

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH PARAMETER EKSTRUSI TERHADAP
GAYA TEKAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN HASIL
EKSTRUSI ALUMINIUM 6061 COR**

OLEH:

INDAR JAYA

D21114025



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH PARAMETER EKSTRUSI TERHADAP GAYA
TEKAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN HASIL EKSTRUSI
ALUMINIUM 6061 COR**

OLEH :

INDAR JAYA

D211 14 025

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Judul:

ANALISIS PENGARUH PARAMETER EKSTRUSI TERHADAP GAYA TEKAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN HASIL EKSTRUSI ALUMINIUM 6061 COR

OLEH :

INDAR JAYA

D211 14 025

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I



Dr. Hairul Arsyad, ST., MT.

NIP. 19750322 200212 1 001

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST.MT.

NIP. 19740415 199903 1 001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Mesin
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Isjaluddin, ST., MT.

NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Indar Jaya

NIM : D211 14 025

JUDUL SKRIPSI : Analisis Pengaruh Parameter Ekstruksi Terhadap Gaya Tekan Dan Kekerasan Permukaan hasil Ekstruksi Aluminium 6061 COR

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi Ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan – bahan yang telah dipublikasi sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat,

Makassar ,27/11/2020

Yang membuat pernyataan,



Indar Jaya

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

Nama lengkap : INDAR JAYA
Nama Panggilan : Indar
Tempat / Tanggal Lahir : Uluale, 13 April 1996
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Golongan Darah : B
Alamat : Perumahan Daya Indah Persada Blok B08.No.11
Telepon / No. HP : 0851 4548 4341
E-mail : indarjaya47@yahoo.com



RIWAYAT PENDIDIKAN

- SDN 3 Carawali (2002-2008)
- SMPN 1 Watang Pulu (2008-2011)
- SMKN 1 Watang Pulu (2011-2014)
- Universitas Hasanuddin (2014-2020)

RIWAYAT ORGANISASI

- OKFT-UH
- HMM FT-UH

ABSTRAK

Indar Jaya (D211 14 025). Analisis Pengaruh Parameter Ekstrusi Terhadap Gaya Tekan Dan Kekasaran Permukaan Hasil Ekstrusi Aluminium 6061 Cor. (Dibimbing oleh Dr. Hairul Arsyad, ST., MT. Dan Dr. Eng Lukmanul Hakim. ST., MT.)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui (1) Pengaruh kecepatan ekstrusi terhadap kekerasan hasil ekstrusi pada aluminium seri 6061 cor, (2) Pengaruh kecepatan ekstrusi terhadap gaya tekan hasil ekstrusi pada aluminium seri 6061 cor, (3) Pengaruh kecepatan terhadap kekasaran hasil ekstrusi pada aluminium seri 6061 cor, (4) Struktur mikro hasil ekstrusi pada aluminium seri 6061 cor.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan yang meningkat pada spesimen yang telah diberi perlakuan panas aluminium 6061-T6 dengan penekanan atau ekstrusi 2 mm/menit dan tanpa pelumasan memiliki nilai sebesar 82,46 HRF. Hal ini disebabkan karena adanya proses *artificial aging* setelah perlakuan pelarutan pada perlakuan panas aluminium 6061-T6. Dari pengujian Struktur mikro aluminium dengan perlakuan panas 6061-T6 memiliki ukuran butir yang kecil, serta ukuran butirannya terlihat lebih rapat dan proses perlakuan pelarut dan perlakuan melarutkan Mg₂Si kembali kedalam matriks aluminium, sedangkan aluminium yang diberi perlakuan panas 6061-O tidak terlihat garis/ batas butirnya dan hanya menampilkan sebuah fasa yaitu aluminium solid berwarna putih yang merupakan unsur utama dari aluminium seri 6061 dan fasa Mg₂Si ditunjukkan dengan warna hitam. Sedangkan aluminium 6061 tanpa perlakuan panas memiliki ukuran butir yang lebih besar serta tidak beraturan. Pengujian kekasaran permukaan / hasil kekasaran permukaan hasil ekstrusi menunjukkan nilai kekasaran lebih kecil (lebih halus) yaitu 1,66 µm pada aluminium 6061-T6 pada proses ekstrusi dan penggunaan media pendingin dapat meningkatkan kualitas hasil ekstrusi.

Kata kunci: Aluminium 6061 Cor, Perlakuan Panas, Struktur Mikro, Kekerasan, Kekasaran, Pelumasan, Media Pendingin.

ABSTRAK

Indar Jaya (D211 14 025). *Analysis of the Effect of Extrusion Parameters on the Compressive Force and Surface Roughness of the 6061 Cast Aluminum Extrusion Results.* (Supervised by Dr. Hairul Arsyad, ST., MT. and Dr. Eng Lukmanul Hakim. ST., MT.)

This study aims to determine (1) The effect of extrusion speed on the hardness of the extruded product in aluminum series 6061 cast, (2) The development of extrusion speed on the compressive force of extruded products in aluminum series 6061 cast, (3) The result of the rate on the roughness of extruded products in aluminum series. (4) The microstructure of extruded products on cast aluminum series 6061.

The results showed that the increased hardness value in the specimens that had been heat treated with aluminium 6061-T6 with a press or extrusion of 2 mm/minute and without lubrication had a value of 82,46 HRF. This is due to the artificial aging process after the dissolution treatment in the 6061-T6 aluminium heat treatment, the microstructure of aluminum with heat treatment 6061-T6 has a small grain size, and the grain size looks tighter. The solvent treatment process and Mg₂Si dissolution treatment return to the aluminum matrix, while aluminum that is heat-treated 6061-O does not show lines/boundaries. The grain and only displays a phase, namely white solid aluminum, which is the main element of the 6061 series aluminum, and the Mg₂Si stage is shown in black. Meanwhile, aluminum 6061 without heat treatment has a more extensive and irregular grain size. The surface roughness test / extruded surface roughness test showed that the roughness value was smaller (more acceptable), 1.66 μm on aluminum 6061-T6 in the extrusion process, and the use of cooling media could improve the quality of the extrusion results.

Keywords: Aluminum 6061 Cast, Heat Treatment, Microstructure, Hardness, Roughness, Lubrication, Cooling Media.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas banyaknya Berkah, Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Salam dan shalawat kepada Nabi Muhammad SAW sebagai tauladan kami yang menghantarkan kita selalu menuntut ilmu untuk bekal akhirat dan duniawi.

Akhir penyusunan skripsi **“ANALISIS PENGARUH PARAMETER EKSTRUSI TERHADAP GAYA TEKAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN HASIL EKSTRUSI ALUMINIUM 6061 COR”** sudah ada dihadapan pembaca. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penghargaan dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada kedua orang tua (Bapak Sunusi dan Ibu Jawariah) dan saudara saya (Inri Eka Wati) yang selalu memberikan motivasi, support dan kasih sayangnya serta doa restunya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Tak lupa pula penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST., MT., selaku pembimbing pertama atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT., selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr.Eng. Jalaluddin, ST.,MT selaku Ketua Departemen Mesin FT- UH

6. Bapak Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT., selaku dosen penguji atas segala arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.
7. Bapak Dr. Ir. Nasruddin Azis.,M.Si selaku dosen penguji atas segala arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.
8. Bapak dan ibu dosen serta Staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Kepada Keluarga Besar Lojang 09, Blok A09 No. 27 dan Community_21, yang selalu memberi contoh kehidupan mahasiswa yang penuh motivasi dan inspirasi untuk selalu maju menata masa depan.
10. Kepada saudara-saudari seperjuangan, RAD14TOR yang selalu ada dalam suka maupun duka menemani kehidupan penulis sebagai mahasiswa dari semester 1 hingga akhir penulisan skripsi. Semoga masing-masing dari kita dipermudah dalam urusan dunia dan akhirat.
11. Kepada seluruh saudara-saudari dalam komunitas maupun organisasi yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, terima kasih telah membumbui kehidupan penulis sebagai mahasiswa.

Akhir kata, *jazakumullah khairan katsiran* atas semuanya dan penulis berharap, tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya dalam ilmu material dan permesinan. Karenanya, masukan dan kritik rekan-rekan sekalian kiranya dapat membantu pengembangan penelitian ini selanjutnya.

Gowa, 19 November 2020

Indar Jaya

DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN	i
HALAMAAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIANiv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRAK</i>	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMABAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TEORI DASAR	7
2.1 Defenisi Ekstrusi	7
2.2 Jenis – jenis Berdasarkan Konfigurasi Fisik.....	7
2.3 Jenis – jeins Ekstrusi Berdasarkan Temperatur Kerja.....	9
2.4 Jenis – jenis Logam Yang Biasa Di Ekstrusi	10
2.5 Analisis Ekstrusi	10
2.6 Ekstrusi Hidrostatik.....	14
2.7 Jenis Cacat Dalam Produk Ekstrusi	15
2.8 Aluminium	16
2.9 Aluminium Dan Paduannya	16
2.10 <i>Heat Treatment</i>	24
2.11 Dasar Perlakuan Panas Paduan Aluminium.....	25

2.12 Pengamatan Struktur Mikro	39
2.13 Uji Kekerasan.....	39
2.14 Kekasaran Permukaan	43
BAB III METODE PENELITIAN	50
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	50
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	50
3.3 Metode Penelitian	55
3.4 Prosedur Penelitian	56
3.5 Diagram Alir	61
3.6 Waktu Penelitian	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	64
4.1 Hasil Penelitian	64
4.2 Pembahasan Hasil Penelitian	65
BAB V PENUTUP.....	82
5.1 Kesimpulan	82
5.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar Seri Paduan Aluminium Tempa.....	17
Tabel 2.2 Daftar Seri Paduan Aluminium Tuang.....	17
Tabel 2.3 Klasifikasi Paduan Tempa Aluminium, Mekanisme Penguatan, Dan Rentang Nilai Kekuatannya	18
Tabel 2.4 Klasifikasi Paduan Aluminium	19
Tabel 2.5 Kasifikasi Paduan Aluminium Tempaan Dengan Unsur Paduan Utamanya.....	19
Tabel 2.6 Klasifikasi Perlakuan Bahan	26
Tabel 2.7 Ketidak Teraturan Suatu Profil (Konfigurasi Penampang Permukaan).....	44
Tabel 2.8 Toleransi harga kekasaran Rata-rata Ra.....	47
Tabel 2.12 Tingkat kekasaran Rara-rata Permukaan Proses Pengerjaannya	48
Tabel 3.1 Komposisi kimia Aluminium Paduan Seri 6061	54
Tabel 3.2 Sifat Mekanik Aluminium Paduan Seri 6061	54
Tabel 3.3 Jadwal Penelitian	63
Tabel 4.1 Nilai Kekerasan (HRF) Sebelum Ekstrusi	64
Tabel 4.2 Nilai Kekerasan (HRF) Hasil Dari Ekstrusi Tanpa Perlakuan Panas	64
Tabel 4.3 Nilai Kekerasan (HRF) Hasil Dari Ekstrusi 6061-O	64
Tabel 4.4 Nilai Kekerasan (HRF) Hasil Dari Ekstrusi 6061-T6.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ekstrusi Langsung	7
Gambar 2.2 Ekstrusi Tidak Langsung.....	8
Gambar 2.3 Tekanan dan variable Yang Lain Dalam Ekstrusi Langsung...	10
Gambar 2.4 Grafik Tekanan Ram	13
Gambar 2.5 Ekstrusi Hidrolik	15
Gambar 2.6 Jenis Cacat Dalam Produksi Ekstrusi.....	15
Gambar 2.7 Proses <i>annealing</i> aluminium	28
Gambar 2.8 Proses <i>solution heat treatment</i>	29
Gambar 2.9 Proses <i>solution heat treatment</i> dilanjutkan dengan <i>natural aging</i>	30
Gambar 2.10 Proses <i>natural aging</i> setelah mengalami proses Pengerjaan	30
Gambar 2.11 Proses <i>cold working</i> dan <i>natural aging</i> setelah mengalami proses pengerjaan dengan temperatur tinggi	31
Gambar 2.12 Proses <i>solution heat treatment</i> dan <i>cold working</i> dilanjutkan <i>natural aging</i>	32
Gambar 2.13 Proses <i>solution heat treatment</i> dilanjutkan dengan <i>natural aging</i>	32
Gambar 2.14 Proses pendinginan dari pengerjaan bertemperatur tinggi dilanjutkan dengan proses <i>artificial aging</i>	33
Gambar 2.15 Proses <i>solution heat treatment</i> dilanjutkan dengan proses <i>artificial aging</i>	34
Gambar 2.16 Proses <i>solution heat treatment</i> dilanjutkan proses <i>aging</i> hingga terjadi <i>over aging</i>	35
Gambar 2.17 Proses <i>solution heat treatment</i> dilanjutkan proses <i>cold working</i> dan <i>artificial aging</i>	36
Gambar 2.18 Proses <i>solution heat treatment</i> dilanjutkan proses <i>artificial aging</i> dan <i>cold working</i>	36

Gambar 2.19 Pendinginan dari pengerjaan bertemperatur tinggi dilanjutkan <i>cold working</i> dan <i>artificial aging</i>	37
Gambar 2.20 Penampang Batas Butir Dan Foto Mikro	39
Gambar 2.21 Pengujian Kekerasan Vickers	41
Gambar 2.22 Tipe – tipe lekukan pyramid Intan.....	41
Gambar 2.23 Pengujian Kekerasan Brinell	42
Gambar 2.24 Tekstur Permukaan.....	45
Gambar 2.25 Lambang Kekasaran Permukaan	45
Gambar 2.26 Profil Permukaan	46
Gambar 3.1 <i>Electric Furnace</i>	50
Gambar 3.2 Mesin Gerinda Tangan.....	50
Gambar 3.3 3D Laser <i>Measuring Microscope</i>	51
Gambar 3.4 Jangka Sorong.....	51
Gambar 3.5 <i>Rockwell Hardness Tester</i>	52
Gambar 3.6 3D Laser <i>Measuring Microscope</i>	52
Gambar 3.7 Gergaji Tangan	52
Gambar 3.8 Cetakan Ekstrusi	53
Gambar 3.9 Tang Jepit	53
Gambar 3.10 Termometer	53
Gambar 3.11 Aluminium seri 6061.....	54
Gambar 3.12 Kertas Amplas	55
Gamabr 3.13 Oli.....	55
Gambar 3.14 Grafik Skema Perlakuan Panas	57
Gambar 3.15 Spesimen Uji Struktur Mikro	57
Gambar 3.16 <i>Main Display Screen</i>	59
Gambar 3.17 Cetakan Ekstrusi.....	60
Gambar 4.1 Skema Cara Pengambilan Data Kekerasan	65
Gambar 4.2 Grafik Nilai Rata – rata Kekerasan Sebelum Ekstrusi	66
Gambar 4.3 Grafik Nilai Rata – rata Kekerasan (HRF) Hasil Dari Ekstrusi Non Lubrikasi	67

Gambar 4.4 Grafik Nilai Rata – rata Kekerasan Hasil Dari Ekstrusi Lubrikasi	68
Gambar 4.5 Grafik Nilai Gaya Ekstrusi Non Lubrikasi.....	69
Gambar 4.6 Grafik Nilai Gaya Ekstrusi Lubrikasi.....	69
Gambar 4.7 Gambar Arah Radial Dan Aksial	71
Gambar 4.8 Grafik Nilai Rata – rata Kekasaran Non Lubrikasi Arah Aksial	71
Gambar 4.9 Grafik Nilai Rata – rata Kekasaran Lubrikasi Arah Aksial	72
Gambar 4.10 Grafik Nilai Rata – rata Kekasaran Non Lubrikasi Arah Radial	73
Gambar 4.11 Grafik Nilai Rata – rata Kekasaran Lubrikasi Arah Radial ...	73
Gambar 4.12 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium Normal Non Lubrikasi Kecepatan 2 mm/mnt	74
Gambar 4.13 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium Normal Non Lubrikasi Kecepatan 10 mm/mnt	74
Gambar 4.14 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium Normal Lubrikasi Kecepatan 2 mm/mnt.....	75
Gambar 4.15 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium Normal Lubrikasi Kecepatan 10 mm/mnt.....	75
Gambar 4.16 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium 6061-O Non Lubrikasi Kecepatan 2 mm/mnt	76
Gambar 4.17 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium 6061-O Non Lubrikasi Kecepatan 10 mm/mnt.....	76
Gambar 4.18 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium 6061-O Lubrikasi Kecepatan 2 mm/mnt.....	77
Gambar 4.19 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium 6061-O Lubrikasi Kecepatan 10 mm/mnt.....	77
Gambar 4.20 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium 6061-T6 Non Lubrikasi Kecepatan 2 mm/mnt	78
Gambar 4.21 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium 6061-T6 Non Lubrikasi Kecepatan 10 mm/mnt	78

Gambar 4.22 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium 6061-T6 Lubrikasi Kecepatan 2 mm/mnt.....	79
Gambar 4.23 Gambar Hasil Uji Kekasaran Aluminium 6061-T6 Lubrikasi Kecepatan 10 mm/mnt.....	79
Gambar 4.24 Hasil Uji Struktur Mikro	40

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	Tabel Hasil Penelitian	86
LAMPIRAN II	Foto Kegiatan Penelitian	88
	Gambar A-1. Proses <i>Heat Treatment</i>	88
	Gambar A-2. Pengambilan Data Kekerasan.....	88
	Gambar A-3. Pengambilan Data Struktur Mikro	89
	Gambar A-4. Proses Ekstrusi.....	89
	Gambar A-5. Proses Pemotongan Spesimen	90
	Gambar A-6 Proses <i>Quenching</i>	90
	Gambar A-7 Print Out Hasil Uji Kekasaran Permukaan.....	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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. Dalam perkembangan bidang penelitian, logam aluminium juga sering menjadi objek banyak riset. Hal ini disebabkan karena sifat aluminium mudah di-*machining*, difabrikasi, *forming*, tahan korosi, penghantaran listrik dan panas yang sangat baik. Disamping itu juga, sifat mekanik aluminium ternyata dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur-unsur paduan, proses perlakuan panas, dan proses pengerjaan dingin (Khairul sakti 2009).

Dalam dunia industry manufaktur perusahaan dituntut untuk memiliki keunggulan kompetitif dalam upaya menjaga keberlanjutan usaha. Kunci keberhasilan perusahaan dalam menjaga keberlanjutan usahanya bukan semata terletak pada produk yang ditawarkan tetapi juga seberapa baik perusahaan dapat memuaskan keinginan pelanggannya. Kepuasan pelanggan memegang peranan yang penting dalam kegiatan bisnis dan kelanjutan perkembangan sebuah perusahaan, terutama jika berada dalam kondisi persaingan yang tinggi. Pelanggan memiliki peluang yang sangat luas untuk mendapatkan produk yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginannya, sehingga konsentrasi pemasaran tidak lagi hanya bagaimana produk itu dapat sampai kepada konsumen tetapi lebih focus kepada apakah jasa produk yang diberikan itu telah dapat memenuhi permintaan yang sesuai dengan kebutuhan dan keinginan konsumen.

Pembentukan logam masuk dalam proses manufaktur. Pembentukan logam dengan menggunakan deformasi plastis bentuk benda kerja. Perubahan bentuk yang di hasilkan mengikuti bentuk die yang di gunakan. Die tersebut memberikan gaya yang melebihi kekuatan logam. Dalam pembentukan logam gaya yang di berikan akan merubah bentuk secara plastis dan akan bersifat *compressive*. Tujuan

utama Proses Manufacturing adalah untuk membuat komponen dengan mempergunakan material tertentu yang memenuhi persyaratan bentuk dan ukuran, serta struktur yang mampu melayani kondisi lingkungan tertentu. Rangka memilih pembentukan logam dengan proses drawing. Jika temperatur logam meningkat maka muah di bentuk dan kekuatan luluh berkurang. Selain temperatur masih ada faktor yang mempengaruhi dalam pembentukan logam diantaranya kecepatan regangan dan gesekan (Rangga Agung, 2017).

Ada beberapa metoda dalam menghasilkan geometri (bentuk dan ukuran) dari suatu bahan yang dikelompokkan menjadi enam kelompok dasar proses pembuatan (*manufacturing proses*) yaitu : proses pengecoran (*casting*), proses pemesinan (*machining*), proses pembentukan logam (*metal forming*), proses pengelasan (*welding*), perlakuan panas (*heat treatment*), dan proses perlakuan untuk mengubah sifat karakteristik logam pada bagian permukaan logam (*surface treatment*) (Rangga Agung, 2017).

Proses ekstrusi diperkenalkan sekitar tahun 1700 dengan memperkenalkan ekstrusi bahan logam, dengan mengekstrusi pipa lead. Dalam prosesnya sebuah billet bulat di tempatkan dalam sebuah chamber dan didorong melalui lubang cetakan dengan menggunakan sebuah ram. Hasil yang keluar dari die dengan pengurangan penampang permukaan dengan kata lain, ekstrusi adalah proses pembentukan dengan penekanan logam kerja sehingga mengalir melalui cetakan yang terbuka untuk menghasilkan bentuk pada bagian melintang sesuai dengan yang diinginkan. Proses ekstrusi terdapat dua proses pengerjaan yaitu dalam bentuk kerja panas maupun dingin. Walaupun demikian, proses kerja panas lebih banyak dipraktekkan untuk berbagai jenis metal karena mengurangi gaya dorong yang diperlukan. Logam-logam seperti lead, copper, aluminium, magnesium dan paduan dari logam ini umumnya mudah dilakukan proses ekstrusi karena logam ini memiliki kekuatan luluh yang rendah dan begitu juga dengan suhu ekstrusinya (Muhamad Tedy, 2015).

Dalam perkembangannya, proses ekstrusi telah memberikan kemudahan bagi industri manufaktur dalam usaha pembuatan produk hasil industri. Hampir semua industri manufaktur telah menggunakan teknologi *die* yang menggantikan

kemampuan keahlian tangan manusia. Penggunaan *die* akan memberikan dampak pada efisiensi waktu, karena dengan adanya *die* memungkinkan untuk memproduksi dalam jumlah yang besar (Firman Dini, 2007).

Proses ekstrusi merupakan proses pembentukan logam yang bertujuan untuk mereduksi atau mengecilkan penampang dengan cara menekan bahan logam melalui rongga cetakan, metode pembentukan logam ini menggunakan gaya tekan yang relative besar. Ekstrusi sangat rentang pada faktor keausan, dan deformasi plastik. Untuk menghindari kegagalan, penting untuk memiliki kombinasi ketangguhan dan kekerasan yang optimal dalam cetakan. Kombinasi ini dapat dicapai melalui campuran perlakuan panas dan pengerasan permukaan. Kebanyakan pada proses ekstrusi aluminium terbuat dari paduan 6000 (Al-Mg-Si) paduan seri 6061 menjadi paduan paling populer. Karena hal ini disebabkan paduan seri 6000 bersifat ulet dan memiliki mampu bentuk yang baik. Jadi lebih mudah diekstrusi dan profil lebih hemat biaya produksi. Perlakuan panas mengacu pada tiga tahap proses dimana paduan pertama di panaskan ke suhu yang diinginkan dan di tahan pada suhu tersebut. Temperatur perlakuan panas harus di kontrol untuk setiap paduan aluminium, karena kisaran antara suhu larutan dengan titik lebur tidak besar (Azduwin Khasri, 2013).

Adel Abbas meneliti tentang bagaimana kekasaran permukaan aluminium seri A1100 hasil proses ekstrusi. Perbedaan sudut die mempengaruhi kekasaran permukaan benda kerja. Untuk melindungi permukaan dan mengurangi gesekan, Abbas menggunakan minyak pelumas. Dalam penelitian ini Abbas memilih dua jenis bahan yang akan di uji yaitu baja SDK 11 dan Al A1100. Dan sudut yang di gunakan 30°, 45°, dan 60°. Adapun tiga jenis pelumas yang di gunakan yaitu Daphne Draw S Series, Palm Olein, dan minyak bio EFB. Mesin uji Universal dan tester kekasaran permukaan di gunakan dalam penelitian Adel Abbas. Dari hasil penelitian Adel Abbas menyatakan bahwa sudut 30° menghasilkan permukaan yang halus untuk setiap jenis pelumas dan seri Daphne Draw S dapat mengurangi kekasaran permukaan di banding dengan pengujian pelumas lainnya (Adel Abbas, 2017).

Heri santoso meneliti mengenai analisis pengaruh perlakuan panas baja karbon menengah terhadap operasi penarikan dalam (deep drawing). Dalam penelitian santosa menggunakan baja karbon menengah dengan perlakuan panas dengan variasi temperatur 800⁰C, 850⁰C, 900⁰C sebelum penarikan dalam. Untuk spesimen yang tanpa mengalami perlakuan panas terjadi retakan pada dasar mangkuk. Hal ini di sebabkan karna pada spesimen normal terdapat tegangan alir rata-rata, sedangkan faktor utama yang mempengaruhi gaya pembentukan plat pada operasi penarikan dalam adalah tegangan alir disamping faktor-faktor lain yang mempengaruhi gaya pembentukan plat pada operasi penarikan dalam adalah faktor gesek, gaya penekanan, gaya untuk membengkokan dan meluruskan plat serta tebal dinding mangkuk relatif sama dan faktor diameter awal dan diameter dalam mangkuk pada spesimen. Dari hasil penelitian santosa menyatakan bahwa pemberian perlakuan panas sebelum deep drawing sangat berpengaruh terhadap hasil produksi, dan dalam proses penarikan cukup efektif meningkatkan kemampuan spesimen untuk berdeformasi cukup besar sehingga pada kondisi tertentu dapat dipertimbangkan (Heri Santosa, 2001).

Jonghyun Kim dalam penelitiannya tentang Pengaruh Kondisi Ekstrusi pada Struktur Mikro dan Sifat Mekanik dari Paduan Mg. Paduan Mg adalah paduan struktural komersial paling ringan dan memiliki kekuatan spesifik dan karakteristik kekuatan yang baik. Karena castibility yang baik, proses die casting telah di terapkan dalam pembuatan berbagai komponen mobil seperti panel instrumental dan kerangka kursi. Secara khusus penerapan Mg pada proses ekstrusi langsung konvensional. Proses ekstrusi tidak langsung tidak memberi gesekan billet dengan wadah(container). Karenanya, tekanan dan retak permukaan dapat di kurangi secara signifikan di banding dengan ekstrusi langsung. Jadi, dalam penelitian ini paduan Mg dapat menghasilkan produk yang lebih baik dengan menggunakan ekstrusi tidak langsung di bandingkan dengan ekstrusi langsung (Jonghyun Kim, 2013).

Ekstrusi adalah proses manufaktur yang sangat populer dan multi-faceted. Sejumlah besar produk untuk sektor otomotif, kedirgantaraan, dan konstruksi diproduksi melalui ekstrusi aluminium. Sayyad Syahid Qamar dan

kawan-kawan meneliti tentang kerusakan die dalam ekstrusi. Cacat produk secara langsung mengarah pada pengurangan pengerjaan ulang, penolakan, menghemat waktu dan biaya produksi. *Die* merupakan komponen paling penting dalam ekstrusi, toleransi dimensi yang sangat halus, dan kinerja yang baik terhadap tekanan termo-mekanis yang berulang. Keakuratan dan daya tahan *die* memastikan kualitas produk yang baik dan mengurangi gangguan, yang mengarah pada produktivitas yang lebih tinggi dan biaya yang lebih rendah. Kebanyakan cacat produk dalam ekstrusi disebabkan karena cetakan dan perkakas yang kurang baik. Beberapa di antaranya terkait dengan desain cetakan, bahan cetakan, dan pembuatan cetakan, sementara yang lain terjadi selama masa pakai cetakan. Yang terakhir termasuk perkakas pendukung yang tidak tepat, suhu yang tidak tepat yaitu erosi, lubang, kualitas bahan *billet*, gesekan, dll. Kerusakan *die* dapat dicegah dengan mengontrol kualitas *billet* dan parameter proses ekstrusi. Alasan umum untuk kegagalan die adalah retakan, *washout* bantalan, *chip-off*, defleksi, fraktur, dan keausan (Qamar dan kawan-kawan, 2018).

Hingga saat ini perubahan-perubahan dasar yang terjadi selama proses ekstrusi, hubungan antara rancangan mesin, parameter-parameter proses dan karakteristik produk dalam ekstrusi masih sedikit dimengerti. Walaupun teknologinya berkembang pesat namun masih sedikit penelitian-penelitian yang dilakukan untuk mempelajari teknologi ekstrusi ini. Mesin ekstrusi atau biasa disebut ekstruder merupakan alat yang cukup sederhana namun memiliki keunikan tersendiri. Prinsip dasar kerja alat ini ialah memasukkan bahan uji kemudian didorong keluar melalui suatu lubang cetakan (*die*) dengan besar diameter yang kita inginkan (Tiffany Windhesty, 2013).

Berdasarkan uraian di atas maka, kami mengambil judul penelitian adalah: “ANALISIS PENGARUH PARAMETER EKSTRUSI TERHADAP GAYA TEKAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN HASIL EKSTRUSI ALUMINIUM 6061 COR”.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan di atas maka peneliti menarik suatu rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana pengaruh kecepatan ekstrusi terhadap kekerasan hasil ekstrusi?
- b. Bagaimana pengaruh kecepatan ekstrusi terhadap gaya tekan hasil ekstrusi?
- c. Bagaimana pengaruh kecepatan terhadap kekasaran hasil ekstrusi?
- d. Bagaimana struktur mikro hasil ekstrusi terhadap aluminium 6061 cor?

1.3 Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui pengaruh kecepatan ekstrusi terhadap kekerasan hasil ekstrusi.
- b. Mengetahui pengaruh kecepatan ekstrusi terhadap gaya tekan hasil ekstrusi.
- c. Mengetahui pengaruh kecepatan terhadap kekasaran hasil ekstrusi.
- d. Mengetahui struktur mikro hasil ekstrusi terhadap aluminium 6061 cor.

1.4 Batasan Masalah

- a. Bahan yang di gunakan adalah aluminium 6061 dengan di mensi \emptyset awal 12 mm, \emptyset akhir 10 mm dan panjang awal 20 mm.
- b. Perlakuan panas yang dilakukan adalah perlakuan panas 6061- T6 & 6061-O
- c. Lubrikasi yang di gunakan oli SAE 20W-50.
- d. Kecepatan ekstrusi : 2 mm/menit, 5 mm/menit, dan 10 mm/menit.

1.5 Manfaat Penelitian

- a. Bagi penulis: Sebagai wadah pengaplikasian pengetahuan yang dimiliki, khususnya dalam bidang ilmu material.
- b. Bagi akademik : Sebagai bahan informasi untuk penelitian selanjutnya mengenai ilmu material, dan ekstrusi. Pengaruh perlakuan panas terhadap kekasaran permukaan hasil ekstrusi pada aluminium seri 6061
- c. Bagi Industri : Dapat menjadikan masukan tentang kualitas kekerasan dari aluminium 6061 yang diberi perlakuan panas dan lubrikasi pada proses ekstrusi.

BAB II TEORI DASAR

2.1 Defenisi Ekstrusi

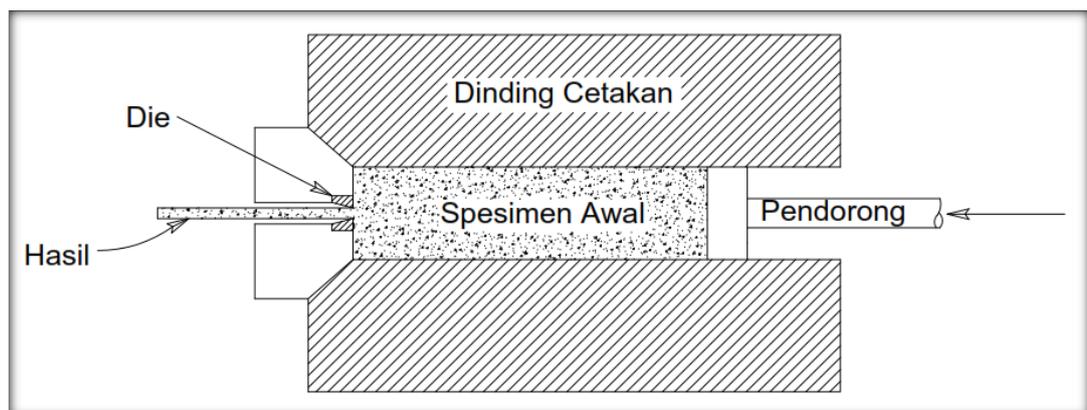
Ekstrusi adalah proses pembentukan dengan penekanan logam kerja sehingga mengalir melalui cetakan yang terbuka untuk menghasilkan bentuk pada bagian melintang sesuai dengan yang diinginkan.

Keuntungan ekstrusi :

1. Dapat menghasilkan bentuk melintang yang bervariasi, tetapi harus seragam,
2. Struktur butir dan sifat kekuatannya bertambah dalam pengerjaan dingin dan hangat,
3. Khusus untuk pengerjaan dingin, dapat dihasilkan toleransi yang ketat (presisi),
4. Pada beberapa jenis ekstrusi, sisa material yang terbuang kecil atau tidak ada sama sekali.

2.2 Jenis-jenis berdasarkan konfigurasi fisik

- a) Ekstrusi Langsung: disebut juga ekstrusi ke depan (*forward extrusion*), ditunjukkan dalam gambar berikut ini.



Gambar 2.1 Ekstrusi langsung

Logam yang akan diekstrusi dipasang di dalam kontainer, kemudian ram ditekan dengan gaya tertentu, sehingga logam kerja mengalir melalui satu atau lebih cetakan yang ditempatkan pada ujung kontainer. Pada saat ram telah

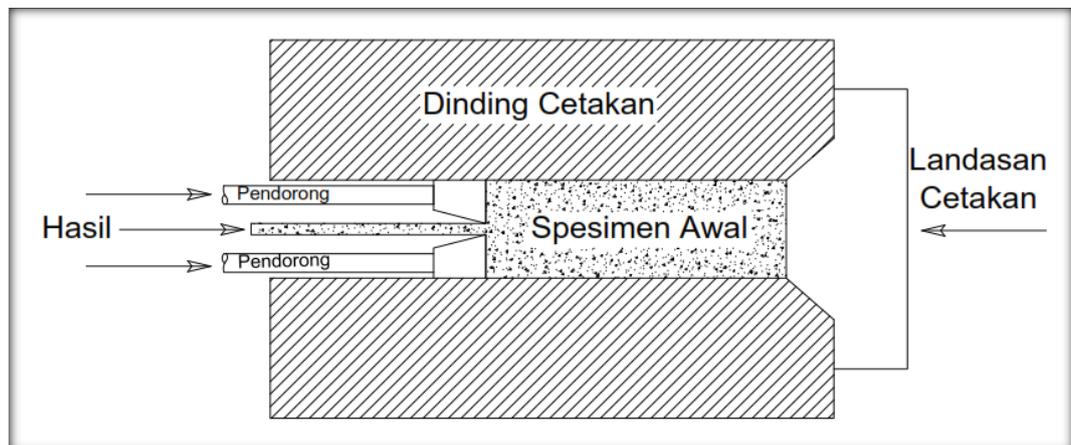
mencapai cetakan, sebagian kecil dari logam kerja (bilet) masih tersisa di dalam kontainer. Sisa logam ini disebut *butt*, harus dipotong dari produk yang dibuat.

Kekurangan ekstrusi langsung :

1. Pada saat ram ditekan akan terjadi gesekan antara logam kerja dengan dinding kontainer, sehingga gaya yang dibutuhkan menjadi sangat besar;
2. Bila ekstrusi dilakukan dalam operasi pengerjaan panas, gesekan bertambah besar akibat terbentuknya oksida pada permukaan logam kerja (bilet).

Untuk mengatasi hal ini, digunakan blok *dummy* sedikit lebih kecil dibandingkan dengan diameter bilet, sehingga akan dihasilkan cincin tipis (yaitu lapisan oksida) yang tertinggal pada dinding kontainer, dan produk akhir akan terbebas dari oksida.

b) Ekstrusi tidak langsung: disebut juga ekstrusi ke belakang (*backward extrusion*) atau ekstrusi mundur (*reverse extrusion*).



Gambar 2.2: Ekstrusi tidak langsung

Ekstrusi tidak langsung ditunjukkan dalam gambar di atas. Cetakan dipasang pada ujung ram yang berlubang. Pada saat ram menekan bendakerja, logam yang ditekan akan mengalir melalui lubang *ram* dalam arah yang berlawanan dengan arah gerakan *ram*.

Kelebihan dan kekurangan ekstrusi tidak langsung dibandingkan dengan ekstrusi langsung.

Kelebihan :

1. Bilet tidak bergerak relatif terhadap kontainer, sehingga tidak terjadi gesekan antara bilet dengan dinding kontainer;
2. Karena tidak terjadi gesekan, maka gaya tekan yang dibutuhkan lebih kecil dibandingkan dengan ekstrusi langsung.

Kelemahan :

1. Karena ram yang digunakan berlubang, maka kurang kokoh dibandingkan dengan ram pejal pada ekstrusi langsung.
2. Hasil ekstrusi tidak dapat ditopang dengan baik sehingga sering terjadi deformasi (pelengkungan) akibat gaya gravitasi.

2.3 Jenis-jenis ekstrusi berdasarkan temperature kerja

1. Ekstrusi panas, dilakukan di atas temperatur rekristalisasi.

Keuntungan :

- a. Kekuatan logam dapat dikurangi, dan keuletan ditambah;
- b. Dapat mendeformasi logam kerja dengan pengurangan dimensi yang cukup besar;
- c. Dapat menghasilkan geometri produk yang lebih kompleks;
- d. Gaya ram yang dibutuhkan lebih kecil dan gerakkan ram yang lebih cepat;
- e. Struktur butir kristal produk akhir yang dihasilkan lebih baik.

Kekurangan :

- a. Terjadi pendinginan cepat pada permukaan billet yang bersentuhan dengan dinding kontainer sehingga gesekan bertambah besar. Untuk mengatasi hal ini biasanya dilakukan ekstrusi isothermal.
 - b. Untuk beberapa jenis logam (seperti baja) dibutuhkan pelumas.
2. Ekstrusi dingin dan hangat, digunakan untuk menghasilkan produk-produk tertentu, pada umumnya untuk pembentukan akhir atau mendekati akhir pembentukan.

Kelebihan ekstrusi dingin adalah:

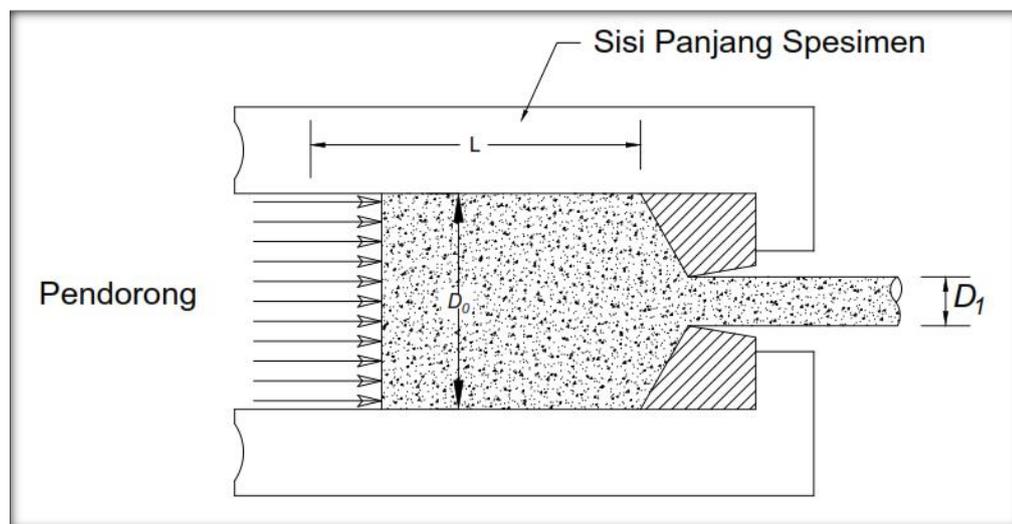
- a. Kekuatan bertambah karena adanya pengerasan regang,
- b. Toleransi sangat ketat (presesi),
- c. Permukaan hasil ekstrusi halus karena tidak terjadi oksidasi,
- d. Laju produksi tinggi.

2.4 Jenis-jenis logam yang biasa diekstrusi

- a. aluminium,
- b. tembaga,
- c. magnesium,
- d. seng,
- e. timah, dan
- f. paduan logam-logam di atas,
- g. baja paduan.

2.5 Analisa Ekstrusi

Beberapa parameter dalam proses ekstrusi ditunjukkan dalam gambar dibawah. Dalam hal ini penampang melintang billet dan penampang melintang hasil ekstrusi dianggap bulat.



Gambar 2.3: Tekanan dan variabel yang lain dalam ekstrusi langsung

Salah satu parameter penting adalah rasio ekstrusi. Rasio tersebut di definisikan sebagai :

$$r_x = \frac{A_0}{A_f} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana : r_x = rasio ekstrusi;

A_0 = luas penampang awal bilet, in² (mm²);

A_f = luas penampang akhir bilet, in² (mm²).

Rasio ini berlaku baik untuk ekstrusi langsung maupun ekstrusi tidak langsung. Harga r_x dapat digunakan untuk menentukan regangan sesungguhnya (*true strain*, ϵ) dalam proses ekstrusi. Bila deformasi dianggap ideal dimana tidak terjadi gesekan maupun gaya-gaya yang lain, maka berlaku persamaan :

$$\epsilon = \ln r_x = \ln \frac{A_0}{A_f} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan demikian, maka tekanan yang diberikan oleh ram untuk menekan bilet menuju ujung cetakan yang terbuka dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P = \bar{Y}_f \ln r_x \text{ atau } \bar{Y}_f = \frac{K\epsilon^n}{1+n} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana : p = tekanan ram, lb/in² (MPa);

Y_f = tegangan regang rata-rata, lb/in² (MPa);

Persamaan di atas berlaku bila deformasi dalam proses ini terjadi secara ideal. Tetapi dalam kenyataannya akan selalu ada gesekan antara bilet dengan cetakan ketika bilet ditekan ke luar menuju ujung cetakan yang terbuka. Dalam ekstrusi langsung, gesekan juga terjadi antara dinding kontainer dan permukaan bilet. Akibat adanya gesekan ini, tekanan sesungguhnya akan lebih besar daripada tekanan yang diberikan dalam persamaan tekanan di atas. Persamaan empiris yang sering digunakan untuk memperkirakan regangan ekstrusi adalah persamaan Johson :

$$\epsilon_x = a + b \ln r_x \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana : ϵ = regangan ekstrusi; a dan b = konstanta empiris yang besarnya tergantung pada sudut cetakan, makin besar sudut cetakan makin besar pula nilai a dan b , pada umumnya : $a = 0,8$ dan $b = 1,2$ hingga $1,5$.

Berdasarkan persamaan regangan ekstrusi Johnson, tekanan ram pada ekstrusi tidak langsung dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P = \bar{Y}_f \epsilon_x \dots \dots \dots (2.5)$$

Pada ekstrusi langsung, adanya gesekan antara dinding kontainer dengan permukaan bilet menyebabkan tekanan ram lebih besar daripada ekstrusi tidak langsung. Gaya gesek yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{p_f \pi D_o^4}{4} = \mu p_c \pi D_o L \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana : p_f = tekanan tambahan yang dibutuhkan untuk mengatasi gesekan, lb/in² (MPa) ;

$\pi D_o^2/4$ = luas penampang bilet, in² (mm²)

μ = koefisien gesekan pada dinding kontainer;

p = tekanan bilet terhadap dinding kontainer, lb/in² (MPa)

L = sisa panjang bilet yang diekstrusi, in (mm);

$\pi D_o L$ = luas antarmuka antara bilet dengan dinding kontainer, in² (mm²);

Y_s = kekuatan mulur geser (*shear yield strength*), lb/in² (MPa).

Sisi kanan persamaan ini menunjukkan gaya gesek wadah billet, dan sisi kiri member kekuatan ram tambahan untuk mengatasi gesekan tersebut. Dalam kasus terburuk, menempel terjadi di dinding wadah sehingga tegangan gesekan sama dengan hasil geser.

$$\mu p_c \pi D_o L = Y_s \pi D_o L \dots \dots \dots (2.7)$$

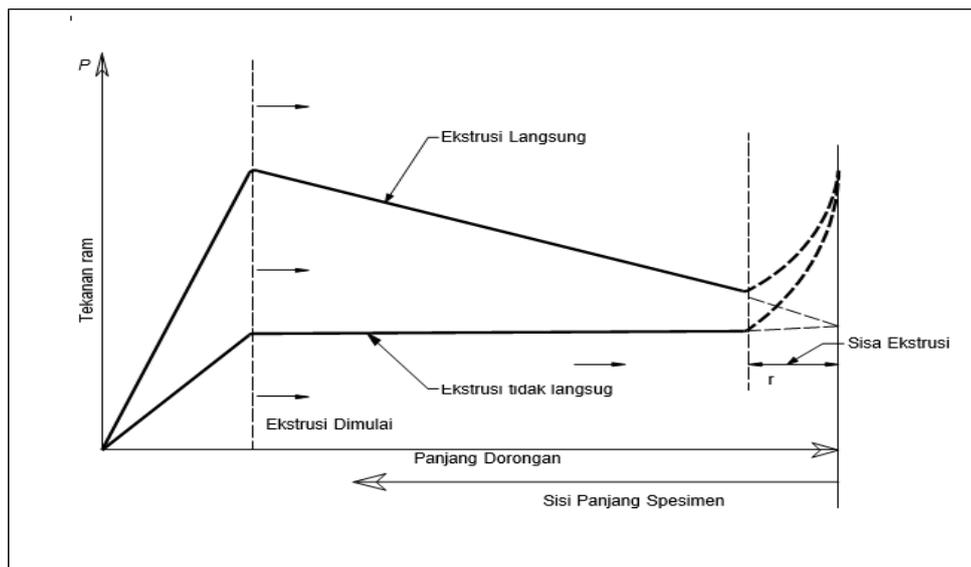
Dimana Y_s kekuatan luluh geser, MPa (lb/in²). Jika kita anggap itu $Y_s = Y_f/2$, lalu p_f menurunkan hal berikut :

$$P_f = \bar{Y}_f \frac{2L}{D_0} \dots \dots \dots (2.8)$$

Berdasarkan alasan ini, rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung tekanan ram dalam ekstrusi langsung.

$$P = \bar{Y}_f \left(\epsilon_x + \frac{2L}{D_0} \right) \dots \dots \dots (2.9)$$

Sebagai catatan, selama proses berlangsung tekanan ram (p) akan berkurang sesuai dengan sisa panjang bilet yang diekstrusi (L).



Gambar 2.4: Grafik tekanan ram (p) sebagai fungsi gerakan ram (dan panjang bilet yang tersisa)

Dalam gambar di atas terlihat bahwa nilai tekanan ram dalam ekstrusi langsung lebih tinggi dari pada tekanan ram dalam ekstrusi tidak langsung. Hal ini disebabkan karena adanya gesekan antara permukaan *bilet* dengan dinding kontainer. Kemiringan garis pada awal terjadinya tekanan tergantung pada sudut cetakan, makin besar sudut cetakan semakin curam garis yang terbentuk. Hal ini berarti bahwa awal ekstrusi sesungguhnya (*actual extrusion begins*) akan terjadi setelah beberapa saat pergerakan ram (*ram stroke*) yang panjang gerakannya tergantung pada sudut cetakan, semakin besar sudut cetakan semakin cepat

ekstrusi sesungguhnya terjadi. Jadi bila sudut cetakan besarnya 90° maka awal ekstrusi sesungguhnya akan dimulai bersamaan dengan pergerakan ram. Pada akhir pergerakan ram tekanan meningkat karena bagian kecil dari billet yang tersisa di dalam kontainer (disebut *butt*) tertumpu pada cetakan.

Gaya ekstrusi baik untuk ekstrusi langsung maupun ekstrusi tidak langsung dapat dihitung sebagai perkalian antara tekanan ram (p) dengan luas penampang billet (A_0).

$$F = P A_0 \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana : F = gaya ram dalam ekstrusi, lb (N). Daya yang dibutuhkan untuk melaksanakan operasi ekstrusi :

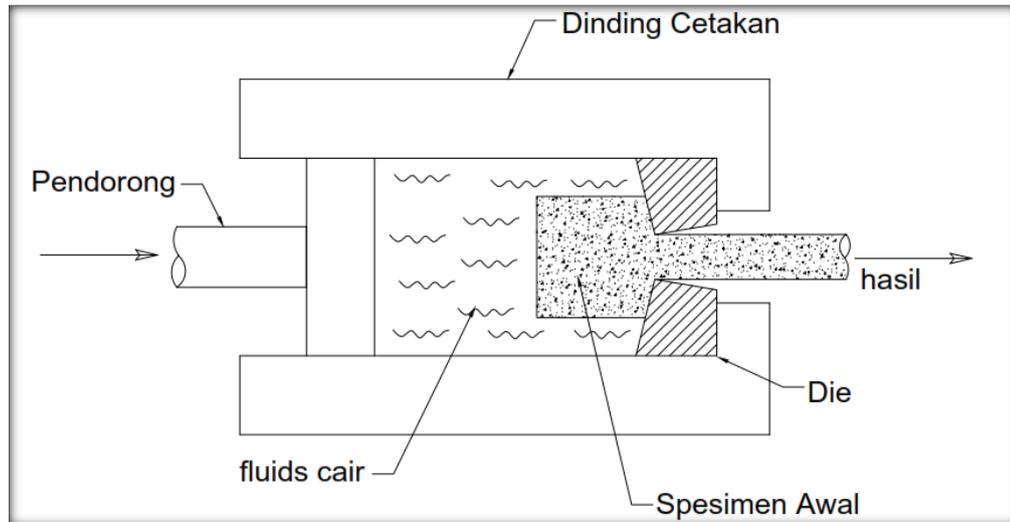
$$P = F v \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana : P = daya, in-lb (J/s);

v = kecepatan ram, in/min (m/s).

2.6 Ekstrusi hidrostatik (*hydrostatic extrusion*)

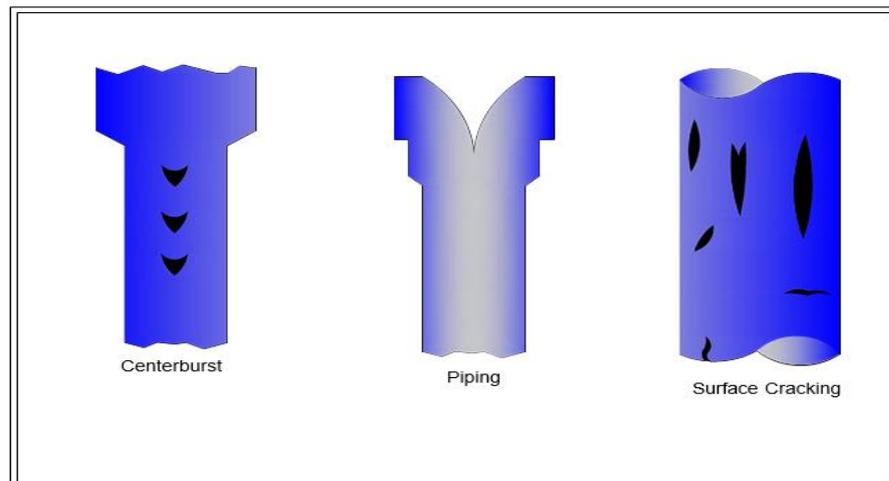
Salah satu masalah yang dihadapi dalam ekstrusi langsung adalah gesekan antara billet dengan dinding kontainer. Untuk mengatasi masalah ini digunakan fluida yang ditempatkan di sekeliling billet di dalam kontainer. Fluida ditekan dengan menggerakkan ram ke depan, sehingga fluida menekan seluruh permukaan billet, mengakibatkan logam mengalir melalui *die* terbuka.



Gambar 2.5: Ekstrusi hidrostatik

2.7 Jenis Cacat (*defect*) Dalam Produk Ekstrusi :

Cacat dalam produk ekstrusi dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa katagori, seperti ditunjukkan dalam gambar berikut ini:



Gambar 2.6: Beberapa jenis cacat dalam produk ekstrusi.

- Centerburst** , retak yang terjadi pada bagian dalam produk ekstrusi yang terbentuk akibat adanya tegangan tarik sepanjang garis tengah (*center line*) benda kerja selama proses ekstrusi.
- Piping** , cacat yang terjadi pada proses ekstrusi langsung, dimana pada ujung akhir billet terdapat lubang. Untuk menghindari terbentuknya cacat ini dapat dilakukan dengan menggunakan blok *dummy* dengan diameter

sedikit lebih kecil daripada diameter *billet*. Nama lain dari cacat ini adalah *tailpipe* dan *fishtailing*.

- c. **Retak permukaan (*surface cracking*)**, cacat yang terjadi pada permukaan hasil ekstrusi.

Hal ini terjadi karena :

- a. gerakan ram terlalu cepat,
- b. gesekan antara billet dengan dinding kontainer,
- c. adanya efek cil pada billet panas.

2.8 Aluminium

Aluminium merupakan unsur logam terbanyak di muka bumi, dimana hampir 8% berat dari kerak bumi adalah aluminium. Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai suatu logam oleh H.C. Oersted pada tahun 1955. Bijih bauksit adalah bahan utama untuk pembuatan aluminium yang terdapat di dalam batu-batu dalam kerak bumi. Di dalam bebatuan tersebut aluminium masih berbentuk silikat dan komponen lain yang lebih kompleks, karena komponen aluminium yang begitu kompleks tersebut maka diperlukan penelitian lebih dari 60 tahun untuk menemukan cara yang ekonomis untuk membuat aluminium dari bijih bauksit.

Aluminium murni merupakan logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Kekuatan tensil aluminium murni adalah 90 MPa, sedangkan aluminium paduan memiliki kekuatan tensil berkisar 200- 600 MPa. Aluminium memiliki berat sekitar satu pertiga baja, mudah ditebuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik (*drawing*), dan diekstrusi (Surdia T, 1999).

2.9 Aluminium dan Paduannya

Berdasarkan metode peleburannya, paduan aluminium dikelompokkan menjadi dua kelompok utama yaitu paduan tempa (*workrought*) dan paduan tuang (*casting*). Jenis paduan aluminium saat ini sangat banyak dan tidak menutup

kemungkinan ditemukannya lagi jenis paduan aluminium baru, oleh karena itu dibuat sistem penamaan sesuai dengan komposisi dan karakteristik paduan aluminium tersebut untuk memudahkan pengklasifikasinya. Salah satu penamaan paduan standar AA, seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Daftar seri paduan aluminium tempa

Paduan Tempa	Penandaan
Aluminium (min.) 99.00%	1XXX
Tembaga	2XXX
Mangan	3XXX
Silikon	4XXX
Magnesium	5XXX
Magnesium dan Silikon	6XXX
Seng	7XXX

(Sumber: Smallman R.E dan Bishop R.J, 2000).

Paduan aluminium tempa, seri 1xxx digunakan untuk aluminium murni, paduan aluminium diidentifikasi dengan sistem empat digit berdasarkan elemen paduan utamanya. Untuk paduan tempa (*wrought*, yang mengalami perubahan bentuk) digit pertama mengidentifikasi kelompok paduan dan digit kedua menunjukkan modifikasi paduan asli yang diidentifikasi dengan dua digit terakhir.

Untuk paduan tuang (*casting*) sistem penamaan agak berbeda. Di sini digit pertama mengidentifikasi kelompok, dua digit berikutnya mengidentifikasi paduan dan digit terakhir yang didahului desimal mengacu bentuk produk (misalnya, 0 untuk hasil coran dan 1 untuk ingot) (Smallman, R.E. dan Bishop, R.J., 2000).

Tabel 2.2 Daftar seri paduan aluminium tuang

Paduan Tuang	Penandaan
Aluminium (min.) 99.00%	1XX.X
Tembaga	2XX.X
Silikon, Tembaga dan Magnesium	3XX.X
Silikon	4XX.X

Magnesium	5XX.X
Seng	6XX.X
Timah Putih	7XX.X

(Sumber: Smallman, R.E. dan Bishop, R.J., 2000)

Berdasarkan metode pengerasannya, aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok, *heattreatable alloys* dan *non-heat treatable alloys*. *Heattreatable alloys* adalah paduan aluminium yang dapat diperkeras dengan penuaan (*aging*). Sementara *nonheattreatable alloys* tidak dapat diperkuat dengan penuaan melainkan dengan penguatan larutan-padat (*solid solution strengthening*), pengerasan butir (*strain hardening*), atau pengerasan dispersi (*dispersion strengthening*).

Paduan tempa yang dapat diperkuat lewat perlakuan panas adalah kelas 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan beberapa jenis dari kelas 8xxx. Beberapa kombinasi penambahan unsur pepadu, mekanisme penguatannya, serta perkiraan nilai kekuatan yang dapat dicapai dapat dilihat dalam Tabel 2.2 (Hatch, 1984).

Tabel 2.3 Klasifikasi paduan tempa aluminium, mekanisme penguatan, dan rentang nilai kekuatannya

Seri Aluminium	Sistem Paduan	Tensile Strength (MPa)
Work- hardenable alloys		
1xxx	Al murni	70-75
3xxx	Al-Mn-Mg	140-280
4xxx	Al-Si	105-350
5xxx	Al-Mg	140-280
Precipitation-hardenable alloys		
2xxx	Al-Cu-Mg	170-310
2xxx	Al-Cu-Mg-	380-520
6xxx	Si	150-380
7xxx	Al-Mg-Si	380-520
7xxx	Al-Zn-Mg	520-620
8xxx	Al-Zn-Mg-	280-560
	Cu	
	Al-Li-Cu-Mg	

(Sumber: Subagyo, 2017)

Berikut ini tabel klasifikasi aluminium paduan yang dapat diperkuat dengan perlakuan panas dan yang tidak dapat di berikan perlakuan panas. Seperti pada Tabel 2.2 yang memeberikan perkiraan nilai kekuatan yang dapat dicapai dan Tabel 2.3 yang merupakan pengelompokan paduan Aluminium. Dari tabel tersebut

akan diketahui kodefikasi dan sifat bahan aluminium dengan paduan yang berbeda-beda sesuai dengan pengelompokan atau klasifikasi.

Tabel 2.4 Klasifikasi paduan aluminium.

Al paduan untuk dimesin	Paduan jenis tidak dapat di perlakuan panas (non-heat-treatable)	Al murni (seri 1000) Paduan Al-Mn (seri 3000) Paduan Al-Si (seri 4000) Paduan Al-Mg (seri 5000)
	Paduan jenis dapat perlakuan panas (heat-treatable)	Paduan Al-Cu (seri 2000) Paduan Al-Mg-Si (seri 6000) Paduan Al-Zn (seri 7000)
Al paduan untuk coran	<i>Non-heat-treatable alloy</i>	Paduan Al-Si (Silumin) Paduan Al-Mg (Hydronarium)
	<i>Heat-treatable alloy</i>	Paduan Al-Cu (Lautal) Paduan Al-Si-Mg (Silumin, Lo-ex)

(Sumber: Subagyo, 2017)

Selain klasifikasi aluminium paduan di atas, berikut ini merupakan tabel klasifikasi aluminium berdasarkan paduan utama dan proses pengerjaannya dengan proses penempaan, dapat dijelas melalui Tabel 2.4 dan pada Tabel 2.5 merupakan klasifikasi aluminium berdasarkan perlakuan yang dilakukan.

Tabel 2.5 Klasifikasi paduan aluminium tempaan dengan unsur paduan utamanya.

Standar AA	Standar Alcoa terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	2S	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010-2029	10S-29S	Cu merupakan unsur paduan utama
3003-3009	3S-9S	Mn merupakan unsur paduan utama
4030-4039	30S-39S	Si merupakan unsur paduan utama
5050-5086	50S-69S	Mg merupakan unsur paduan utama
6061-6069		Mg ₂ Si merupakan unsur paduan utama
7070-7079	70S-79S	Zn merupakan unsur paduan utama

(Sumber: Surdia T. dan Saito, 1995)

Berikut ini merupakan jenis-jenis aluminium paduan yang sering digunakan dan paduan aluminium dengan proses pengerjaan yang berbeda-beda.

a. Paduan Aluminium-Silikon

Paduan aluminium dengan silikon hingga 15% akan memberikan kekerasan dan kekuatan *tensil* yang cukup besar, hingga mencapai 525 MPa pada aluminium paduan yang dihasilkan pada perlakuan panas. Jika konsentrasi silikon lebih tinggi dari 15%, tingkat kerapuhan logam akan meningkat secara drastis akibat terbentuknya kristal granula silika.

b. Paduan Aluminium-Magnesium

Keberadaan magnesium hingga 15,35% dapat menurunkan titik lebur logam paduan yang cukup drastis, dari 660°C hingga 450°C. Namun, hal ini tidak menjadikan aluminium paduan dapat ditempa menggunakan panas dengan mudah karena korosi akan terjadi pada suhu di atas 60°C. Keberadaan magnesium juga menjadikan logam paduan dapat bekerja dengan baik pada temperatur yang sangat rendah, di mana kebanyakan logam akan mengalami *failure* pada temperatur tersebut.

c. Paduan Aluminium-Tembaga

Paduan aluminium-tembaga juga menghasilkan sifat yang keras dan kuat, namun rapuh. Umumnya, untuk kepentingan penempaan, paduan tidak boleh memiliki konsentrasi tembaga di atas 5,6% karena akan membentuk senyawa CuAl_2 dalam logam yang menjadikan logam rapuh.

d. Paduan Aluminium-Mangan

Penambahan mangan memiliki akan berefek pada sifat dapat dilakukan pengerasan tegangan dengan mudah (*work-hardening*) sehingga didapatkan logam paduan dengan kekuatan *tensil* yang tinggi namun tidak terlalu rapuh. Selain itu, penambahan mangan akan meningkatkan titik lebur paduan aluminium.

e. Paduan Aluminium-Seng

Paduan aluminium dengan seng merupakan paduan yang paling terkenal karena merupakan bahan pembuat badan dan sayap pesawat terbang. Paduan ini memiliki kekuatan tertinggi dibandingkan paduan lainnya, aluminium dengan 5,5% seng dapat memiliki kekuatan *tensil* sebesar 580 MPa dengan elongasi sebesar 11% dalam setiap 50 mm

bahan. Bandingkan dengan aluminium dengan 1% magnesium yang memiliki kekuatan *tensil* sebesar 410 MPa namun memiliki elongasi sebesar 6% setiap 50 mm bahan.

Selain jenis-jenis aluminium paduan di atas, Aluminium memiliki kelas atau *grade* yang tergantung pada unsur paduan dan perlakuan panas yang dilakukan terhadap paduan aluminium tersebut. *Grade* (kelas) dari aluminium dapat menunjukkan berbagai sifat mekanik dari aluminium tersebut dari penampilan yang baik, kemudahan fabrikasi, ketahanan korosi yang baik, mampu las yang baik dan ketangguhan retak tinggi. Pemilihan *grade* (kelas) aluminium yang tepat tergantung pada aplikasi yang diperlukan dan kondisi kerja. Berikut adalah aluminium paduan yang sesuai dengan *grade* dan kodefikasi yang dimiliki setiap paduan aluminium itu sendiri.

1. *Grade* aluminium Seri 1xxx

Grade dari aluminium ini (1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350 dan lain-lain) di tandai dengan ketahanan korosi yang sangat baik, konduktivitas termal dan elektrik yang tinggi, sifat mekanik yang rendah, dan kemampuan kerja yang sangat baik. *Grade* aluminium ini memiliki kandungan Besi dan silikonyang besar.

2. *Grade* aluminium Seri 2xxx

Paduan aluminium ini (2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 201,0; 203,0; 206,0; 224,0; 242,0 dll) memerlukan *solution heat treatment* untuk mendapatkan sifat yang optimal, didalam kondisi *solution heat treatment* , sifat mekanik yang mirip dengan baja karbon rendah dan kadang-kadang melebihi sifat mekanik baja karbon rendah. Dalam beberapa contoh, proses perlakuan panas (aging) digunakan untuk lebih meningkatkan sifat mekanik. Paduan aluminium dalam seri 2xxx tidak memiliki ketahanan korosi yang baik ketimbang kebanyakan paduan aluminium lainnya, dan dalam kondisi tertentu paduan ini mungkin akan terjadi korosi pada antar butir. *Grade* aluminium dalam seri 2xxx ini baik untuk bagian yang membutuhkan kekuatan yang bagus

yaitu pada suhu sampai 150°C (300°F). Kecuali untuk kelas 2219, paduan aluminium ini sudah memiliki mampu las tetapi masih terbatas. beberapa paduan dalam seri ini memiliki kemampuan mesin yang baik.

3. *Grade* aluminium Seri3xxx

Paduan aluminium ini (3003, 3004, 3105, 383,0; 385,0; A360; 390,0) umumnya memiliki ketidak mampuan panas tetapi memiliki kekuatan sekitar 20% lebih dari paduan aluminium seri 1xxx karena hanya memiliki presentase mangan yang sedikit (sampai sekitar 1,5%) yang dapat ditambahkan ke aluminium. mangan digunakan sebagai elemen utama dalam beberapa paduan.

4. *Grade* aluminium Seri 4xxx

Unsur paduan utama dalam paduan seri 4xxx (4032, 4043, 4145, 4643 dll) adalah silikon, yang dapat ditambahkan dalam jumlah yang cukup (hingga 12%) menyebabkan substansial menurunkan rentang lebur. Untuk alasan ini, paduan aluminium-silikon yang digunakan dalam kawat las dan sebagai paduan untuk menyolder digunakan untuk menggabungkan aluminium, di mana titik lebur lebih rendah dari logam dasar yang digunakan.

5. *Grade* aluminium Series 5xxx

Unsur paduan utama *grade* aluminium ini adalah magnesium, bila digunakan sebagai elemen paduan utama atau digabungkan dengan mangan, hasilnya adalah paduan yang memiliki kekerasan sedang hingga kekuatan yang tinggi. Magnesium jauh lebih efektif dari pada mangan sebagai penguat - sekitar 0,8% Mg sama dengan 1,25% Mn dan dapat ditambahkan dalam jumlah yang jauh lebih tinggi. Paduan aluminium dalam seri ini (5005, 5052, 5083, 5086, dll) memiliki karakteristik pengelasan yang baik dan ketahanan yang relatif baik terhadap korosi dalam atmosfer laut. Namun, pada pekerjaan dingin harus dilakukan pembatasan dan suhu operasi (150°) diperbolehkan untuk paduan aluminium yang memiliki magnesium tinggi untuk menghindari kerentanan terhadap korosi retak.

6. *Grade* aluminium Seri 6xxx

Paduan aluminium dalam seri 6xxx (6061 dan 6063) mengandung silikon dan magnesium sekitar dalam proporsi yang diperlukan untuk pembentukan magnesium silisida (Mg_2Si), sehingga membuat paduan ini memiliki mampu perlakuan panas yang baik. Meskipun tidak sekuat pada paduan 2xxx dan 7xxx, paduan aluminium seri 6xxx memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mampu las, mampu mesin, dan ketahanan korosi yang relatif baik dengan kekuatan sedang.

Untuk paduan aluminium seri 6xxx yang memiliki unsur paduan utama Al-Mg-Si, dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan 6063 dipergunakan untuk rangka-rangka konstruksi, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi. Sedangkan paduan aluminium seri 6061 adalah salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari berbagai sisi yaitu seperti kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, serta tahan terhadap korosi.

7. *Grade* aluminium Seri 7xxx

Zinc jumlah dari 1% sampai 8%) merupakan unsur paduan utama dalam paduan aluminium seri 7xxx (7075, 7050, 7049, 710,0; 711,0 dll) dan ketika digabungkan dengan persentase magnesium yang lebih kecil di dalam perlakuan panas yang cukup maka paduan ini akan memiliki kekuatan yang sangat tinggi. Biasanya unsur-unsur lain, seperti tembaga dan kromium, juga ditambahkan dalam jumlah kecil. paduan seri 7xxx digunakan dalam struktur badan pesawat, peralatan besar yang bergerak dan bagian lainnya memiliki tekanan yang sangat tinggi (Subagyo, 2017).

2.10 Heat Treatment

Perlakuan panas atau *heat treatment* adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen pada tungku (*elektrik terance*) pada temperatur *rekristalisasi* selama periode waktu tertentu kemudian di dinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Perlakuan panas merupakan proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan sehingga penentuan bahan logam yang tepat pada hakekatnya merupakan kesepakatan antara berbagai sifat, lingkungan dan cara penggunaan hingga sampai dimana sifat bahan logam tersebut dapat memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.

Sifat-sifat bahan logam perlu dikenal secara baik karena bahan logam tersebut dipakai pada berbagai kepentingan dan dalam keadaan sesuai dengan fungsinya. Tetapi terkadang sifat-sifat bahan logam ternyata kurang memenuhi persyaratan sesuai dengan fungsi dan kegunaannya. Sehingga diperlukan suatu usaha untuk dapat meningkatkan atau memperbaiki sifat-sifat logam. Sifat-sifat logam tersebut dapat ditingkatkan dengan salah satunya adalah perlakuan panas. Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat dari logam dengan jalan memanaskan coran sampai temperatur yang cocok, kemudian dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu, kemudian didinginkan ke temperatur yang lebih rendah dengan kecepatan yang sesuai (Hartawan, 2018).

Proses dalam *heat treatment* meliputi *heating*, *colding*, dan *cooling*. Adapun tujuan dari masing-masing proses yaitu :

- a. *Heating* : Proses pemanasan sampai temperatur tertentu dan dalam periode waktu. Tujuannya untuk memberikan kesempatan agar terjadinya perubahan struktur dari atom-atom dapat menyeluruh.

- b. *Holding* : Proses penahanan pemanasan pada temperatur tertentu, bertujuan untuk memberikan kesempatan agar terbentuk struktur yang teratur dan seragam sebelum proses pendinginan.
- c. *Cooling* : Proses pendinginan dengan kecepatan tertentu, bertujuan untuk mendapatkan struktur dan sifat fisik maupun sifat mekanis yang diinginkan.

Ketiga hal diatas tergantung dari material yang akan di *heat treatment* dan sifat-sifat akhir yang diinginkan. Melalui perlakuan panas yang tepat tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras di sekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat, susunan kimia logam harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon (C) dapat mengakibatkan perubahan sifat fisis (Subagyo, 2017).

2.11.Dasar Perlakuan Panas Paduan Aluminium

Perlakuan panas dan pengerasan aluminium dapat dilakukan jika sistem diantara Al dan CuAl_2 . Larutan padat alfa di daerah sisi Al pada temperatur tinggi merupakan larutan padat. Dari berbagai komponen kedua, yang kelarutannya menurun jika temperatur diturunkan, umpamanya 4% Cu – Al didinginkan dari larutan padat yang homogen sampai memotong kurva kelarutan unsur kedua pada keadaan mendekati keseimbangan, fasa kedua akan terpresipitasikan (mengendap) setelah beberapa waktu tertentu. Setelah ditahan beberapa waktu pada temperatur 500°C kemudian dicelup dengan cepat (*quenching*) sehingga diperoleh larutan padat lewat jenuh yang merupakan kondisi fasa yang tidak stabil, rangkaian operasi tersebut disebut perlakuan pelarutan (*solution treatment*).

Perubahan sifat-sifat dengan berjalannya waktu pada umumnya dinamakan penuaan alamiah (*natural aging*). Sedangkan bila proses itu terjadi pada temperatur lebih tinggi dari temperatur kamar ($120^\circ - 180^\circ\text{C}$), dinamakan penuaan buatan (*artificial aging*) atau penuaan temper. Khusus untuk peningkatan kekerasan dan kekuatan dinamakan pengerasan penuaan atau pengerasan presipitasi. Untuk memperlambat terjadinya proses penuaan/presipitasi pada paduan aluminium dapat dilakukan dengan cara, setelah pelarutan tersebut segera

dimasukan ke tempat pendingin (*ice box*) dengan suhu -18°C , sehingga proses penuaannya dapat diperlambat hingga mencapai 144 jam (6 hari).

Tabel 2.6 Klasifikasi Perlakuan Bahan

Tanda	Perlakuan
F	<i>As fabricated</i> , digunakan pada produk-produk yang telah mengalami proses pembentukan.
O	<i>Annealed</i> , digunakan untuk produk hasil annealing.
H	<i>Strain harded</i> , digunakan pada produk-produk yang mengalami penambahan kekuatan dengan proses pengerasan regang.
W	<i>Solution heat treatment</i> , merupakan temper yang tidak stabil hanya dilakukan pada aluminium yang dapat diproses <i>aging</i> pada temperatur kamar.
T	<i>Heat treated</i> , perlakuan panas untuk memperoleh temper (kondisi perlakuan panas) yang lebih stabil dari F, O, H dan W. Digunakan pada produk yang diproses <i>heat treatment</i> dengan atau tanpa strain hardening (<i>cold working</i>).
T1	Didinginkan dari suatu temperatur tinggi hasil proses pembentukan dan dilanjutkan dengan <i>natural aging</i> untuk mendapatkan kondisi stabil.
T2	Didinginkan dari suatu temperatur tinggi hasil proses pembentukan, dilanjutkan dengan pengerjaan dingin (<i>cold working</i>) dan <i>natural aging</i> untuk mendapatkan kondisi yang stabil.
T3	Dilakukan proses perlakuan panas pelarutan (<i>solution heat treated</i>) dan dilanjutkan dengan proses pengerjaan dingin serta <i>natural aging</i> untuk mendapatkan kondisi yan stabil.
T4	Dilakukan proses perlakuan panas pelarutan dan dilanjutkan dengan pengerjaan dingin serta <i>natural aging</i> untuk mendapatkan kondisi stabil.
T5	Didinginkan dari suatu temperatur tinggi proses pembentukan dan dilakukan <i>artificial aging</i> .
T6	Dilakukan proses perlakuan panas pelarutan dan dilanjutkan dengan <i>artificial aging</i> .
T7	Dilakukan proses perlakuan panas dan dilanjutkan dengan proses stabilisasi.

T8	Dilakukan proses perlakuan panas pelarutan dan dilanjutkan dengan pengerjaan dingin dan <i>artificial aging</i> .
T9	Dilakukan proses perlakuan panas pelarutan dan dilanjutkan dengan <i>artificial aging</i> dan pengerjaan dingin.
T10	Didinginkan dari temperatur tinggi proses pembentukan, pengerjaan dingin dan dilakukan <i>artificial aging</i> .

(Sumber: Surdia T. dan Saito 1995)

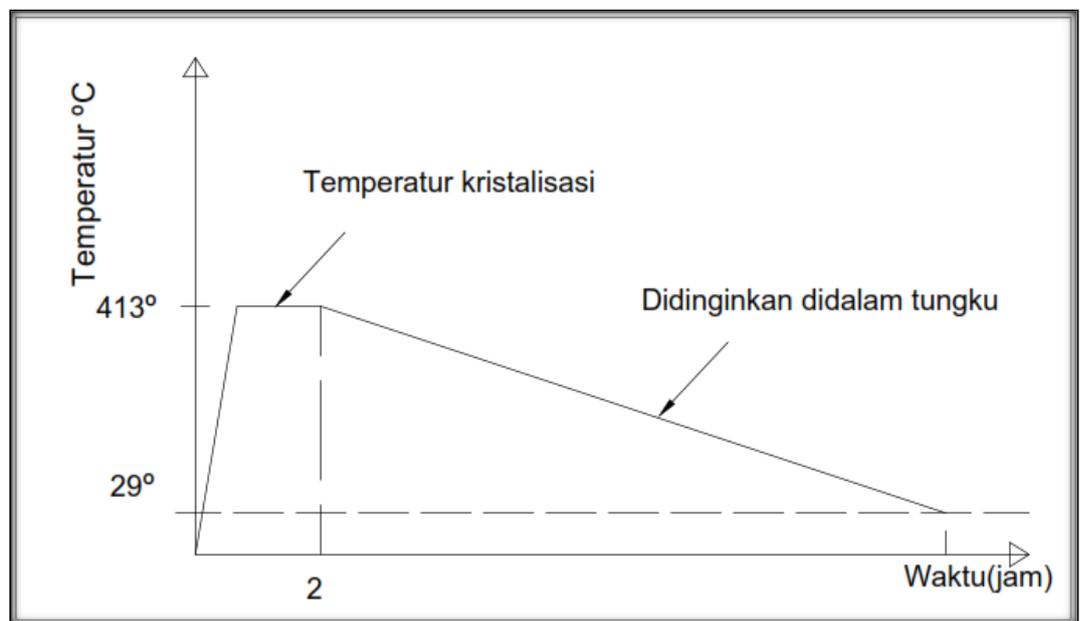
Sistem penandaan temper, diprakarsai oleh Sistem Penandaan Paduan Internasional (*International Alloy Designation System, IADS*), berdasarkan klasifikasi yang dikembangkan *Aluminum Association (AA)* dari Amerika Serikat. Penandaan ini diterima di berbagai negara. Penandaan temper (*temper designation*), digunakan untuk aluminium tempa (*wrought*) dan paduan aluminium pengecoran (*casting*).

Penandaan temper diperlukan untuk memilih aluminium paduan yang tepat, sifat yang tidak hanya ditentukan oleh komposisi kimianya tapi ditentukan juga oleh proses *heat treatment* paduan tersebut dan dari proses pengerjaan dingin (*cold working*) yang dilakukan oleh paduan yang akan dijadikan sebuah komponen. Akhiran pada penandaan temper tersebut ditulis dengan penandaan paduan dengan sebuah tanda penghubung (contoh: 2618-T6, 3003-H14, 1100-O).

Penandaan temper menggunakan huruf kapital, yang mengindikasikan kondisi temper awal paduan tersebut. Berikut penandaan paduan aluminium menurut IADS :

- **F**, *as fabricated*, tidak ada perlakuan khusus seperti *heat treatment* atau *strain hardening* setelah paduan tersebut dilakukan proses fabrikasi seperti pengecoran, *hot working*, atau *cold working*. Paduan tersebut digunakan untuk proses fabrikasi saja yang tidak memerlukan proses *heat treatment* lebih lanjut.
- **O**, *annealed*, menandakan bahwa paduan tersebut telah mengalami proses pelunakan (*anneal*). Digunakan untuk paduan tempa (*wrought*). Proses *anneal* bertujuan untuk melunakkan paduan dan untuk paduan *casting* proses *anneal* dilakukan untuk meningkatkan keuletan (*ductility*) dan kemampuan untuk stabil terhadap dimensi. Proses *anneal* juga berfungsi

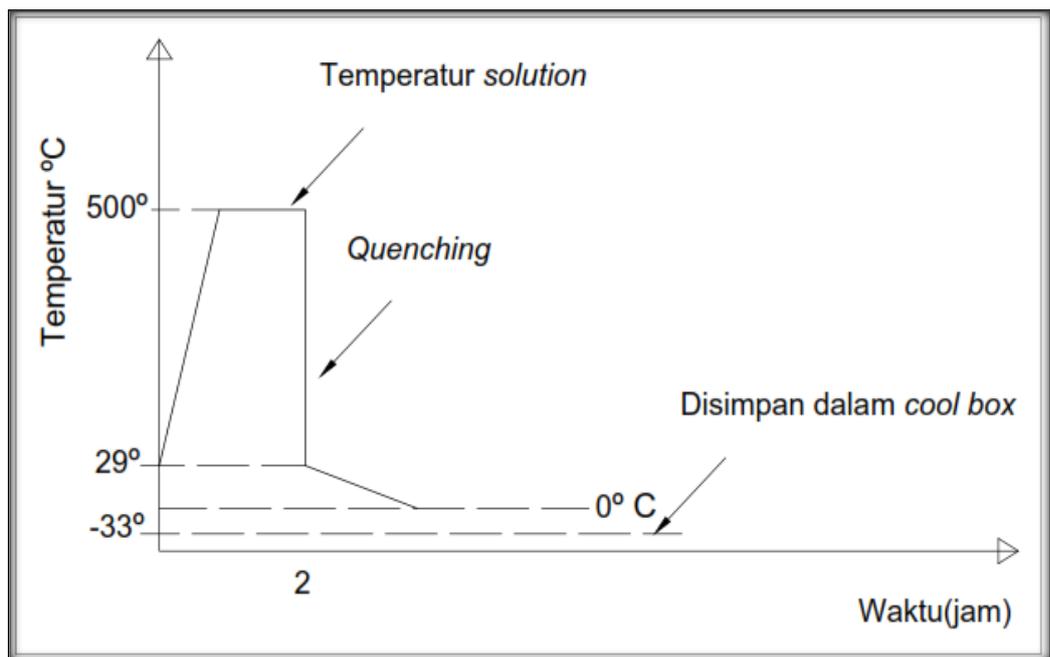
untuk menghilangkan tegangan dalam sehingga elastisitas dapat di tingkatkan dan memudahkan permesinan lebih lanjut. Proses *annealing* dimulai dengan memanaskan logam pada temperatur tinggi hingga mencapai suhu rekristalisasi dan ditahan selama waktu yang ditentukan kemudian didinginkan dalam dapur/tanur. Pendinginan dalam tanur/tungku dilakukan dengan mengurangi panas tungku secara bertahap, contoh Al 2017 di *annealing* pada temperatur 413°C dengan pendinginan dalam tungku 28°C/jam.



Gambar 2.7 Proses *annealing* aluminium

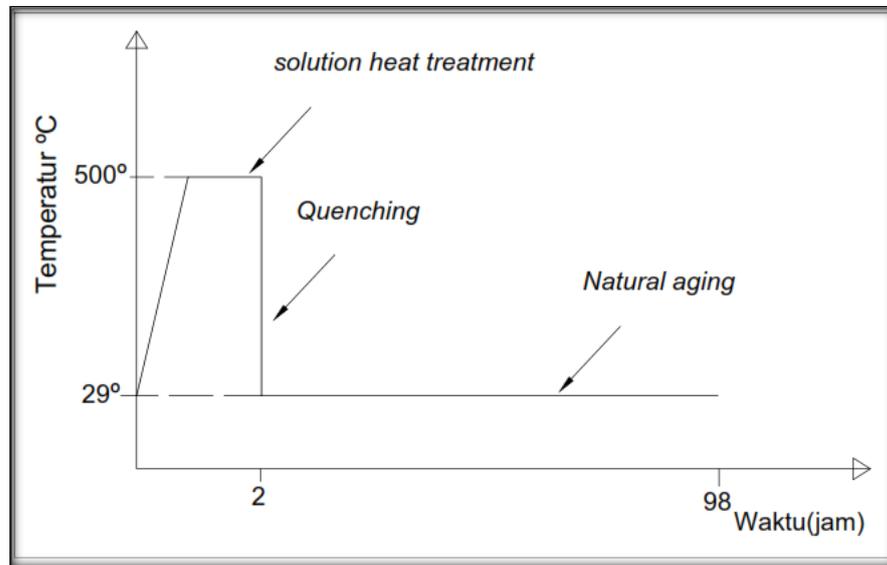
- **H**, *strain hardened*, digunakan pada paduan yang digunakan untuk produk tempa (*wrought*). Digunakan untuk paduan yang telah mengalami proses penguatan dengan proses *strain hardening*, dengan atau tanpa proses *heat treatment* selanjutnya.
- **W**, *solution heat treatment*, merupakan kondisi temper yang tidak stabil digunakan hanya untuk paduan yang akan mengalami proses penuaan (*aging*) jika material tersebut didinginkan di temperatur ruangan. Proses *solution heat treatment* dilakukan untuk membentuk fasa *solution* yang stabil dengan memanaskan paduan pada temperatur 500°C dengan waktu pemanasan 2 jam. Selanjutnya paduan tersebut di *quenching* menggunakan

media air. Sehingga terjadi fasa *solution* yang sangat jenuh. Dengan demikian kondisi paduan akan lunak sehingga memudahkan dilakukan proses pembentukan. Untuk menjaga agar paduan tersebut tetap lunak, setelah proses *quenching* paduan tersebut dimasukkan ke dalam *cool box*. Dimasukkannya paduan ke dalam *cool box* untuk menghindari terjadinya penuaan (*aging*).



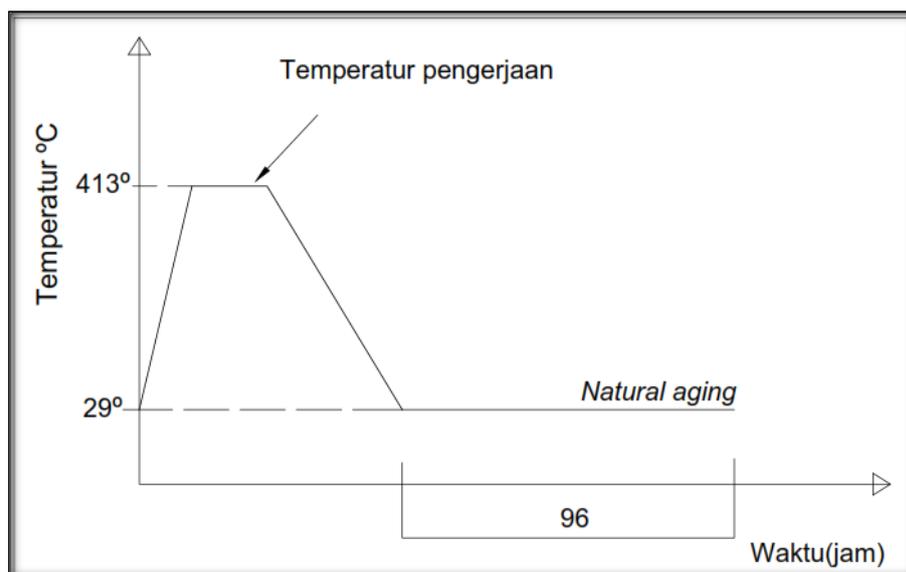
Gambar 2.8 Proses *solution heat treatment*

- **T**, *thermal treated (heat treatment)*, digunakan untuk paduan yang telah mengalami proses penguatan dengan proses *heat treatment*, dengan atau tanpa proses *strain hardening*. Proses *heat treatment* dilakukan untuk membentuk fasa yang stabil, dibandingkan dengan F, O atau H. Dengan fasa yang stabil, kekuatan dan kekerasan logam akan lebih baik. Proses *solution heat treatment* dilakukan dengan memanaskan logam pada temperatur 500°C dengan *holding time* 2 jam. Selanjutnya di *quenching* menggunakan media air. Paduan disimpan di temperatur ruangan sehingga terjadi penuaan secara alami (*natural aging*).



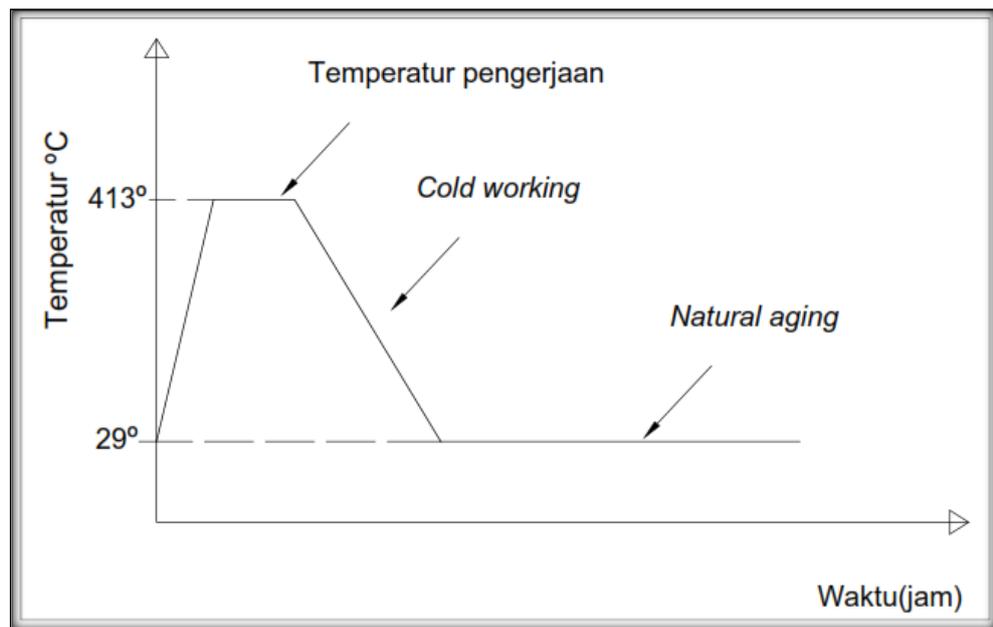
Gambar 2.9 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan dengan *natural aging*

- **T1**, *natural aging*, digunakan untuk paduan yang tidak dilakukan proses *cold working* setelah didinginkan dari proses pembentukan bertemperatur tinggi. Proses ini bertujuan untuk membentuk fasa yang lebih stabil pada temperatur ruangan, namun tidak memberikan efek yang begitu besar pada sifat mekanis logam tersebut. Proses *natural aging* dilakukan setelah paduan mengalami proses pembentukan dengan temperatur tinggi dilanjutkan dengan didinginkan di temperatur ruangan selama 96 jam.



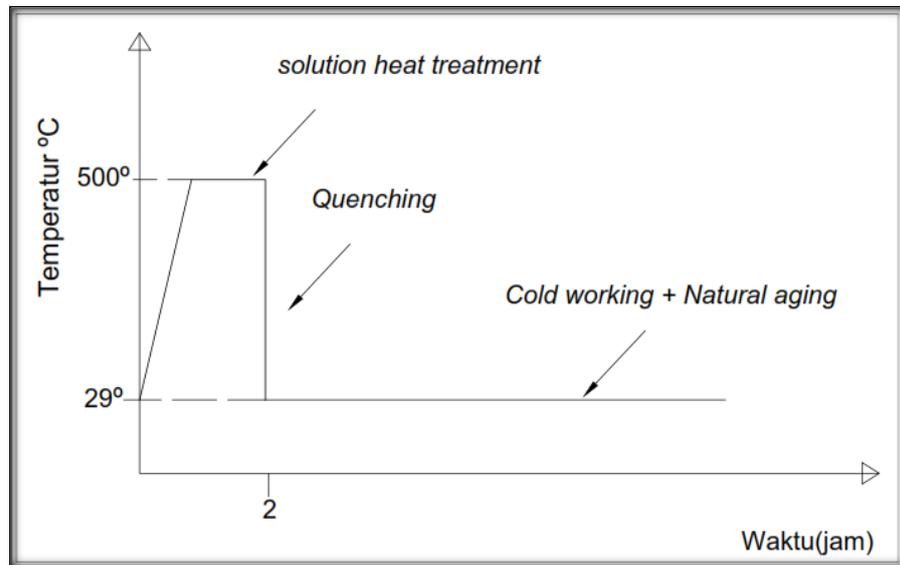
Gambar 2.10 Proses *natural aging* setelah mengalami proses pengerjaan

- **T2**, didinginkan dari temperatur pengerjaan yang tinggi + *cold working* + *natural aging*, digunakan untuk paduan yang mengalami proses *cold working* untuk meningkatkan kekuatan setelah didinginkan dari proses pembentukan bertemperatur tinggi (temperatur rekristalisasi). Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan melalui proses *cold working* pelurusan (*flattening*) dan penarikan (*straightening*).



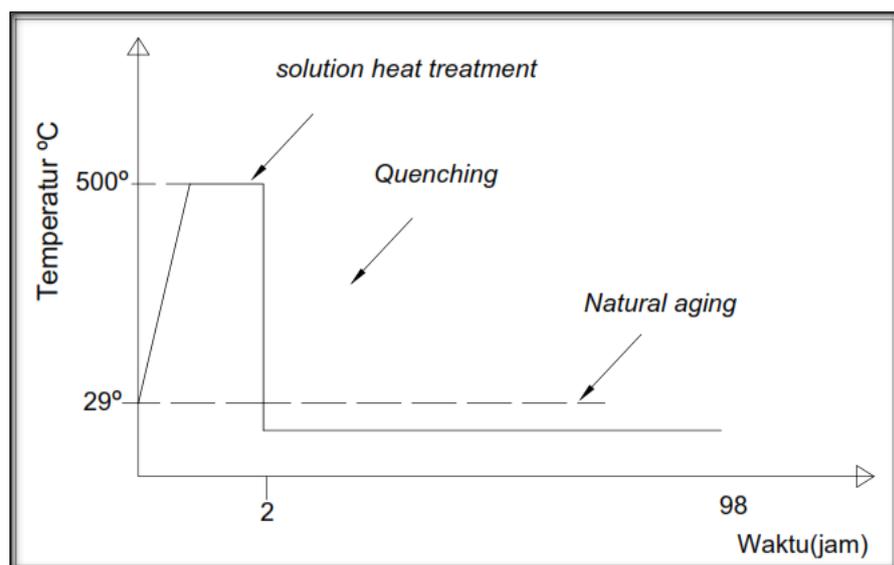
Gambar 2.11 Proses *cold working* dan *natural aging* setelah mengalami proses pengerjaan dengan temperatur tinggi

- **T3**, *solution heat treatment* + *cold working* + *natural aging*, digunakan untuk paduan yang mengalami proses *cold working*. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan paduan setelah mengalami proses *cold working*. Paduan dipanaskan hingga mencapai temperatur *solution heat treatment* (500 °C), dengan *holding time* tertentu, selanjutnya paduan tersebut diquenching menggunakan media air, lalu dilakukan pengerjaan dingin (*cold working*) dan paduan tersebut didinginkan (didiamkan) di temperatur ruangan sehingga terjadi penuaan secara alami (*natural aging*).



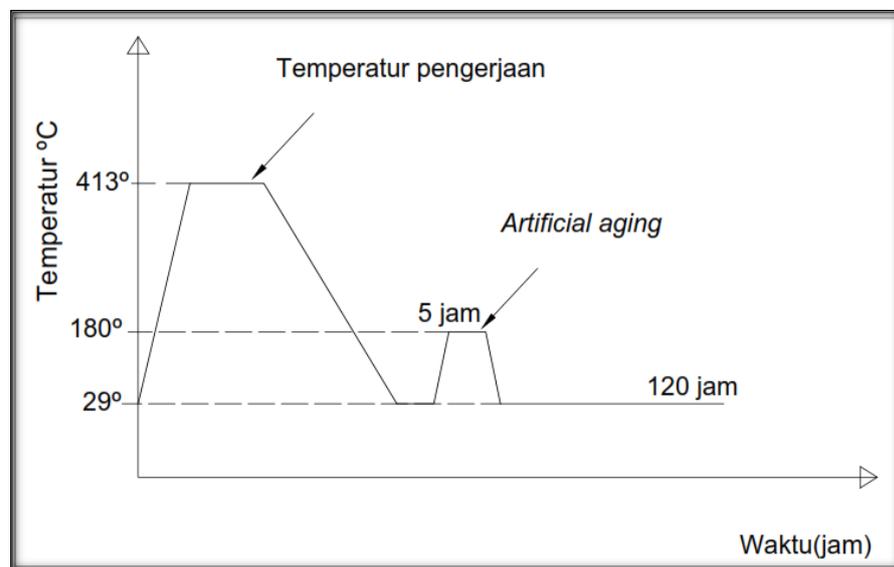
Gambar 2.12 Proses *solution heat treatment* dan *cold working* dilanjutkan *natural aging*

- **T4**, *solution heat treatment* + *natural aging*, digunakan untuk paduan yang tidak mengalami proses *cold working* setelah proses *solution heat treatment*. Tujuan temper ini adalah untuk meningkatkan kekuatan logam tanpa mengalami proses *cold working*. Logam dipanaskan hingga mencapai temperatur 500 °C lalu di quenching menggunakan media air dan didinginkan di temperatur ruangan selama 96 jam sehingga terjadi penuaan secara alami (*natural aging*).



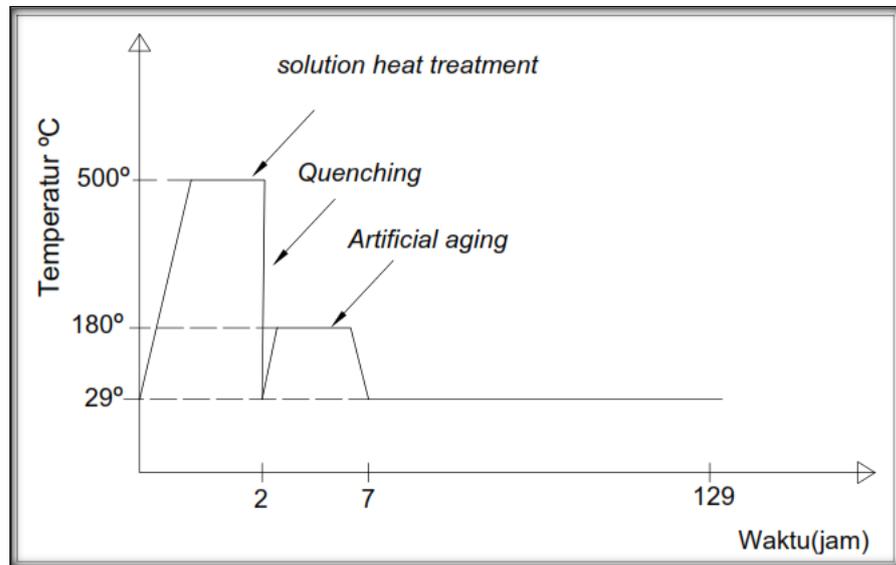
Gambar 2.13 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan dengan *natural aging*.

- **T5**, didinginkan dari pengerjaan bertemperatur tinggi + *artificial aging*, digunakan untuk paduan yang tidak mengalami proses *cold working* setelah proses pengerjaan pada temperatur tinggi. Temperatur ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan paduan. Proses dimulai dengan melakukan pengerjaan pada paduan dengan temperatur kerja yang tinggi (temperatur rekristalisasi) lalu paduan dipanaskan kembali pada temperatur 180 °C dengan *holding time* selama 5 jam selanjutnya didinginkan pada temperatur ruangan.



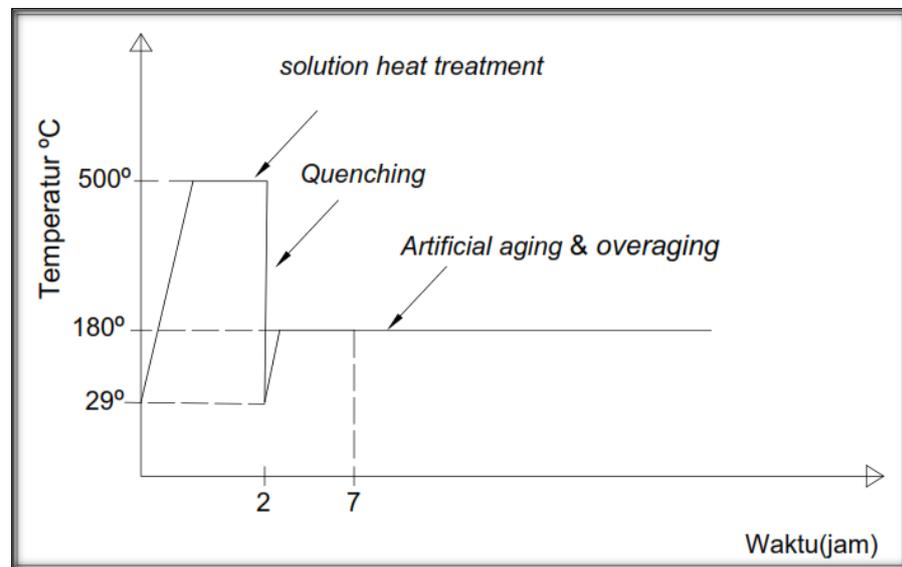
Gambar 2.14 Proses pendinginan dari pengerjaan bertemperatur tinggi dilanjutkan dengan proses *artificial aging*.

- **T6**, *solution heat treatment* + *artificial aging*, digunakan untuk paduan yang tidak dilakukan proses *cold working* setelah proses *solution heat treatment*. Paduan dipanaskan dengan temperatur 500°C dengan *holding time* 2 jam. Selanjutnya dilakukan proses *quenching* menggunakan media air. Setelah paduan di *quenching*, dilanjutkan dengan proses *artificial aging* dengan memanaskan kembali paduan dengan temperatur 180°C dengan *holding time* 5 jam dan didinginkan di temperatur ruangan selama 120 jam. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan paduan dengan proses *artificial aging* tanpa mengalami proses *cold working*.



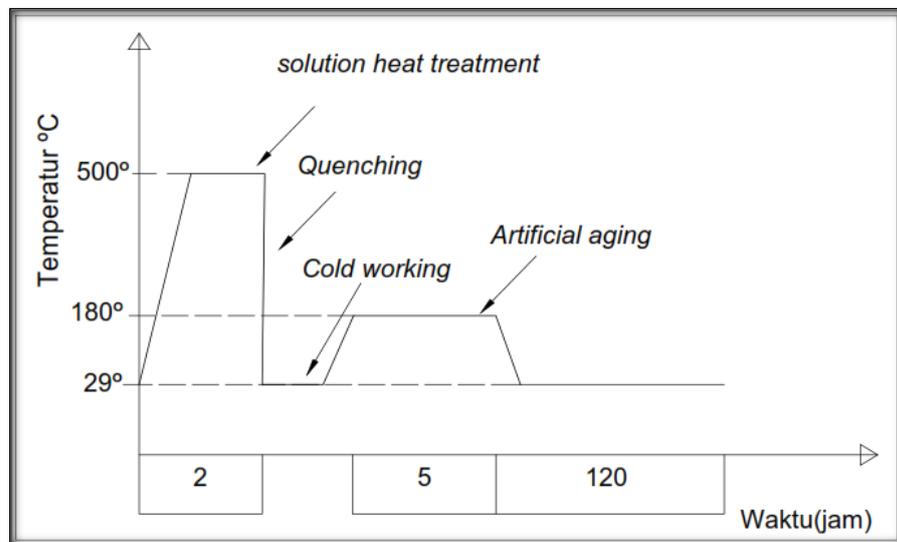
Gambar 2.15 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan dengan proses *artificial aging*.

- **T7**, *solution heat treatment* + *stabilized/ overaging*, digunakan untuk produk yang dilakukan stabilisasi/ *overaging* setelah proses *solution treatment*. Produk paduan dipanaskan pada temperatur *solution heat treatment* (500°C) dilanjutkan dengan *quenching* menggunakan media air. Selanjutnya produk tersebut kembali dilakukan proses *heat treatment* yaitu *artificial aging* dengan dipanaskan pada temperatur 180 °C, ketika waktu *holding time* selesai, produk tersebut masih dipanaskan sehingga terjadi *overaging*. Dengan terjadinya *overaging* ini, kekuatan produk akan sedikit menurun namun kemampuan stabil terhadap dimensi meningkat dan dapat menurunkan tegangan sisa. Dengan demikian temperatur ini bertujuan untuk mengontrol sifat-sifat yang diinginkan.



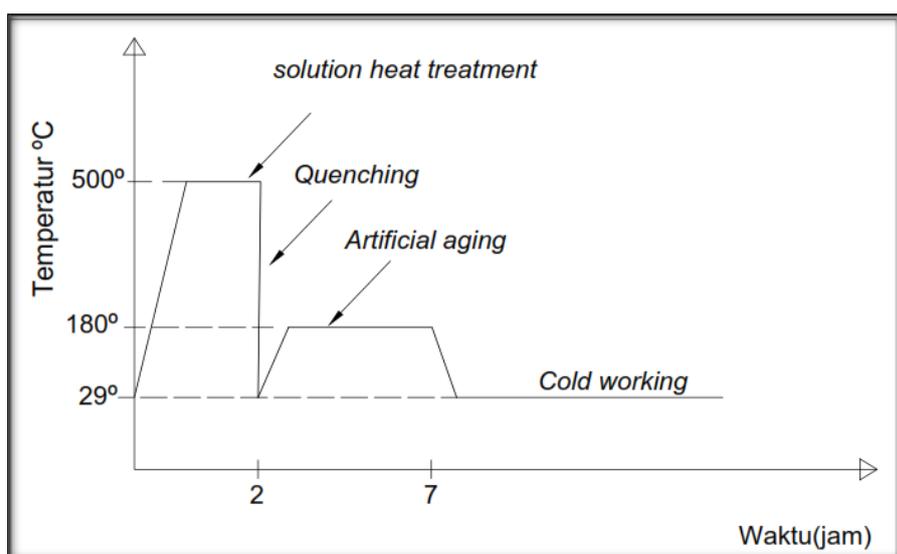
Gambar 2.16 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan proses *aging* hingga terjadi *over aging*

- T8**, *solution heat treatment* + *cold working* + *artificial aging*, digunakan untuk produk yang mengalami proses *cold working* setelah proses *solution heat treatment* lalu dilakukan proses *artificial aging*. Temper ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan paduan setelah mengalami proses *cold working*. Dengan proses *solution heat treatment* produk menjadi mudah dibentuk (*cold working*) dan untuk meningkatkan kekuatan setelah mengalami *cold working* produk tersebut dilakukan proses *artificial aging*. Produk paduan dipanaskan pada temperatur 500°C dengan *holding time* 2 jam dilanjutkan dengan *quenching* menggunakan media air. Setelah proses *solution heat treatment* selesai, dilakukan proses *cold working* dan produk kembali dipanaskan pada temperatur 180 °C dengan *holding time* 5 jam. Tahap terakhir adalah mendinginkan produk di temperatur ruangan selama 120 jam.



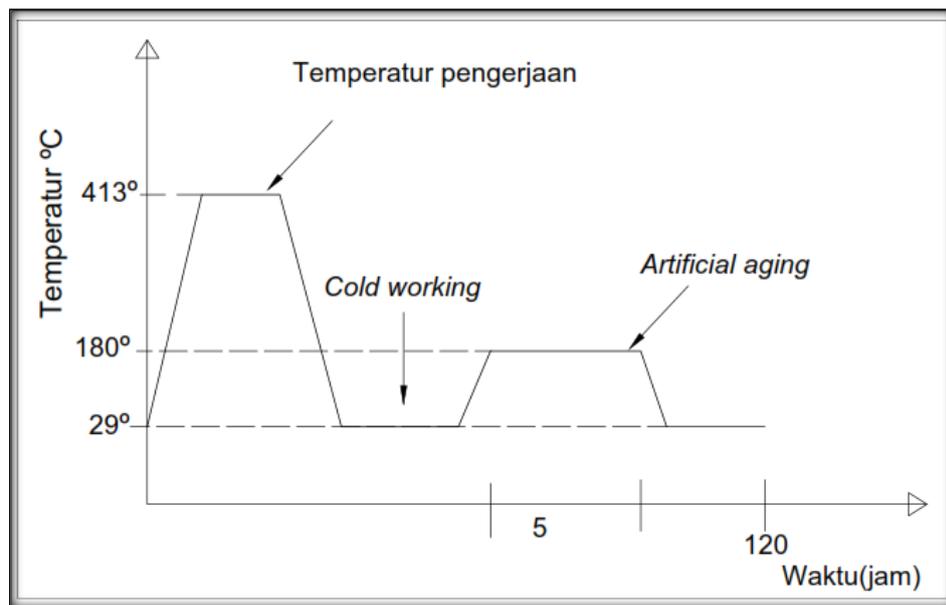
Gambar 2.17 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan proses *cold working* dan *artificial aging*

- **T9**, *solution heat treatment* + *artificial aging* + *cold working*, digunakan pada paduan yang mengalami proses *cold working* untuk meningkatkan kekuatan paduan tersebut. Paduan dipanaskan pada temperatur *solution heat treatment* (500 °C) dengan *holding time* 2 jam, lalu dilakukan proses *quenching* dengan menggunakan media air. Selanjutnya paduan dilakukan proses *artificial aging* dengan memanaskan paduan pada temperatur 180 °C dengan *holding time* selama 5 jam. Tahap terakhir adalah *cold working* untuk lebih meningkatkan kekuatan dan membentuk paduan.



Gambar 2.18 Proses *solution heat treatment* dilanjutkan proses *artificial aging* dan *cold working*

- **T10**, didinginkan dari pengerjaan bertemperatur tinggi + *cold working* + *artificial aging*, digunakan untuk produk yang dilakukan proses *cold working*. Setelah paduan dilakukan pengerjaan bertemperatur tinggi, dilanjutkan dengan *cold working*. Untuk meningkatkan kekuatan, dilakukan proses *artificial aging* dengan dipanaskan pada temperatur 180°C dengan *holding time* 5 jam.



Gambar 2.19 Pendinginan dari pengerjaan bertemperatur tinggi dilanjutkan *cold working* dan *artificial aging*.

2.11. Pengamatan Struktur Mikro

Sifat-sifat fisis dan mekanik dari material tergantung dari struktur mikro material tersebut. Struktur mikro dalam logam (paduan) di tunjukan dengan besar, bentuk dan orientasi butirnya, jumlah fasa, proporsi dan kelakuan dimana mereka tersusun atau terdistribusi. Struktur mikro dari paduan tergantung dari beberapa faktor seperti, elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diberikan. Pengujian struktur mikro atau metalografi dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan koefisien pembesaran dan metode kerja yang bervariasi. Adapun beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro adalah:

a. *Sectioning* (Pemotongan)

Pemotongan ini dipilih sesuai dengan bagian yang akan diamati struktur mikronya. Spesimen uji dipotong dengan ukuran seperlunya.

b. *Grinding* (Pengamplasan kasar)

Tahap ini untuk menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen uji yang ditujukan untuk menghilangkan retak dan goresan. *Grinding* dilakukan secara bertahap dari ukuran yang paling kecil hingga besar.

c. *Polishing* (Pemolesan)

Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap, tidak boleh ada goresan. Hasil yang baik dapat diperoleh dengan memperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

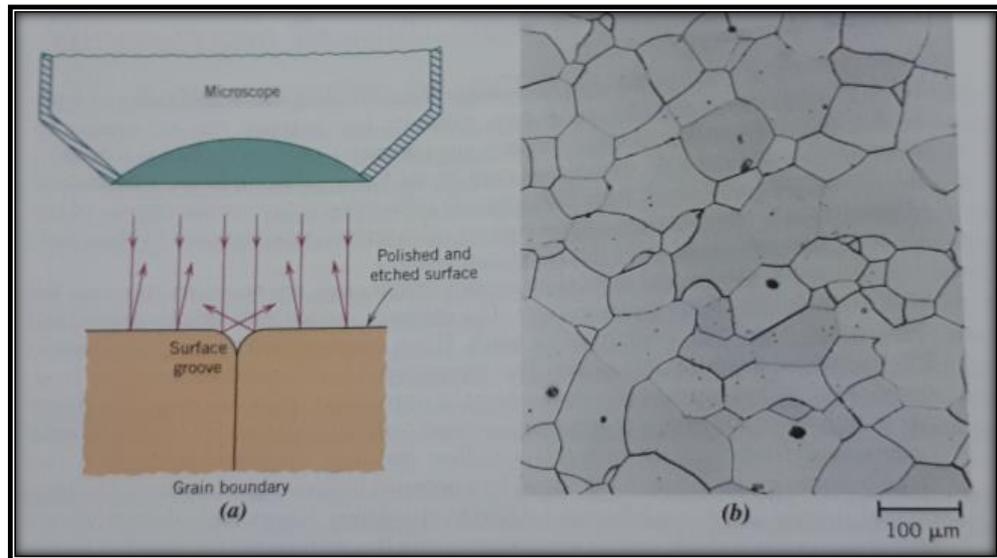
- 1) Pemolesan, sebaiknya dilakukan dengan satu arah agar tidak terjadi goresan.
- 2) Penekanan, Pengamplasan pada mesin amplas jangan terlalu ditekan, apabila terlalu ditekan maka arah dan posisi pemolesan dapat berubah dan kemungkinan terjadi goresan-goresan yang tidak teratur.

d. *Etching* (*Pengetsaan*)

Hasil dari proses pemolesan akan berupa permukaan yang mengkilap seperti cermin. Agar struktur terlihat jelas maka permukaan tersebut dietsa. Dalam pengetsaan jangan terlalu kuat karena akan terjadi kegosongan pada benda uji.

e. Pemotretan

Pemotretan digunakan untuk mendapatkan gambar dari struktur mikro dari spesimen uji setelah difokuskan dengan mikroskop. Pada Gambar 2.20. *B* terlihat contoh *A* melalui mikroskop.



Gambar 2.20 (a) penampang batas butir, (b) foto mikro permukaan spesimen.
(Sumber: Wiliam D. Callister, JR. 2012)

2.12 Uji Kekerasan

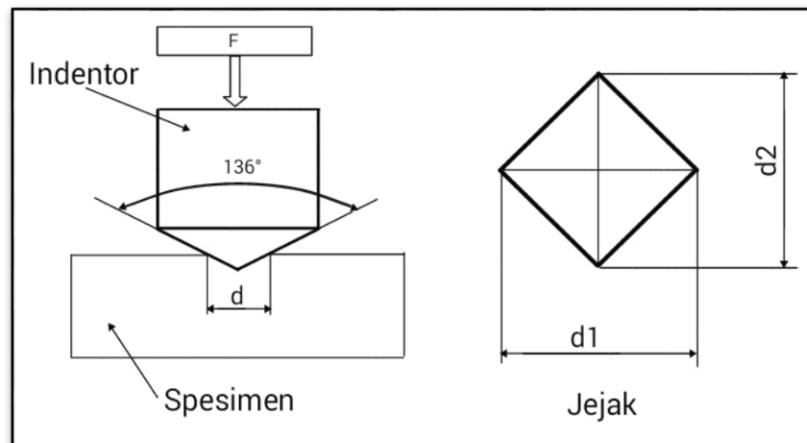
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sejauh mana suatu logam mempunyai ketahanan terhadap deformasi plastis akibat penetrasi pada permukaannya. Logam akan berusaha untuk mempertahankan kedudukannya ketika mengalami penetrasi. Deformasi plastis terjadi jika penjejakan akan meninggalkan lekukan pada permukaan logam yang berarti terjadinya pergeseran atom-atom dari baja tersebut.

Ada 3 cara yang umum dilakukan dalam pengujian kekerasan, yaitu : Cara Goresan (scratch hardness), Cara Pantulan (rebound hardness) atau dinamis (dynamic hardness), cara lekukan (indentation hardness).

1. Cara Goresan

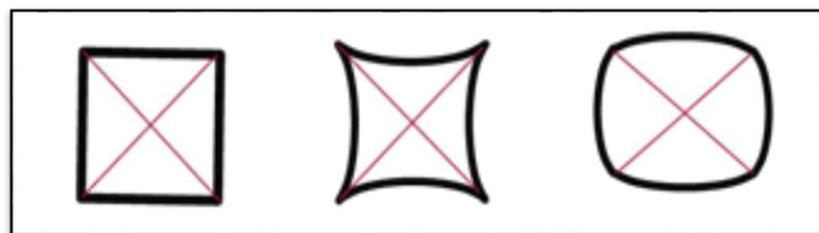
Pengujian ini dilakukan dengan cara saling menggoreskan dua buah logam yang berbeda. Besarnya nilai kekerasan ini diukur dengan menggunakan *skala mohs*, dimana skala ini terdiri dari 10 standar angka yang menandakan kemampuan suatu logam uji untuk digores. Angka 1 menandakan tingkat kekerasan yang paling rendah (paling lunak), begitu juga sebaliknya tingkat kekerasan yang paling besar ditandai dengan angka 10. Intan yang mempunyai nilai kekerasan 10 dipakai sebagai

Beban penekanan yang biasa digunakan berkisar antara 1 sampai 120 kg yang ditentukan berdasarkan kekerasan logam yang akan diuji. Jejak pada logam uji yang berupa lekukan seharusnya berbentuk bujur sangkar dan biasa terjadi penyimpangan.



Gambar 2.21 : Pengujian Kekerasan *Vickers*

Gambar memperlihatkan, gambar (b). lekukan bantal jarum, terjadinya penurunan di tepi lekukan karena pelunakan pada logam tersebut. Gambar (c) lekukan berbentuk tong, terjadi akibat penimbunan keatas disekitar penumbukan yang biasanya, sedangkan Gambar (a) menunjukkan lekukan yang sempurna.



(a) (b) (c)

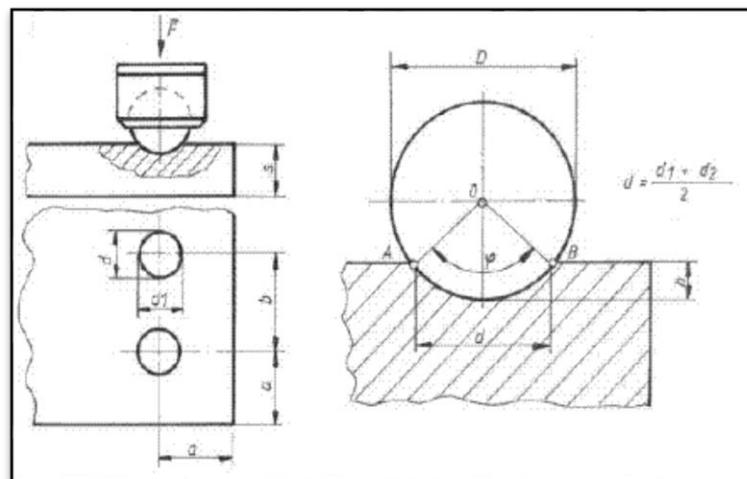
Gambar 2.22 : Tipe-tipe lekukan pyramid intan

b. Cara Rockwell

Berbeda dengan cara Brinell dan cara Vickers dimana nilainya ditentukan oleh lebar dari lekukan yang terjadi, cara Rockwell (*HR*) ini ditentukan oleh kedalaman lekukan yang terjadi pada permukaan logam uji semakin besar demikian juga sebaliknya. Besarnya nilai kekerasan dapat langsung terbaca pada skala yang terdapat pada alat uji. Biasanya penumbuk yang digunakan adalah kerucut intan dengan sudut puncak 120° atau bola baja. Bola baja berdiameter $\frac{1}{16}$ " dengan pembebanan 100 kg. Logam yang telah mengalami proses pengerasan diukur dengan menggunakan skala C dengan menggunakan indentor intan dan pembebanan sebesar 150 kg.

c. Cara Brinell

Uji kekerasan ini dilakukan dengan melakukan penekanan bola baja terhadap permukaan logam yang akan diuji. Bola baja yang digunakan biasanya berdiameter 10 mm dan pembebanan yang diberikan 3000 kg untuk benda uji baja.



Gambar 2.23 : Pengujian Kekerasan Brinell

Bola baja dipertahankan posisinya selama kurang lebih 30 detik saat penekanan agar terjadi lekukan yang permanen pada permukaan logam uji setelah indentor bola baja diangkat (*Gambar 19*). Pembebanan 500 kg digunakan untuk logam-logam yang

cukup lunak. Mikroskop digunakan untuk meneliti lekukan dengan cermat agar data yang diperoleh lebih akurat.

Besarnya nilai kekerasan Brinnel (*HB*) yang dinyatakan dengan kg/mm^2 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$HB = \frac{2P}{\pi.D(D-\sqrt{D^2-d^2})} = \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :P = beban yang diberikan (kg)

D = diameter bola baja (mm)

d = diameter bekas penekanan (mm)

Logam yang mempunyai kekerasan yang sangat besar, pengujian kekerasannya bola baja sebagai indentor.

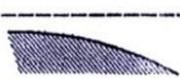
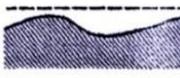
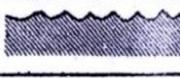
2.13.Uji Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah ketidak teraturan konfigurasi dan penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata permukaan yang nantinya akan terlihat pada profil permukaan. Kekasaran permukaan juga dapat dinyatakan dengan jarak rata-rata dari profil ke garis tengah antara puncak tertinggi dan lembah terdalam dari suatu permukaan yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin.

Konfigurasi permukaan yang kita liat dengan mata sebenarnya tidaklah serapi yang terlihat. Apabila profil permukaan kita lihat dari penampang melintang benda kita akan melihat ketidak teraturan dari profil permukaan suatu benda. Ketidak teraturan konfigurasi suatu permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi beberapa tingkat seperti yang terlihat pada tabel 2.9. Tingkat pertama merupakan ketidak teraturan makrogeometri yaitu keseluruhan permukaan yang membuat bentuk. Tingkat kedua yaitu yang disebut dengan gelombang (*waviness*), merupakan ketidakteraturan yang periodik dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar dari kedalamannya (*amplitude*). Tingkat ketiga

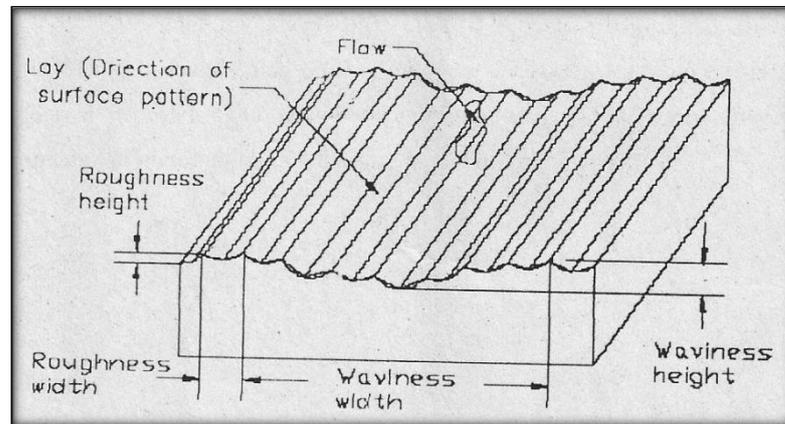
yaitu alur (*groove*) dan tingkat keempat adalah serpihan (*flaw*) dan keduanya lebih dikenal dengan istilah kekasaran (*roughness*) (Taufiq Raochim, 2001).

Tabel 2.9 Ketidakteraturan suatu profil (konfigurasi penampang permukaan)

Tingkat	Profil terukur; bentuk grafik hasil pengukuran	Istilah	Contoh kemungkinan penyebabnya
1		Kesalahan bentuk (form error)	Kesalahan bidang-bidang pembimbing mesin perkakas dan benda kerja, kesalahan posisi pengekaman benda kerja,
2		Gelombang (waviness)	Kesalahan bentuk perkakas, kesalahan penyenteran perkakas, getaran dalam proses pemesinan.
3		Alur (grooves)	Jejak/bekas pemotongan (bentuk ujung pahat, gerak makan).
4		Serpihan (flakes)	Proses pembentukan geram, deformasi akibat proses pancar pasir, pembentukan module pada proses electroplating.
			Kombinasi ketidakteraturan dari tingkat 1 sampai dengan 4.

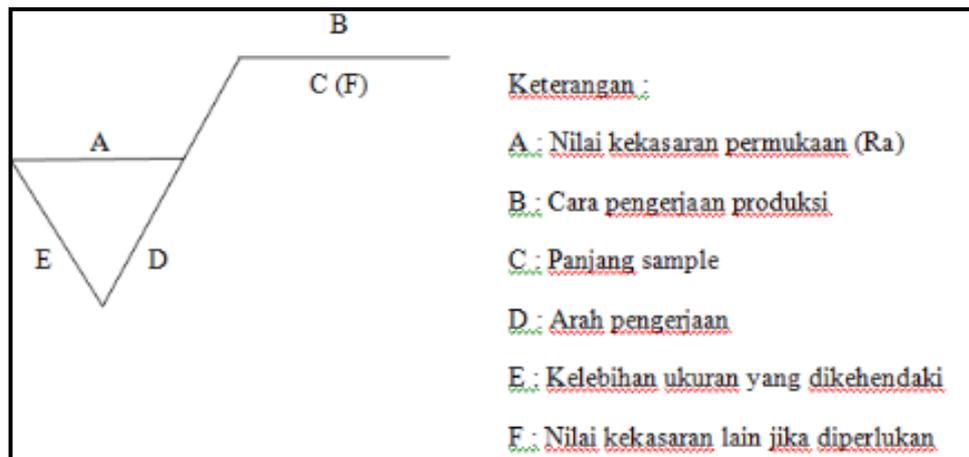
(Sumber: Taufik Rochim, 2001)

Kekasaran terdiri dari ketidakteraturan dari tekstur permukaan, yang pada umumnya mencakup ketidak teraturan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi. Contoh bentuk tektur permukaan benda kerja dapat dilihat pada gambar 2.22.



Gambar 2.24 Tekstur Permukaan

Pada gambar teknik kekasaran permukaan biasanya dilambangkan dengan simbol yang berupa segitiga sama sisi dengan salah satu ujungnya menempel pada permukaan. Pada segitiga ini juga terdapat beberapa angka dan simbol yang memiliki beberapa arti yang terlihat pada gambar 2.23 berikut.

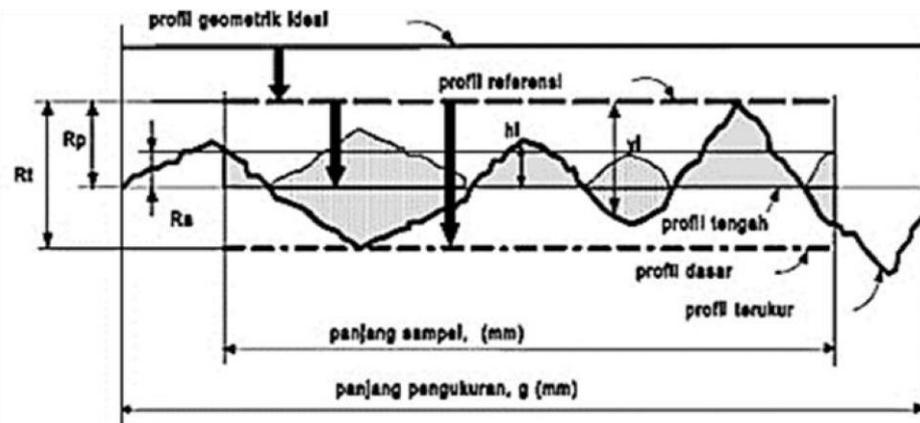


Gambar 2.25 Lambang kekasaran permukaan

Permukaan suatu benda kerja akan memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda, sesuai dengan kualitas suatu proses pemesinan dan parameternya. Nilai kekasaran permukaan memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda, Nilai kualitas kekasaran permukaan telah diklasifikasikan oleh ISO dimana yang paling kecil adalah N1 yang memiliki nilai kekasaran permukaan (Ra) $0,025 \mu\text{m}$ dan yang paling tinggi N12 yang nilai kekasarannya $50 \mu\text{m}$ (Choirul, 2014).

1. Parameter-parameter permukaan

Untuk memproduksi profil suatu permukaan, sensor peraba (*stylus*) alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan ini disebut dengan panjang pengukuran (*traversing length*). Sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti secara elektronik alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Bagian panjang pengukuran yang dibaca oleh sensor alat ukur kekasaran permukaan disebut panjang sampel (Hadimi, 2008).



Gambar 2.26 Profil Permukaan
(Sumber: Hadimi, 2008)

Berdasarkan gambar diatas dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan melintang. Untuk arah tegak dikenal beberapa parameter antara lain:

- Kekasaran total R_t (μm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- Kekasaran peralatan R_p (μm) adalah jarak rata-rata profil referensi dengan profil tertukur.
- Kekasaran rata-rata aritmatik R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.
- Kekasaran rata-rata kuadratik R_g (μm) adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

- e. Kekasaran total rata-rata R_z (μm), merupakan jarak antara profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah

Pada Gambar juga ditunjukkan bentuk profil sesungguhnya dengan beberapa keterangan lain, seperti :

- Profil Geometris Ideal (Geometrically Ideal Profile) adalah garis permukaan sempurna berupa garis lurus, lingkaran, dan garis lengkung.
- Profil Referensi / Puncak (Reference Profile) adalah garis puncak tertinggi dari profil terukur pada panjang sampel yang diambil dalam pengukuran. Profil ini digunakan sebagai dasar dalam menganalisis karakteristik ketidakteraturan bentuk dari suatu permukaan.
- Profil Terukur (Measured Profile) adalah garis permukaan yang terukur. Profil inilah yang dijadikan sebagai data untuk menganalisis karakteristik kekasaran permukaan produk pemesinan.
- Profile Dasar/ Alas (Root Profile) adalah profil referensi yang digeserkan kebawah hingga tepat pada titik terendah pada profil terukur.
- Profile Tengah (Centre Profile) adalah profil yang berada ditengah tengah antara puncak tertinggi dan lembah terdalam.

2. Toleransi Harga Ra

Seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros), harga kekasaran rata-rata aritmetis R_a juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari N1 sampai N 12. Besarnya toleransi untuk R_a biasanya diambil antara 50% ke atas dan 25% ke bawah.

Tabel 2.10 Toleransi harga kekasaran rata-rata R_a

Kelas kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga R_a (μm)	Toleransi	Panjang sampel (mm)
N1	1	0,025	0,02 – 0,04	0.08
N2	2	0,05	0,04 – 0,08	0.25

N3	4	0,1	0,08 – 0,15	0.8
N4	8	0,2	0,15 – 0,3	
N5	16	0,4	0,3 – 0,6	
N6	32	0,8	0,6 – 1,2	
N7	63	1,6	1,2 – 2,4	2.5
N8	125	3,2	2,4 – 4,8	
N9	250	6,3	4,8 – 9,6	
N10	500	12,5	9,6 – 18,75	8
N11	1000	25,0	18,75 – 37,5	
N12	2000	50,0	37,5 – 75,0	

Toleransi harga kekasaran rata-rata, Ra dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil penyelesaian permukaan dengan menggunakan mesin gerinda sudah tentu lebih halus dari pada dengan menggunakan mesin bubut. Tabel 2.11 berikut ini memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya (Kurniawan, 2018).

Tabel 2.11 Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya.

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga Ra
<i>Flat and cylindrical lapping, Superfinishing Diamond turning</i>	N1 – N4	0,025 – 0,2
	N1 – N6	0,025 – 0,8
<i>Flat cylindrical grinding</i>	N1 – N8	0,025 – 3,2
<i>Finishing</i>	N4 – N8	0,1 – 3,2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming</i>	N5 – N12	0,4 – 50
<i>Drilling</i>	N7 – N10	1,6 – 12,5
<i>Shapping, planing, horizontal milling</i>	N6 – N12	0,8 – 50
<i>Sandcasting and forging</i>	N10 – N11	12,5 – 25
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	N6 – N8	0,8 – 3,2

<i>Die casting</i>	N6 – N7	0,8 – 1,6
--------------------	---------	-----------

(Sumber: Kurniawan, 2018)

3. Alat Ukur Kekasaran Permukaan

Alat ukur kekasaran permukaan yang digunakan adalah 3D laser *measuring microscope*. Alat ini dapat digunakan untuk mengamati ataupun mengukur tingkat kekasaran dari suatu permukaan. Beberapa data yang dapat di tunjukkan oleh alat uji kekasaran permukaan ini adalah nilai kekasaran permukaan dan grafik kekasaran permukaannya.

Kekasaran didefinisikan sebagai ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin. Nilai kekasaran dinyatakan dalam *Roughness Average (Ra)*. Ra merupakan parameter kekasaran yang paling banyak dipakai secara internasional.

Pengukuran kekasaran permukaan diperoleh dari sinyal pergerakan stylus berbentuk diamond untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat indicator pengukur kekasaran permukaan benda uji.

Langkah langkah pengerjaan dengan alat ini adalah :

- 1 Benda uji diletakkan pada bidang yang datar.
- 2 Sejajarkan alat ukur permukaan tersebut dengan bidang material yang akan di uji.
- 3 Ujung dari dial indicator di set pada posisi stabil untuk melakukan pembacaan skala tekanan terhadap permukaan benda uji.
- 4 Tentukan seberapa panjang dari bagian benda ukur yang akan di uji kekasaran permukaannya, nantinya panjang inilah yang akan dilewati oleh dial indicator.
- 5 Apabila dial indicator telah melakukan pengukuran sepanjang jarak yang kita tentukan, nilai kekasaran permukaan akan tercatat, dan dapat dilihat dalam bentuk print out.
- 6 Sebelum dilakukan pengukuran, benda uji dan alat ukur telah diatur sehingga sedapat mungkin tidak terdapat kesalahan dalam pengukuran (Kurniawan, 2018).