth*. Hubungan ini ditunjukkan oleh nilai FWHM/*Integral Breadth* terhadap ukuran kristal terutama dalam ukuran orde nanometer seperti yang ditunjukkan pada gambar 15. Selain perhitungan Scherrer, ada satu metode

perhitungan untuk menghitung kristal yaitu Williamson-Hall. Williamson dan Hall (1953) mengusulkan sebuah metode baru untuk menganalisis puncak dari hasil XRD hingga diperoleh ukuran kristal dan juga *microstrain*. Williamson mendefinisikan rumus faktor *microstrain* sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta} \quad (4)$$

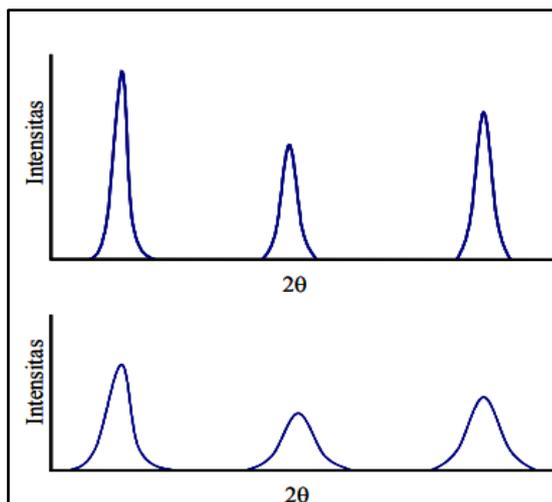
Ket:

ε : regangan mikro dalam radian



Gambar 15 hubungan antara FWHM (*Full Width at Half Maximum*) terhadap ukuran kristal dan *Integral Breadth* suatu puncak difraksi dalam skala nanometer

Gambar tersebut memperlihatkan hubungan antara ukuran partikel terhadap FWHM dan *Integral Breadth*. Hal ini mengindikasikan bahwa profil kurva suatu puncak difraksi akan melebar terutama untuk ukuran kristal apabila ukuran partikel kurang dari 100 nm. Puncak-puncak difraksi pada spektra difraksi menunjukkan pelebaran (perluasan) karena ukuran dan regangan partikel. Lebar puncak difraksi dapat digunakan untuk memperkirakan ukuran rata-rata partikel (Ravi Sharma, 2012).



Gambar 16 Intensitas *peak* XRD

Pada gambar 16 ilustrasi perbedaan lebar puncak difraksi, kristal yang berukuran besar dengan satu orientasi menghasilkan puncak difraksi yang mendekati garis vertikal. Kristal yang sangat kecil menghasilkan puncak difraksi yang sangat lebar. Lebar puncak difraksi tersebut memberikan informasi tentang ukuran kristal. Makin lebar puncak difraksi sinar-X maka makin kecil ukuran kristal. Ukuran kristal yang menghasilkan pola difraksi pada gambar 16 (bawah) lebih kecil daripada ukuran kristal yang menghasilkan pola difraksi pada gambar 16 (atas). Mengapa ukuran kristal yang kecil menghasilkan puncak yang lebar? Penyebabnya karena kristal yang kecil memiliki bidang pantul sinar-X yang terbatas. Puncak difraksi dihasilkan oleh interferensi secara konstruktif cahaya yang dipantulkan oleh bidang-bidang kristal (Mikrajuddin Abdullah, 2009).