

TENTANG PENULIS

Buku ini ditulis oleh Prof. Dr. Hendra Suherman (Dosen Program Studi Teknik Mesin, Universitas Bung Hatta Padang), Irmayani, MT (Dosen Program Studi Teknik Industri Universitas Ekasakti Padang), dan Talitha Amalia Suherman (Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin - Universitas Andalas Padang).

Talitha Amalia Suherman sebelumnya pernah menulis sebuah buku antologi, bersama para penulis muda lainnya, dengan tema "Secawan Kisah Sang Darah Muda", dan menjadi Juara 1 dalam Lomba Karya Tulis Ilmiah SMAPSIC Tingkat SMA se-Sumatera, pada tahun 2020.

Irmayani, MT menyelesaikan Pendidikan S1 di Universitas Andalas Padang tahun 1994 dan S2 di Institut Teknologi Bandung tahun 1998. Menjadi dosen di Universitas Ekasakti Padang sejak tahun 1998, telah menulis berbagai buku dan artikel di bidang Teknik Industri.

Prof. Dr. Hendra Suherman adalah staf pengajar Universitas Bung Hatta semenjak tahun 1996, meraih gelar Sarjana dari Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta Padang, melanjutkan pendidikan S2 di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik - Universitas Indonesia, dan pendidikan S3 di Universiti Kebangsaan Malaysia, juga dalam bidang ilmu Teknik Mesin dengan kekhususan komposit polimer konduktif, yang berpotensi digunakan sebagai material pelat bipolar (bipolar plate). Pelat bipolar merupakan komponen utama dari Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC), yang merupakan sumber energi alternatif masa depan yang ramah lingkungan.

Prof. Dr. Hendra Suherman telah banyak melakukan penelitian terutama yang berkaitan dengan bidang komposit polimer konduktif ini, baik melalui dana riset dari KEMENRISTEK DIKTI maupun dana riset hasil kerjasama luar negeri. Selain itu juga telah mengikuti berbagai konferensi internasional yang berhubungan dengan bidang komposit polimer konduktif, baik sebagai keynote speaker, invited speaker ataupun presenter. Artikel penulis telah dipublikasikan pada berbagai Jurnal Internasional bereputasi seperti Composite Part B: Engineering (SJR=1,4), Ceramics International (SJR=0,8), Journal of Nanomaterials (SJR=0,4), Materials Research Express (SJR:0,4), dan Polymers (SJR:0,7). Sebanyak 39 artikel yang berhubungan dengan komposit polimer konduktif telah dipublikasikan pada Jurnal yang di indeks oleh Scopus dan Schimago JR. Sampai saat ini artikel penulis telah dirujuk sebanyak 396 kali oleh penulis luar dan dalam negeri dengan H indeks di Scopus 10, dan Skor SINTA 1245

ISBN 978-623-5797-29-8



PROSES PRODUKSI

Prof. Dr. Hendra Suherman, MT

Ir. Irmayani, MT

Talitha Amalia Suherman

PROSES PRODUKSI



LPPM Universitas Bung Hatta

Sanksi pelanggaran pasal 44: Undang-undang No. 7 Tahun 1987 tentang Perubahan atas Undang-undang No. 6 Tahun 1982 tentang hak cipta.

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 100.000.000,- (seratus juta rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat 1 (satu), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,- (lima puluh juta rupiah)

PROSES PRODUKSI

**HENDRA SUHERMAN
IRMAYANI
TALITHA AMALIA SUHERMAN**

Penerbit

LPPM Universitas Bung Hatta 2023

Judul : Proses Produksi

Penulis : Hendra Suherman, Irmayani, Talitha Amalia Suherman

Sampul : Carissa Faiha Suherman

Perwajahan: LPPM Universitas Bung Hatta

Diterbitkan oleh LPPM Universitas Bung Hatta Maret 2023

Alamat Penerbit:

Badan Penerbit Universitas Bung Hatta

LPPM Universitas Bung Hatta Gedung Rektorat Lt.III

(LPPM) Universitas Bung Hatta

Jl. Sumatra Ulak Karang Padang, Sumbar, Indonesia

Telp.(0751) 7051678 Ext.323, Fax. (0751) 7055475

e-mail: lppm_bunghatta@yahoo.co.id

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruhnya

isi buku ini tanpa izin tertulis penerbit

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Cetakan Pertama : Maret 2023

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

**Hendra Suherman,
Irmayani,
Talitha Amalia Suherman,**

Proses Produksi Oleh : **Hendra Suherman, Irmayani, Talitha
Amalia Suherman**, LPPM Universitas Bung Hatta, Maret
2023

98 Hlm + X; 18,2 cm x 25,7 cm

ISBN 978-623-5797-29-8

SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITAS BUNG HATTA

Sesuai Renstra Universitas Bung Hatta periode 2022 – 2027; untuk menjadi Excellent Teaching University – yaitu perguruan tinggi yang mengutamakan pendidikan dengan pemanfaatan teknologi informasi serta sumber-sumber digital secara maksimal untuk mendukung proses belajar mengajar - segenap sivitas akademika Universitas Bung Hatta didorong untuk mengembangkan potensi yang dimilikinya, yaitu kemampuan akademis, kemampuan pengajaran, termasuk penyempurnaan kualitas bahan ajar yang akan disampaikan kepada mahasiswa. Perkembangan teknologi yang sangat cepat perlu diantisipasi dengan penyesuaian buku ajar agar mahasiswa tetap memperoleh ilmu pengetahuan terbaru sehingga menjadi seorang lulusan yang siap kerja pada era VUCA ini (*volatility, uncertainty, complexity, ambiguity*).

Universitas Bung Hatta memiliki komitmen tinggi dalam mewujudkan peningkatan pendidikan Nasional, sesuai dengan cita-cita proklamator Republik Indonesia, Dr. Mohammad Hatta. Berbagai kemajuan telah banyak dicapai oleh Universitas Bung Hatta di usia ke 42 ini, namun demikian tantangan besar di depan masih banyak yang harus diselesaikan, melalui pilar-pilar pembenahan sistem di lingkungan internal.

Di kesempatan ini saya ingin menyampaikan penghargaan kepada saudara Prof. Dr. Hendra Suherman, saudari Irmayani, dan Talitha Amalia Suherman yang telah menulis buku ajar “Proses Produksi” sebagai bahan referensi perkuliahan maupun penelitian bagi mahasiswa. Semoga buku ini dapat menjadi acuan bagi mahasiswa dalam perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang ilmu “Proses Produksi”.

Padang, Maret 2023

Rektor

Prof. Dr. Tafdil Husni, S.E., MBA.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada rahmat Allah Yang Maha Esa, buku ajar dengan judul “Proses Produksi” ini telah diselesaikan. Proses produksi merupakan suatu proses untuk mengubah bahan baku menjadi produk melalui bermacam-macam proses, sesuai dengan desain yang telah dibuat berdasarkan bentuk, dimensi, sifat mekanik, maupun kimiawi produk. Didalam buku ini diulas berbagai seluk-beluk proses produksi, mulai dari jenis-jenis material, bermacam proses produksi, bahan dan peralatan, hingga proses produksi yang digunakan dalam menghasilkan sebuah produk

Buku ini diharapkan menjadi salah satu buku pegangan untuk Mata Kuliah “Proses Produksi pada program studi “Teknik Mesin” tingkatan sarjana, dan yang tertarik dengan bidang Proses Produksi dan pengembangannya.

Akhir kata penulis berharap buku ini dapat bermanfaat. Terimakasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung hingga selesainya buku ini, terutama untuk kerja keras tim penulis Ir. Irmayani, M.T dan Talitha Amalia Suherman. Terimakasih juga untuk Ananda tercinta Carissa Faiha Suherman atas kerja kerasnya sebagai ilustrator. Kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sangat diharapkan demi kesempurnaan buku ini.

Padang, Maret 2023

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| SAMBUTAN REKTOR..... | v |
| PRAKATA..... | vii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| BAB I. PENGANTAR PRODUKSI | |
| 1.1. Definisi Produksi | 1 |
| 1.2. Material Produksi | 2 |
| 1.3. Proses Produksi | 3 |
| 1.4. Sistem Produksi | 4 |
| BAB II. DASAR PENGECORAN LOGAM | |
| 2.1. Cetakan | 9 |
| 2.2. Material Pengecoran | 10 |
| 2.3. Pola | 12 |
| 2.4. Gambar Pengecoran | 13 |
| 2.5. Menetapkan Kup, Drag Dan Permukaan Pisah | 13 |
| 2.6. Penentuan Tambahan Penyusutan | 14 |
| 2.7. Rencana Pengecoran | 14 |
| 2.8. Pembuatan Cetakan | 15 |
| 2.9. Kualitas Produk Coran | 16 |
| BAB III. PENGECORAN KHUSUS | |
| 3.1. Pengecoran Tekanan Rendah | 19 |
| 3.2. Cara Pola Lilin | 21 |
| 3.3. Pengecoran Cetak | 24 |
| 3.4. Pengecoran Sentrifugal | 29 |
| 3.5. Pengecoran Cairan Logam Kental | 31 |
| BAB IV. PROSES PEMBENTUKAN LOGAM | |
| 4.1. Klasifikasi Berdasarkan Benda Kerja | 33 |
| 4.2. Klasifikasi Berdasarkan Temperatur | 38 |

BAB V. PENGELASAN

| | |
|--|----|
| 5.1. Arc Welding | 43 |
| 5.2. Resistance Welding | 46 |
| 5.3. Fusion Welding | 47 |
| 5.4. Metalurgi Pengelasan | 47 |
| 5.5. Inspeksi Dan Pengujian Pengelasan | 47 |
| 5.6. Kualitas Hasil Lasan | 49 |

BAB VI. INJECTION MOLDING

| | |
|---------------------------------------|----|
| 6.1. Material Injection Molding | 51 |
| 6.2. Siklus Molding | 51 |
| 6.3. System Injection Molding | 53 |
| 6.4. Cetakan Injeksi | 54 |

BAB VII. PROSES PEMESINAN

| | |
|---|----|
| 7.1. Elemen Dasar Proses Pemesinan | 57 |
| 7.2. Proses Bubut | 58 |
| 7.3. Proses Freis | 62 |
| 7.4. Proses Gurdi (Drilling) | 68 |
| 7.5. Proses Sekrap (Shaping/Planning) | 70 |

BAB VIII. KOMPOSIT

| | |
|--------------------------------------|----|
| 8.1. Penguat | 73 |
| 8.2. Struktur Komposit Laminar | 75 |
| 8.3. Matriks | 76 |
| 8.4. Proses Produksi Komposit | 77 |
| 8.5. Kombinasi Campuran | 80 |

BAB IX SISTEM PRODUKSI TERDISTRIBUSI MANDIRI

| | |
|---|----|
| 9.1. Perubahan Dinamis Kondisi Produksi | 84 |
| 9.2. Konsep Dasar Sptm | 85 |
| 9.3. Arsitektur Sptm | 86 |
| 9.4. Prosedur Operasi Sptm | 87 |
| 9.5. Metoda Pengembangan Sptm | 91 |

DAFTAR PUSTAKA

GLOSARIUM

INDEKS

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1.1 Proses Produksi dan Peralatan yang Digunakan..... | 5 |
| Tabel 2.1 Tambahan Penyusutan yang Disarankan..... | 14 |
| Tabel 3.1 Sifat-sifat dari paduan khas yang dipergunakan untuk pengecoran cetak (didapat dari batang uji cor cetak | 26 |
| Tabel 3.2 Ciri Khas dan penggunaan berbagai paduan | 26 |
| Tabel 3.3 Kapasitas pengecoran dari sebuah mesin cor cetak. (Mesin cor cetak 250 ton untuk pengecoran paduan aluminium)..... | 29 |
| Tabel 6.1 Material dan sifat mekanik termoplastik..... | 52 |
| Tabel 9.1 Tingkatan fungsi pengambilan keputusan | 91 |
| Tabel 9.2 Lima tahap pengembangan fungsi scheduling | 93 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------------|--|----|
| Gambar 1.1 | Pengertian Produksi Secara Umum..... | 1 |
| Gambar 1.2 | Diagram Venn Memperlihatkan Tiga Tipe Material Dasar dan Komposit | 3 |
| Gambar 2.1 | Diagram Aliran Proses Pengecoran..... | 9 |
| Gambar 2.2 | Contoh-Contoh Produk Unggulan yang Dihasilkan Proses Pengecoran | 12 |
| Gambar 2.3 | Istilah-Istilah Sistem Pengisian pada Proses Pengecoran | 15 |
| Gambar 2.4 | Proses Pembuatan Cetakan Pasir pada Proses Pengecoran | 16 |
| Gambar 3.1 | Skema peralatan pengecoran tekanan rendah | 21 |
| Gambar 3.2 | Pengecoran pola lilin | 22 |
| Gambar 3.3 | Proses pengecoran cetak..... | 27 |
| Gambar 3.4 | Mesin cor cetak ruang panas..... | 28 |
| Gambar 3.5 | Pengecoran sentrifugal..... | 30 |
| Gambar 3.6 | Pembuatan cairan sluri..... | 32 |
| Gambar 4.1 | Proses Rolling | 34 |
| Gambar 4.2 | Proses Forging | 34 |
| Gambar 4.3 | Proses Extrusion | 35 |
| Gambar 4.4 | Proses Drawing | 35 |
| Gambar 4.5 | Proses Bending | 36 |
| Gambar 4.6 | Proses Drawing | 37 |
| Gambar 4.7 | Proses Shearing | 37 |
| Gambar 5.1 | Konfigurasi dasar dan sirkuit listrik arc welding | 44 |
| Gambar 5.2 | Posisi Pengelasan | 44 |
| Gambar 5.3 | Resisten Welding..... | 46 |
| Gambar 5.4 | Butt-welding two plates ; (b) Shrinkage across the width of the welded assembly, (c) transverse welded longitudinal residual stress pattern; dan (d). likely warpage in the welded assembly..... | 45 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 6.1 | Siklus Injection molding | 53 |
| Gambar 6.2 | Sistem Injection Molding | 53 |
| Gambar 6.3 | Cetakan Dua Pelat..... | 55 |
| Gambar 6.4 | Cetakan Tiga Pelat | 55 |
| Gambar 7.1 | Mesin Bubut..... | 59 |
| Gambar 7.2 | Proses Bubut | 60 |
| Gambar 7.3 | Proses Pada Mesin Bubut | 61 |
| Gambar 7.4 | Jenis pahat pada mesin freis | 63 |
| Gambar 7.5 | Jenis Pahat Down Milling..... | 64 |
| Gambar 7.6 | Jenis Pahat up Milling..... | 64 |
| Gambar 7.7 | Proses freis datar dan freis tegak | 64 |
| Gambar 7.8 | Proses yang dapat dilakukan pada mesin freis..... | 66 |
| Gambar 7.9 | Mesin Freis | 67 |
| Gambar 7.10 | Mesin Gurdi | 69 |
| Gambar 7.11 | Proses Gurdi..... | 69 |
| Gambar 7.12 | Jenis Mesin Sekrap | 72 |
| Gambar 8.1 | Bentuk fisik dari penguat material komposit terdiri dari : (a) fiber, (b) particle dan (c) flake | 74 |
| Gambar 8.2 | Hubungan antara tensile strength dan fiber diameter | 74 |
| Gambar 8.3 | Orientasi serat pada material komposit..... | 74 |
| Gambar 8.4 | Struktur Komposit laminar..... | 75 |
| Gambar 8.5 | Tipe cetakan terbuka : (a) positif, (b) Negatif | 77 |
| Gambar 8.6 | Open mold, hand lay-up fabrication | 78 |
| Gambar 8.7 | Spray-up fabrication..... | 79 |
| Gambar 8.8 | Vacuum bag dan pressure bag molding | 80 |
| Gambar 9.1 | Arsitektur pengambilan keputusan pada SPTM..... | 87 |
| Gambar 9.2 | Pemodelan sistem produksi..... | 88 |
| Gambar 9.3 | Struktur pengambilan keputusan | 89 |
| Gambar 9.4 | Prosedur pengambilan keputusan | 90 |

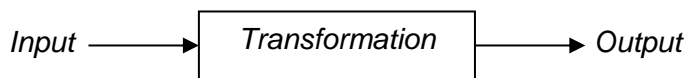
BAB I

PENGANTAR PRODUKSI

1.1. DEFINISI PRODUKSI

Secara umum, produksi mempunyai arti bermacam-macam, misalnya produksi benda-benda industri, produksi perangkat lunak (*software*), produksi energi. Pada buku ini, pembahasan produksi dibatasi pada produksi produk industri (*industrial product*). Contoh produk industri misalnya, mobil, arloji, pesawat terbang, kapal laut, mesin perkakas dan robot. Produk industri dibuat secara dinamis baik dalam jenis maupun jumlahnya, untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia.

Berdasarkan batasan di atas, produksi dapat didefinisikan sebagai kegiatan untuk meningkatkan nilai suatu benda menjadi lebih (*added value*) dengan masukan berupa faktor-faktor produksi, sehingga *outputnya* menjadi sebuah produk. Produksi sebagai suatu sistem dapat dilihat pada Gambar 1.1.



- | | |
|-------------------------------------|-------------------|
| * <i>Material production proses</i> | * <i>Products</i> |
| * <i>Labor</i> | * <i>Services</i> |
| * <i>Production equipment</i> | |
| * <i>Production Information</i> | |

Gambar 1.1. Pengertian Produksi secara umum

Komponen produksi akan sangat terkait dengan harga produk yang dihasilkan. Harga produk yang dibeli konsumen ditentukan oleh 4 aspek yang terdiri dari:

- Fungsi dan kualitas produk
- Ongkos produksi + ongkos puma produksi
- Jumlah pesanan dan waktu penyerahan yang diminta
- Keuntungan yang diinginkan perusahaan

Ditinjau dari harga, maka dapat dikemukakan variabel yang disebut nilai tambah (*added value*), yang dapat digunakan untuk mengukur kenaikan nilai suatu produk dibandingkan dengan ongkos produksinya, yaitu:

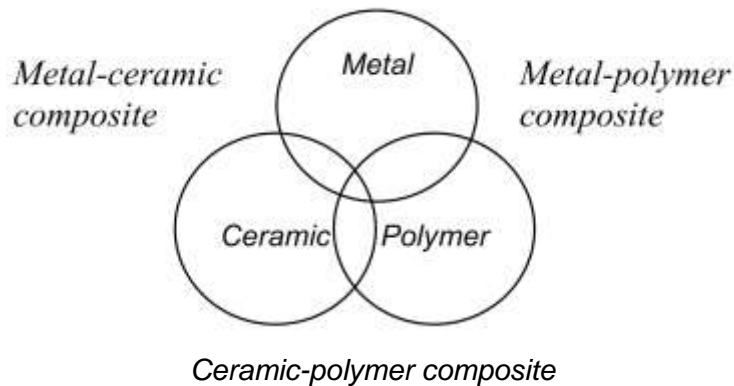
NILAI TAMBAH = HARGA JUAL – ONGKOS PRODUKSI

Nilai tambah terdiri dari keuntungan perusahaan, dan sebagian lainnya keuntungan yang dinikmati masyarakat untuk menunjang kesejahteraan sosial. Inilah tugas utama dari pengelolaan produksi, yaitu menaikkan nilai tambah setinggi mungkin dengan cara membuat produk sesuai dengan fungsi, dengan waktu produksi secepat mungkin, dan ongkos produksi semurah mungkin.

Agar dapat memproduksi produk secara ekonomis dan efisien, perlu pengoptimalan dalam pengendalian seluruh variabel produksi yang terintegrasi. Variabel produksi tersebut meliputi peralatan produksi, manusia (operator), material (benda kerja), perkakas potong (*tools*), perkakas bantu (*jig & fixture*). Sedangkan informasi yang mempengaruhi pengendalian seluruh variabel produksi adalah perencanaan proses, desain produk, pembuatan produk, kontrol operasi, manajemen proses, dan operasi atau pengerjaan. Dengan demikian perlu untuk melihat elemen produksi ataupun informasi produksi sebagai suatu kesatuan, agar pengoptimalan sistem secara keseluruhan dapat dilakukan.

1.2. MATERIAL PRODUKSI

Material produksi (*engineering*) dapat diklarifikasikan menjadi tiga kategori dasar (1) metals, (2) Polimer, (3), Keramik. Secara kimia ketiga kategori material dasar ini berbeda begitu juga mekanik dan fisik. Kondisi ini mempengaruhi proses produksi yang akan digunakan untuk menghasilkan produk. Tambahan dari ketiga dasar kategori tersebut adalah (4) komposit, campuran non homogen dari ketiga kategori di atas. Hubungan dari keempat material tersebut diperlihatkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Diagram Venn memperlihatkan tiga tipe material dasar dan komposit

1.3. PROSES PRODUKSI

Proses produksi dapat dibagi menjadi dua tipe dasar: (1) *Processing Operation* (Operasional Proses) dan (2) Operasional Perakitan (*assembling*). *Processing Operation* merubah benda kerja dari suatu kondisi ke kondisi yang lebih lengkap dan diakhiri dengan produk yang diinginkan. Terjadi penambahan nilai dengan perubahan geometri, sifat atau bentuk dari material awal. Secara umum dilakukan pada produk *diskret*, sedangkan operasional perakitan merupakan aktivitas penggabungan dua buah atau lebih komponen menjadi sebuah produk.

1.3.1. Operasional pemrosesan

Operasional pemrosesan menggunakan energi untuk merubah bentuk benda kerja, sifat fisik, atau penampilan untuk memberi nilai tambah dari bahan baku. Bentuk energi ini mencakup mekanik, panas, listrik, dan bahan kimia. Energi manusia juga dibutuhkan, akan tetapi pekerja biasanya bekerja untuk pengendalian mesin, mengontrol operasional, dan mengatur bahan baku sebelum dan setelah proses operasional dilakukan.

Adapun kategori dari operasional pemrosesan adalah:

- (a) Operasional pembentukan (*shaping operations*); merubah ukuran benda kerja awal dengan berbagai macam proses pembentukan, seperti *casting*, *forging* dan *machining*.

- (b) Operasional perubahan sifat material (*Property – enhancing Operations*); menambah nilai material dengan cara merubah sifat fisik tanpa merubah bentuknya, misalnya: *heat treatment*.
- (c) Operasional Proses Permukaan (*Surface Processing Operations*); membersihkan, melapis (*coating*), atau menambah suatu material di atas permukaan benda kerja, misalnya; pelapisan dengan *electroplating* atau cat (*painting*) dilakukan untuk melindungi permukaan atau memperbaiki penampilan.

1.3.2. Operasional Perakitan

Perakitan merupakan penggabungan dua atau lebih komponen untuk membentuk suatu entiti baru (misalnya: perakitan pengelasan disebut *weldment*). Komponen entiti baru ini dapat disambung secara permanen maupun semi permanen. Proses penyambungan permanen terdiri dari proses *welding*, *brazing*, *soldering*, dan *adhesive bonding*.

Metoda perakitan secara mekanik dapat dilakukan untuk menyatukan dua atau lebih komponen yang dapat dipisahkan dengan mudah (semi permanen), dengan pemakaian *screw*, *bolts* (baut), *nuts* sebagai alat penguat.

1.3.3. Mesin Produksi dan Peralatan

Operasional produksi menggunakan mesin dan peralatan. Pemakaian mesin secara meluas dalam produksi dimulai dengan revolusi industri, terutama untuk pemakaian mesin pemotong logam, yang disebut juga peralatan mesin dan dikendalikan dengan tenaga (*power driven machines*). Peralatan mesin modern lebih banyak menggunakan tenaga listrik, dengan tingkat kepresisian dan otomasi yang lebih tinggi.

Mesin produksi lain terdiri dari mesin tekan untuk operasi *stamping*, *forge hammer* untuk *forging*, *rolling mills* untuk menggulung lembaran logam, mesin las untuk proses pengelasan.

Peralatan produksi dapat bermanfaat serba guna ataupun khusus. Peralatan serba guna lebih fleksibel dan adaptif terhadap berbagai jenis pekerjaan, sedangkan peralatan yang memiliki manfaat khusus biasanya

dirancang untuk memproduksi komponen atau produk yang spesifik dan diproduksi dalam jumlah besar seperti terlihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Proses produksi dan peralatan yang digunakan

| <i>Process</i> | <i>Equipment</i> | <i>Special tooling (Function)</i> |
|--------------------|-------------------------|--|
| <i>Casting</i> | <i>Various</i> | <i>Mold (Cavity for molten metal)</i> |
| <i>Molding</i> | <i>Molding machine</i> | <i>Mold (Cavity for hot polymer)</i> |
| <i>Roling</i> | <i>Rolling Mill</i> | <i>Roll (Reduce weak thickness)</i> |
| <i>Forging</i> | <i>Forge Hammer</i> | <i>Die (Squeeze work to shape)</i> |
| <i>Extruaction</i> | <i>Press</i> | <i>Extruaction die (reduce cross section)</i> |
| <i>Stamping</i> | <i>Press</i> | <i>Die (shearing, forming sheet metal)</i> |
| <i>Machining</i> | <i>Machine Tool</i> | <i>Cutting tool (material removal) fixture (hold workpart), jig (hold part and guide tool)</i> |
| <i>Grinding</i> | <i>Grinding Machine</i> | <i>Grinding wheel (material removal)</i> |
| <i>Welding</i> | <i>Welding Machine</i> | <i>Electrode (fusion of work metal), fixture (hold part during welding)</i> |

1.4. SISTEM PRODUKSI

Untuk beroperasi secara efektif, sebuah perusahaan harus memiliki sistem yang berjalan secara efektif sesuai dengan tipe produksinya. Sistem produksi ini mencakup manusia, peralatan, prosedur dan dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu: (1). Fasilitas, merupakan peralatan fisik dan penataannya di dalam pabrik, serta (2). Pendukung manufaktur, merupakan prosedur yang digunakan oleh perusahaan dalam mengelola produksi dan menyelesaikan permasalahan logistik dan teknis yang berhubungan dengan pemesanan material, perpindahan benda kerja dalam pabrik serta dalam pengendalian kualitas.

1.4.1. Fasilitas Produksi

Fasilitas produksi mencakup pabrik, peralatan produksi, peralatan penanganan material, serta tata letak peralatan di dalam pabrik. Dahulu, beberapa bentuk fasilitas produksi diperkenalkan sebagai cara paling tepat untuk mengelola suatu bentuk organisasi, namun sekarang orang cenderung menggunakan tipe kombinasi sesuai dengan variasi dan jumlah produk yang diproduksi. Berdasarkan jumlah produk yang dihasilkan maka produksi dapat dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan jumlah produksinya, yaitu:

1. Low Quantity Production

Untuk kisaran produksi 1 – 100 unit per tahun, biasa digunakan istilah *job shop* untuk tipe fasilitas produksinya, yaitu jumlah unit yang diproduksi rendah tetapi pekerjaan bervariasi dan terspesialisasi serta produk bersifat kompleks, seperti pesawat luar angkasa, prototype pesawat terbang, serta mesin khusus. Peralatan yang digunakan biasanya bersifat *general purpose* dan tenaga kerja berkeahlian tinggi.

Job Shop harus bersifat sangat fleksibel sehubungan dengan variasi produk yang sangat tinggi. Jika produk yang diproduksi besar, berat, serta sulit dipindah-pindah dalam pabrik, maka biasanya digunakan satu tempat saja selama proses produksi berlangsung, sehingga justru pekerja dan peralatan produksinya yang dibawa ke tempat tersebut, bukan produknya yang dipindahkan. Tata letak seperti ini disebut *fixed position layout*, misalnya pada pembuatan kapal, mesin berat, ataupun jalan kereta api.

2. Medium Quantity production

Dalam kisaran medium (100 sampai 10.000 unit pertahun), kita bedakan dua tipe fasilitas, tergantung variasi produk. Jika variasi produk tinggi maka digunakan pendekatan *batch production*, dimana fasilitas produksi dirancang untuk membuat satu *batch*, dan dirubah untuk batch berikutnya. Fasilitas ini biasanya digunakan untuk *make to stock production*.

Sedangkan jika variasi produk rendah biasanya konfigurasi fasilitas dibuat secara berkelompok, sehingga jenis produk yang sama dapat dibuat dalam waktu yang bersamaan tanpa kehilangan waktu set up secara signifikan. Istilah *cellular manufacturing* biasa digunakan untuk produksi seperti ini, sehingga *lay out* pabrik disebut dengan *cellular lay out*.

3. High Quantity production

Kisaran jumlah produksi yang tinggi (10.000 hingga jutaan unit per tahun) disebut *mass production*. Fasilitas produksi ditujukan untuk satu jenis produk. Terdapat dua kategori *mass production* yaitu:

- (1) *Quantity Production*, yaitu *mass production* untuk satu jenis komponen pada satu jenis produk. Metoda produksi biasanya menggunakan mesin standar (misalnya *stamping presses*), yang dilengkapi dengan

peralatan khusus (misalnya *dies* dan peralatan *material handling*). *Lay out* yang digunakan biasanya adalah *process lay out* dan *cellular lay out*.

- (2) *Flow line production*, membutuhkan bermacam peralatan dan *workstations* yang dirancang secara berurutan, dan unit kerja biasanya dipindahkan secara berurutan hingga produk selesai. *Lay out* yang digunakan biasanya adalah *product lay out*, dan stasiun kerja disusun secara memanjang (*one long line*), atau menjadi satu seri yang masing-masing bagiannya terhubung. Benda kerja biasanya dipindahkan dengan menggunakan conveyor mekanik. Pada setiap stasiun, masing-masing bagian benda kerja diselesaikan oleh masing-masing unit produk.

1.4.2. Sistem Pendukung Produksi

Agar fasilitas beroperasi secara efektif dan efisien, sebuah perusahaan harus mengatur, merancang proses dan peralatan, merencanakan dan mengendalikan urutan produksi, dan memenuhi persyaratan kualitas produk yang dihasilkan. Fungsi-fungsi ini dapat dilaksanakan dengan *Manufacturing Support System*. *Manufacturing support system* biasanya digunakan dalam beberapa *departemen* sebagai berikut:

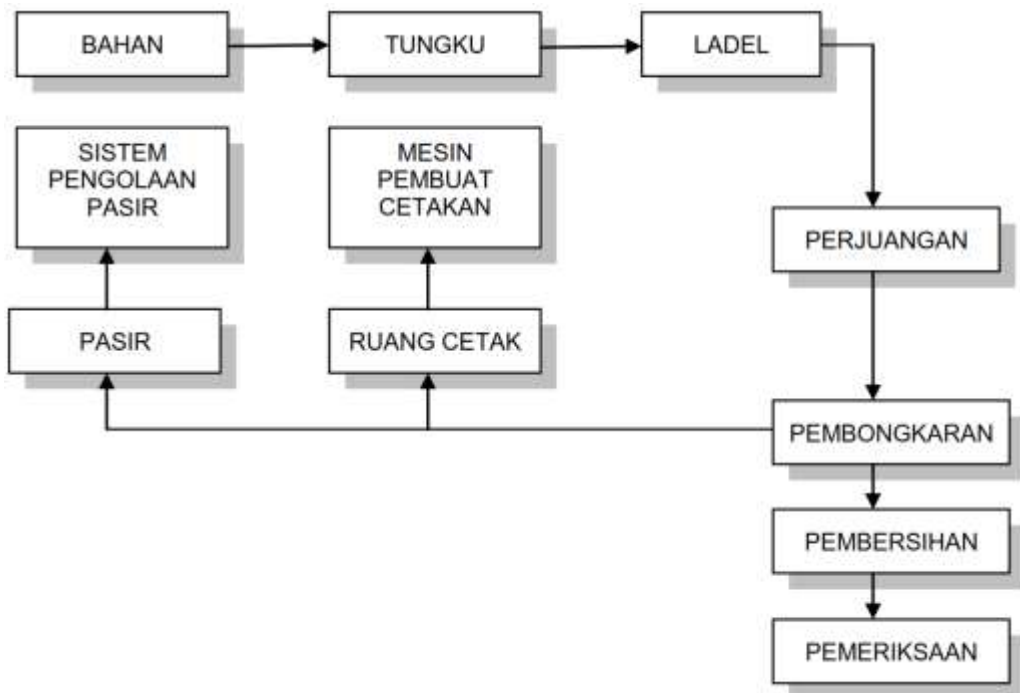
- (1) *Manufacturing Engineeringi Department*, bertanggung jawab dalam perencanaan proses manufaktur, yaitu menentukan proses apa yang harus digunakan dalam membuat atau merakit sebuah produk. Departemen ini juga terlibat dalam proses merancang dan menetapkan peralatan mesin serta peralatan lain yang digunakan dalam penyelesaian sebuah produk.
- (2) *Production Planning and Control*, Departmen ini bertanggung jawab untuk memecahkan permasalahan logistik dalam proses manufaktur; order material dan pembelian peralatan, menjadwal produksi, dan memastikan bahwa Departemen Operasi memiliki kapasitas yang cukup untuk memenuhi jadwal produksi.
- (3) *Quality Control*: Memproduksi produk berkualitas tinggi harus menjadi prioritas bagi setiap perusahaan dalam menghadapi persaingan yang

semakin tinggi. Hal ini berarti dalam merancang dan membuat produk harus sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan untuk memenuhi dan melebihi harapan konsumen.

BAB. II

DASAR PENGECORAN LOGAM

Coran (*casting*) dibuat dari logam yang dicairkan, dituang ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan mendingin dan membeku. Oleh karena itu sejarah pengecoran dimulai ketika orang mengetahui bagaimana mencairkan logam dan bagaimana membuat cetakan. Proses pengecoran logam terdiri dari persiapan bahan baku sampai pada pemeriksaan coran diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram Aliran Proses Pengecoran

2.1 CETAKAN

Cetakan pada proses pengecoran berfungsi sebagai pembentuk *raw material* yang dituangkan pada temperatur penuangan yang dibuat dari pasir yang dipadatkan. Pasir yang dipakai biasanya pasir alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Cetakan pasir mudah dibuat dan tidak mahal asal memakai pasir yang cocok. Permukaan cetakan biasanya diberi

bahan pengikat khusus, seperti air kaca, semen, resin furan, resin fenol atau minyak pengering, yang bertujuan memperkuat cetakan atau mempermudah pembuatan cetakan.

2.1.1. Jenis Cetakan

Jenis cetakan yang digunakan untuk membuat sebuah produk sangat menentukan kualitas, kuantitas, dan harga produk yang dihasilkan. Oleh karena itu pemilihan jenis cetakan yang tepat merupakan salah satu variabel penentu apakah produk yang dihasilkan mampu bersaing dari segi harga, kuantitas, ataupun kualitas produk yang dihasilkan di pasaran. Secara umum cetakan pada proses pengecoran dibagi menjadi dua bagian:

(1) Cetakan Permanen

Cetakan permanen merupakan cetakan yang digunakan untuk menghasilkan produk dengan ketelitian yang tinggi, biasanya terbuat dari material logam. Berdasarkan namanya maka cetakan ini dapat digunakan berulang kali tanpa mengurangi kualitas produk yang dihasilkan. Karena terbuat dari logam maka harga cetakan ini cukup mahal sehingga cetakan ini biasanya digunakan untuk produk massal.

(2) *Expendable mold*

Jika pada cetakan permanen cetakannya dapat digunakan berulang kali tanpa terjadi penurunan kualitas, maka pada *expandable mold* cetakan hanya bisa digunakan satu kali, artinya setelah proses penuangan dan solidifikasi selesai, cetakan dihancurkan untuk mengeluarkan produk.

2.2. MATERIAL PENGECORAN

Material yang digunakan pada proses pengecoran sangat tergantung kepada sifat-sifat yang diinginkan dari produk yang dihasilkan. Beberapa material yang sering digunakan pada proses pengecoran terdiri dari:

(1) Besi cor

Besi cor adalah paduan besi yang mengandung karbon, silisium, mangan, fosfor dan belerang. Besi cor dapat dikategorikan menjadi: (1)

besi cor kelabu, (2) besi cor kelas tinggi, (3) besi kelabu paduan, (4) besi cor grafit bulat, dan (5) besi cor yang dapat ditempa.

(2) Baja cor

Baja cor dapat digolongkan kedalam baja karbon dan baja paduan. Coran baja karbon adalah paduan besi carbon terdiri dari: (1) baja karbon rendah ($C < 0,20$), (2) baja karbon menengah ($0,20 - 0,50\% C$), dan (3) baja karbon tinggi ($C > 0,5 \%$).

Baja paduan adalah baja cor yang ditambahkan unsur-unsur paduan. Umumnya unsur paduan terdiri dari: mangan, khrom, molibdenum atau nikel ditambahkan untuk memberikan sifat-sifat khusus dari baja paduan.

(3) Coran paduan tembaga

Coran paduan tembaga terdiri dari: perunggu, kuningan, keningan kekuatan tinggi, perunggu dan alumunium. Perunggu adalah paduan antara tembaga dan timah. Perunggu yang biasanya digunakan mengandung kurang dari 15 %. Kuningan adalah paduan antara tembaga dan seng. Kuningan kekuatan tinggi adalah kuningan yang mengandung tembaga, alumunium, besi, mangan, dan nikel. Perunggu aluminium adalah paduan tembaga, dan aluminium, yang berfungsi untuk meningkatkan sifat ketahanan aus dan korosi.

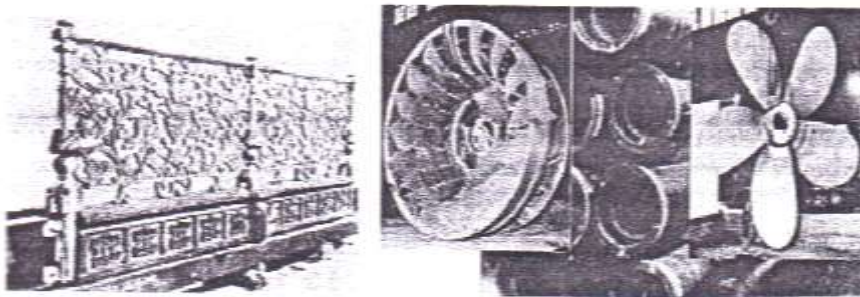
(4) Coran paduan ringan

Coran paduan ringan adalah coran paduan aluminium, coran paduan dan magnesium. Aluminium murni mempunyai sifat mampu cor dan sifat mekanis yang kurang baik. Untuk meningkatkan sifat mekanis coran paduan ringan digunakan paduan aluminium dengan menambahkan tembaga, silisium, magnesium, mangan dan nikel.

(5) Coran paduan lainnya

Paduan seng yang mengandung sedikit aluminium digunakan untuk pengecoran cetak. Logam monel adalah paduan nikel yang mengandung tembaga. Paduan timbal adalah paduan antara timbal, tembaga dan timah, dan logam bantalan adalah paduan dari timbal dan tembaga. Produk unggulan yang dihasilkan pada proses pengecoran,

seperti pagar, velg mobil, *blade* dan pipa diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Contoh-contoh produk unggulan yang dihasilkan proses pengecoran

2.3. POLA

Pola adalah replikasi dari produk yang akan dihasilkan pada proses pengecoran. Perbedaan pola dengan produk yang sebenarnya adalah dari sisi dimensi dan material pola, dimana dimensi pola ukurannya lebih besar dari ukuran produk. Kondisi ini disebabkan ukuran pola harus mempertimbangkan nilai penyusutan dari material yang digunakan. Ukuran pola sama dengan ukuran produk ditambah dengan nilai penyusutan dari material yang akan digunakan untuk menghasilkan produk.

2.3.1. Material untuk pola

Material yang digunakan untuk pola umumnya adalah kayu, resin, atau logam. Dalam kondisi khusus dipakai “plaster” atau lilin.

(1) Kayu

Kayu yang umum digunakan untuk pembuatan pola adalah kayu saru, jati, aras, pinus dan mahoni. Pemilihan kayu tergantung pada bentuk dan ukuran, jumlah produksi, dan lamanya dipakai. Kayu dengan kadar air lebih dari 14% tidak dapat dipakai karena akan terjadi pelentingan yang disebabkan perubahan kadar air kayu.

(2) Resin Sintetis

Epoksi adalah jenis resin sintetis yang baik digunakan karena mempunyai nilai penyusutan yang kecil pada waktu mengeras (*solidifikasi*), daya tahan

aus tinggi. Dengan menambah pengencer maka akan memberikan pengaruh yang baik.

(3) Material untuk pola logam

Material yang digunakan untuk pola logam adalah besi cor. Umumnya digunakan besi cor kelabu karena sangat tahan aus, tahan panas, dan tidak mahal. Paduan tembaga juga sering dipakai untuk pola cetakan kulit agar dapat memanaskan cetakan yang tebal secara merata. Aluminium adalah material yang ringan dan mudah diolah, sehingga sering dipakai untuk pelat pola atau pola untuk mesin pembuat cetakan.

2.4. GAMBAR PENGEORAN

Hal pertama yang harus dilakukan pada pembuatan pola adalah mengubah gambar perencanaan (*design*) menjadi gambar untuk pengecoran. Dalam hal ini dipertimbangkan bagaimana membuat coran yang baik, bagaimana menurunkan biaya pembuatan cetakan, bagaimana membuat pola yang mudah, bagaimana menstabilkan inti-inti, dan bagaimana cara mempermudah pembongkaran cetakan, kemudian menetapkan arah kup dan drag, posisi permukaan pisah, bagian yang dibuat cetakan utama dan bagian yang dibuat oleh inti.

2.5. MENETAPKAN KUP, DRAG, DAN PERMUKAAN PISAH

Penentuan kup, drag dan permukaan pisah adalah hal yang paling penting untuk mendapatkan hasil coran yang baik. Pekerjaan ini membutuhkan pengalaman yang luas dan pada umumnya harus memenuhi ketentuan-ketentuan seperti dibawah ini:

- (1) Pola harus mudah dikeluarkan dari cetakan.
- (2) Penempatan inti harus mudah.
- (3) Sistem saluran harus dibuat sempurna agar aliran logam cair bebas mengalir.
- (4) Terlalu banyak permukaan pisah akan menghabiskan waktu yang banyak dalam proses pengecoran

2.6. PENENTUAN TAMBAHAN PENYUSUTAN

Coran menyusut pada waktu terjadinya proses *solidifikasi*, maka pembuat pola perlu mempergunakan “mistar susut” yang telah diperpanjang sebelumnya sebanyak tambahan nilai penyusutan pada ukuran pola. Tambahan penyusutan untuk beberapa material yang umumnya digunakan sebagai material cor diperlihatkan pada Tabel 2.1.

2.7. RENCANA PENGECORAN

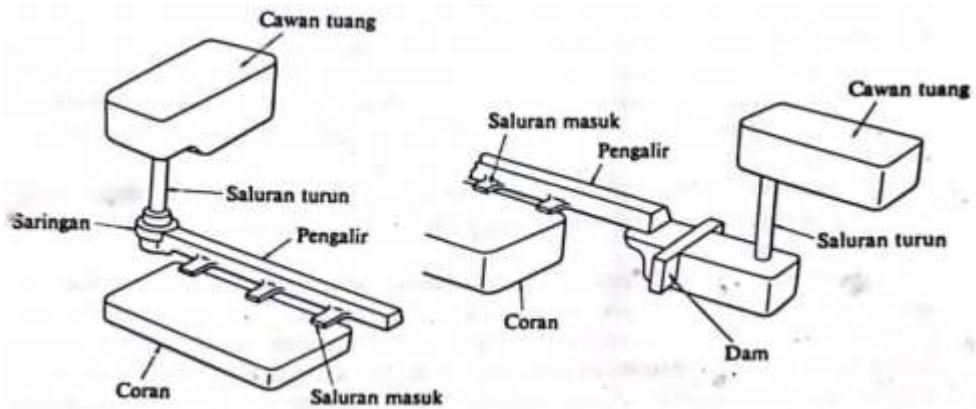
Pada pembuatan cetakan, saluran turun yang berfungsi mengalirkan logam cair kedalam rongga cetakan harus mendapatkan perhatian khusus. Dimensi dan bentuknya ditentukan oleh ukuran tebalnya irisan dan jenis logam yang dicairkan. Kualitas coran tergantung pada saluran turun, penambah, kondisi penuangan dan parameter lainnya

Tabel 2.1. Tambahan Penyusutan yang Disarankan

| No. | Material Benda Kerja (Workpart) | Penyusutan (<i>Shrinkage</i>) |
|-----|--|---------------------------------|
| 1 | Besi cor, baja cor tipis | 8/1.000 |
| 2 | Besi cor, baja cor tipis yg banyak menyusut | 9/1.000 |
| 3 | Paduan alumunium, Brons, baja cor (tebal 5-7 mm) | 9/1.000 |
| 4 | Kuningan kekuatan tinggi, baja cor | 14/1.000 |
| 5 | Baja cor (tebal lebih dari 10 mm) | 16/1.000 |
| 6 | Coran baja yang besar | 20/1.000 |
| 7 | Coran baja besar dan tebal | 25/1.000 |
| 8 | Alumunium | 10/1.000 |

Sistem Saluran

Sistem saluran adalah jalan masuk bagi cairan logam yang dituangkan ke dalam rongga cetakan. Cawang tuang merupakan penerima cairan logam yang berhubungan langsung dari ladle. Saluran turun adalah saluran yang pertama membawa cairan logam dari cawang tuang kedalam pengalir dan saluran masuk. Pengalir adalah saluran yang membawa logam cair dari saluran turun ke bagian-bagian cetakan. Saluran masuk adalah saluran yang mengisiskan logam cair dari pengalir ke dalam rongga cetakan. Komponen utama dari sistim saluran pada proses pengecoaran diperlihatkan pada Gambar 2.3.



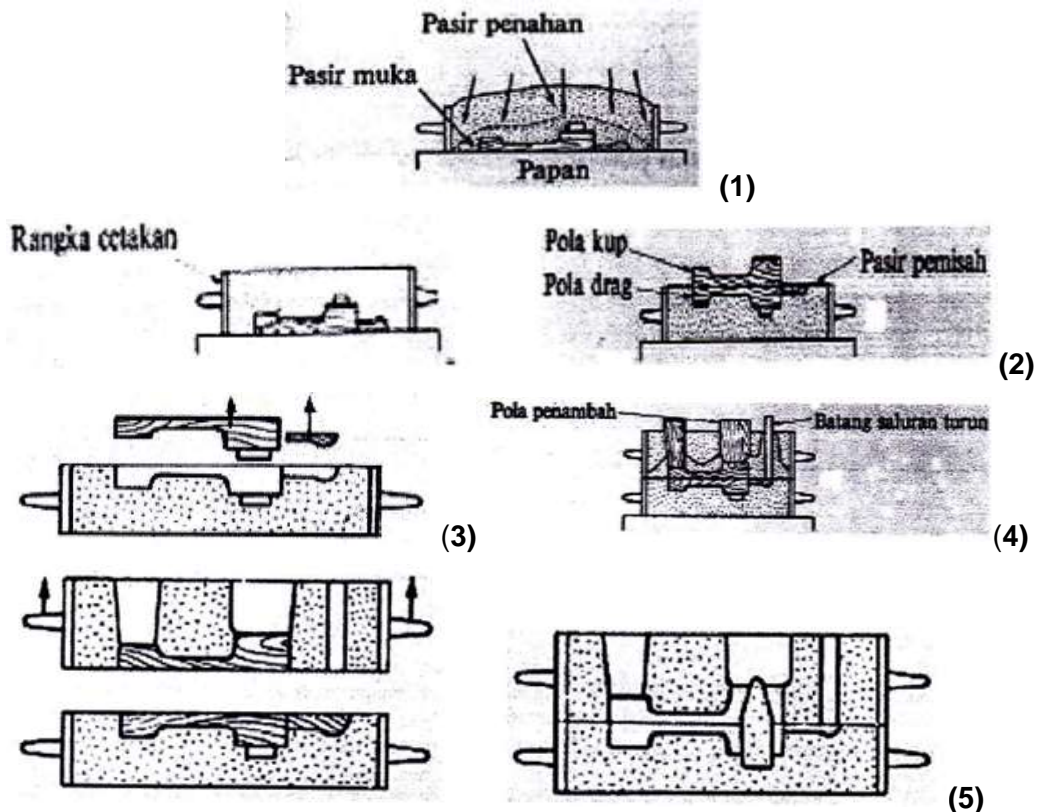
Gambar 2.3 Istilah-istilah sistem pengisian pada proses pengecoran

2.8. PEMBUATAN CETAKAN

Pembuatan cetakan dengan tangan dari pasir basah diperlihatkan pada Gambar 2.4. dengan urutan sebagai berikut:

1. Pola dan rangka cetakan untuk drag diletakan di atas papan cetakan. Usahakan tebalnya pasir 30 sampai 50 mm. Letak saluran turun ditentukan terlebih dahulu.
2. Pasir muka yang telah diayak ditaburkan untuk menutupi permukaan pola dalam rangka cetak. Lapisan pasir muka dibuat setebal 30 mm. Lihat Gambar 2.4.1.
3. Pasir cetak ditimbun di atasnya dan dipadatkan dengan penekanan. Setelah pasir memadat, cetakan diangkat bersama pola dari papan cetakan.
4. Cetakan dibalik dan diletakan pada papan cetakan, dan setengah pola lainnya bersama-sama rangka cetakan untuk kup dipasang di atasnya, kemudian bahan pemisah ditaburkan di permukaan pisah dan di permukaan pola (Gambar 2.4.2).
5. Batang saluran turun atau pola untuk penambah dipasang, kemudian pasir muka dan pasir cetak dimasukkan dalam rangka cetakan dan dipadatkan. Selanjutnya kup dipisahkan dari drag dan diletakkan mendatar pada papan cetakan (Gambar 2.4.3).

6. Pengalir dan saluran dibuat dengan mempergunakan spatula. pola untuk pengalir dan saluran dipasang yang sebelumnya bersentuhan dengan pota utama, jadi tidak perlu dibuat dengan spatula (Gambar 2.4.4).
7. Pola diambil dari cetakan, inti yang cocok dipasang pada rongga cetakan dan kemudian kup dan drag ditutup, maka pembuatan cetakan selesai (Gambar 2.4.5).



Gambar 2.4. Proses pembuatan cetakan pasir pada proses pengecoran

2.9. KUALITAS PRODUK CORAN

Kualitas produk yang dihasilkan sangat menentukan apakah produk yang dihasilkan mampu bersaing dipasaran baik itu jika ditinjau dari segi harga maupun kuantitas dan kualitas produk yang dihasilkan. Untuk itu sebelum produk dipasarkan harus dilakukan kontrol kualitas dari produk yang dihasilkan. Adapun kontrol kualitas yang dilakukan secara umum adalah:

- (1) Pengamatan visual, pada kondisi ini produk yang dihasilkan diamati secara visual, jika terdapat produk yang cacat maka produk ditolak atau tidak direkomendasikan.
- (2) Pengujian, baik itu pengujian merusak atau tidak merusak. Penentuan dari salah satu pengujian yang akan dilakukan sangat tergantung pada kualitas yang diinginkan dari produk yang dihasilkan.

BAB III

PENGECORAN KHUSUS

Pengecoran khusus merupakan proses pengecoran yang dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki produktivitas, kualitas dan ketelitian dalam menghasilkan produk coran. Pengecoran khusus terdiri dari pengecoran tekanan rendah, pengecoran pola lilin, pengecoran cetak, pengecoran sentrifugal, pengecoran cetakan logam, pengecoran kontinu dan sebagainya. Masing-masing luaran dari pengecoran khusus ini mempunyai ciri-ciri khas pada cetakan atau cara pembentukannya.

3.1. PENGECORAN TEKANAN RENDAH

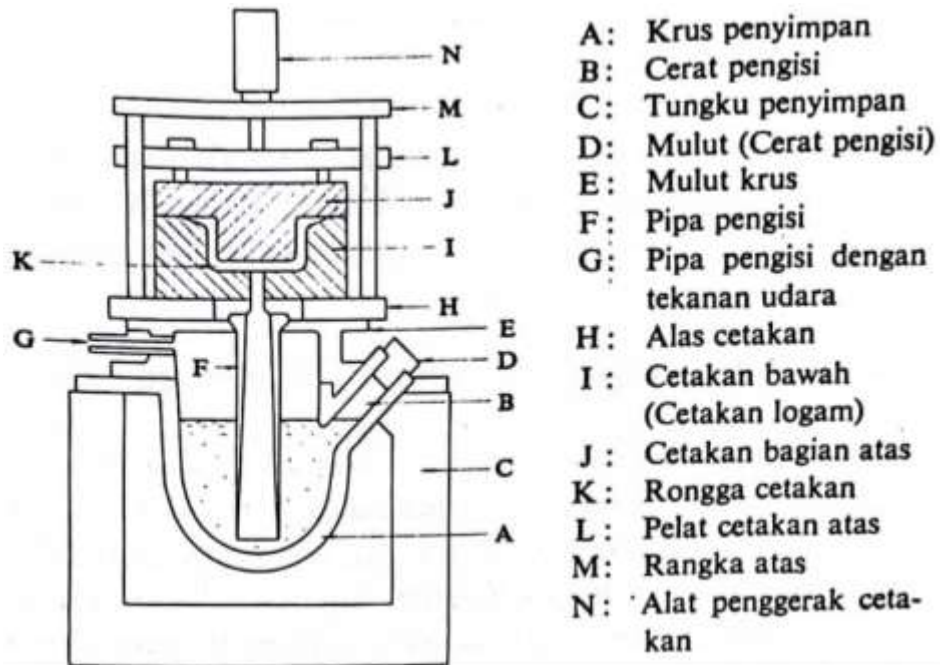
Pada pengecoran tekanan rendah, logam cair dimasukkan ke dalam krus tertutup kemudian dialirkan gas (biasanya udara bertekanan) yang tekanan rendah di bawah satu atmosfer sehingga terjadi tekanan pada permukaan logam. Kondisi ini menyebabkan logam akan terdorong ke atas melalui pipa pengisi dan masuk ke dalam cetakan yang telah dipasang pada bagian sebelah atas. Dengan demikian terbentuklah coran. Dalam hal ini saluran penambahan tidak diperlukan karena pipa pengisi sekaligus berfungsi sebagai saluran penambah. Gambar 3.1 menunjukkan skema dari alat pengecoran tekanan rendah. Jadi dalam pengecoran ini tekanan diberikan pada logam cair, penuangan dilakukan secara mekanik dan dipergunakan cetakan logam sehingga memungkinkan dilakukan proses produksi secara masal.

Cara pengecoran ini mempunyai ciri khas sebagai berikut :

- (1) Karena logam cair secara langsung dipaksa masuk ke dalam cetakan melalui pipa pengisi dari krus tertutup, maka oksidasi logam cair hanya sedikit dan tidak akan terjadi bahwa oksida dari permukaan logam cair terbawa masuk ke dalam cetakan.
- (2) Penuangan terjadi secara berangsur-angsur di mana logam cair yang pertama dituangkan dipaksa didorong ke atas oleh logam yang dituangkan kemudian, jadi mengalir maju, sehingga terbentuk pembekuan mengarah dan logam mulai membeku dari bagian

depan aliran logam. Akibatnya sukar terjadi rongga penyusutan, rongga udara dan lain sebagainya sehingga akan diperoleh produk coran mampat dengan baik.

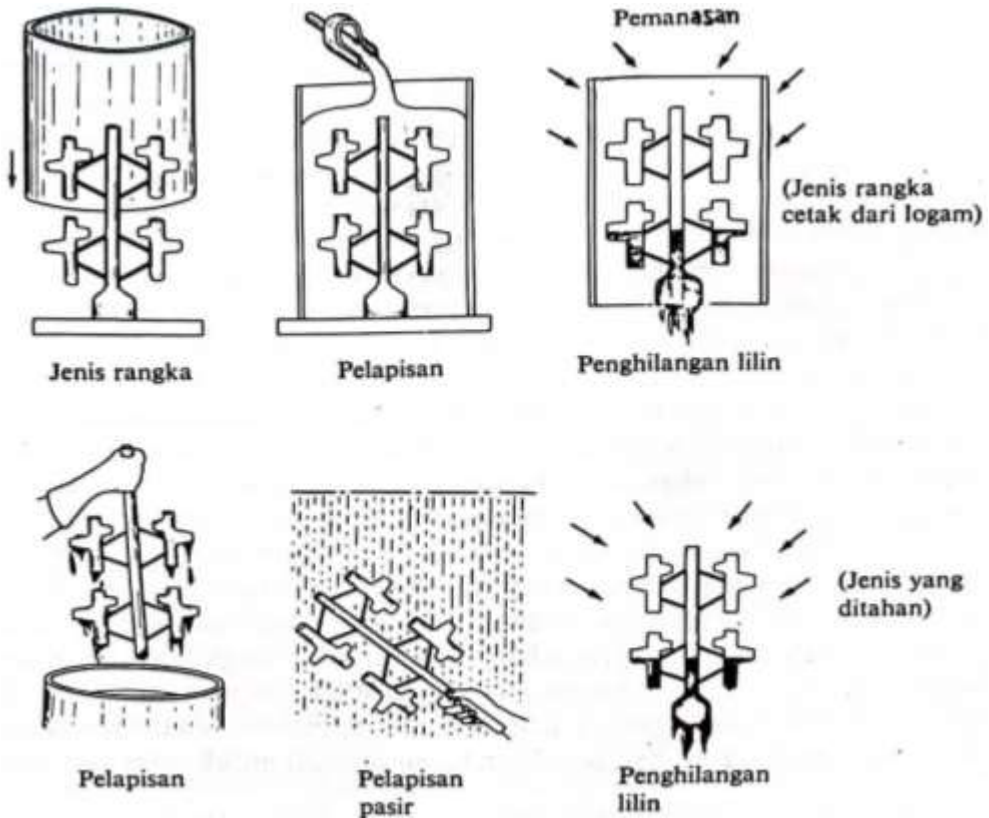
- (3) Karena penambah dan saluran masuk yang besar tidak diperlukan, maka persentase terpakai dari pengecoran menjadi sangat tinggi (di atas 90%), dengan demikian bukan hanya mengurangi jumlah logam cair dan biaya untuk pencairan, tetapi juga biaya pengolahan dapat diturunkan karena tidak perlu pemotongan saluran penambah dan saluran turun.
- (4) Permukaan coran sangat halus dengan ketelitian ukuran yang sangat baik. Selain itu dapat dibuat coran yang bentuknya lebih rumit. Kecepatan penuangan dapat diatur sehingga dapat dibuat coran-berdinding tipis ataupun coran berukuran besar.
- (5) Biaya peralatan lebih rendah dan gerakan-gerakan mekanik dapat diatur secara otomatis. Oleh karena itu satu orang dapat mengoperasikan beberapa buah mesin. Kalau pengaturan proses dioptimalkan maka produktivitas akan dapat ditingkatkan.
- (6) Terutama dipakai cetakan logam, tetapi disamping itu dapat juga dipakai cetakan grafit, cetakan kulit, cetakan resin. Oleh karena itu bahan coran tidak terbatas pada logam ringan saja tapi juga memungkinkan untuk mengecor paduan yang mempunyai titik cair tinggi seperti paduan tembaga, paduan besi dan sebagainya.



Gambar 3.1 Skema peralatan pengecoran tekanan rendah

3.2. CARA POLA LILIN

Cara pola lilin ini adalah khas di antara cara pengecoran presisi lainnya, yang disebut juga, pengecoran investmen. Cara ini semenjak dahulu telah dipakai untuk membuat benda seni rupa, tetapi sekarang dipakai secara luas dan pesat untuk pengecoran produksi masal atau pengecoran paduan kelas tinggi, seperti sudu-sudu motor jet. Proses pengecoran cara pola lilin diperlihatkan seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Pengecoran pola lilin

1. Dibuat cetakan untuk pengecoran pola lilin.
2. Pola lilin dan sistim saluran dibuat dengan mempergunakan cetakan tersebut di atas.
3. Pola lilin dan sistim saluran disusun menjadi susunan pola.
4. Susunan tersebut dilapisi.
5. Susunan pola lilin yang telah dilapisi, ditutup dengan campuran invesmen (Pembuatan cetakan).
6. Menghilangkan lilin dengan memanaskannya pada temperatur 100 sampai 110°C.
7. Cetakan dipanaskan pada temperatur 800 sampai 1.100 °C.
8. Logam cair dituangkan pada cetakan dengan temperatur tinggi.
9. Pekerjaan penyelesaian dilakukan.

Hal-hal yang penting dalam proses diatas adalah mengurangi pengerjaan tangan dalam hal penyusunan pola, penggabungan, kekentalan, cara penyemprotan bahan pelapis, pengeluaran pola lilin seluruhnya, pengaturan temperatur cetakan yang telah dipanaskan sebelumnya, pengaturan temperatur dan kecepatan penuangan. Pelapisan dilakukan dengan jalan penyebaran atau penyemprotan campuran invesmen pada permukaan pola. Campuran invesmen adalah bubuk dari bahan pelapis tahan panas yang merupakan suspensi dalam larutan etil silikat sebagai pengikat.

Pembuatan cetakan dilakukan dengan memasang pola yang telah dilapisi dalam rangka cetakan kemudian campuran invesmen dituangkan di sekeliling pola tersebut. Pada pengecoran paduan ringan atau paduan tembaga, yang mempunyai titik cair rendah, pelapisan pertama dapat ditiadakan. (Coran bisa lebih murah dengan mempergunakan cetakan plaster atau sejenisnya).

Sebaliknya pada pengecoran paduan yang mempunyai temperatur tinggi seperti paduan besi atau paduan tahan panas, pelapisan harus diulangi sampai tiga kali dengan mempergunakan campuran invesmen dan bahan tahan panas kelas tinggi. Pada pembuatan cetakan invesmen dipakai bahan-bahan yang secara ekonomi dapat dipertanggung-jawabkan.

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada pengecoran dengan cara pola lilin terdiri dari:

1. Cara ini mempunyai keuntungan yaitu dapat membuat produk coran yang mempunyai bentuk yang sukar apabila dibuat dengan mesin, terutama bentuk lengkungan tiga -dimensi seperti sudu-sudu turbin.
2. Cara ini mempunyai keuntungan yaitu dapat membuat produk coran yang mempunyai kekerasan sangat tinggi yang sukar dikerjakan dengan mesin seperti bahan untuk perkakas, paduan kobal tahan panas, paduan nikel tahan panas dan bahan-bahan kedokteran gigi.
3. Cara ini cocok sekali untuk mendapat ketelitian ukuran yang tinggi dan mempunyai permukaan coran yang baik.
4. Cara ini terbatas pada coran yang kecil. Berat coran. yang cocok adalah di bawah 3 kg dan coran dengan pola lilin yang sederhana adalah ekonomis. Coran seberat 50 kg dapat dibuat dengan mempergunakan cara

penyusunan pola, tetapi cara ini tidak ekonomis karena membutuhkan banyak jam orang untuk menyusun pola. Ketebalan minimum pada pengecoran ini kira-kira 1 mm.

5. Kalau dibandingkan dengan macam cetakan logam yang dipergunakan pada pengecoran dalam cetakan logam, maka cetakan logam yang dipergunakan dalam cara pola lilin hanya dipergunakan sebagai cetakan untuk pembuatan pola lilin sehingga biaya pembuatannya murah dan umumnya panjang. Tetapi perbandingan antara biaya pembuatan cetakan logam dengan biaya pengecoran adalah besar, oleh karena itu kalau jumlah produksi tidak lebih dari 100 maka biaya per produk menjadi tinggi.
6. Cara ini dapat dipergunakan hampir untuk semua jenis bahan coran. Tetapi karena biaya untuk besi cor adalah murah dibandingkan dengan cetakan logam maka pengecoran besi cor dengan cara ini tidaklah ekonomis.

Dipakai atau tidaknya cara pengecoran pola lilin ini harus ditentukan dengan mempertimbangkan kekurangan dan kelebihan seperti yang telah diuraikan pada proses pola lilin, serta dengan membandingkan cara ini dengan cara pembuatan lainnya, seperti cara pengecoran presisi, pengerjaan dingin dan teknik metalurgi serbuk.

3.3. PENGECORAN CETAK

Dalam pengecoran cetak logam cair dipaksa masuk ke dalam cetakan logam yang dibuat secara teliti pada tekanan dan temperatur tinggi dengan kecepatan tinggi. Dengan cara ini dapat dibuat dinding tipis dengan ketelitian tinggi dan permukaan coran yang halus dalam waktu singkat. Pengecoran cetak terutama dilakukan untuk coran yang membutuhkan ketelitian dari paduan yang mempunyai titik cair lebih rendah seperti paduan aluminium dan paduan seng. Secara luas pengecoran ini dilakukan juga untuk mesin-mesin yang membutuhkan ketelitian dan ukuran yang presisi. Alat alat komunikasi dan alat-alat ukur atau alat-alat keperluan sehari-hari seperti perkakas listrik untuk rumah dan alat-alat kantor juga dapat dihasilkan dengan proses pengecoran ini.

Belakangan ini permintaan akan pengecoran cetak sangat melonjak. Mesin cor cetak pun belakangan ini menjadi makin besar ukurannya dan

mengalami kemajuan dalam penyempurnaan teknik proses pengecoran cetak otomatis, penyempurnaan cetak serta kualitas coran cetak.

3.3.1. Bahan - Bahan untuk Pengecoran Cetak

Bahan-bahan yang cocok untuk pengecoran cetak adalah paduan aluminium, paduan magnesium, paduan tembaga atau logam yang titik cairnya lebih rendah seperti seng, timbal dan timah. Aluminium dan seng paling banyak digunakan, sedangkan logam-logam lain lebih sedikit. Kebanyakan aluminium yang dipergunakan untuk pengecoran cetak mengandung 12 % Si dan 2,5 % Cu, di mana paduan ini mempunyai kecairan dan mampu mesin yang baik. Kalau ketahanan korosi diperlukan maka dipakai paduan aluminium dengan kandungan 12 % Si walaupun paduan ini mempunyai mampu mesin kurang baik. Dalam hal penggunaan paduan seng untuk coran cetak, unsur-unsur seperti timbal dan kadmium yang berdampak terhadap korosi pada batas butir harus sangat dibatasi. Paduan seng yang terutama dipergunakan adalah berkadar 4% aluminium dengan sedikit magnesium untuk mengatur ketahanan korosi pada batas butir.

Paduan magnesium untuk pengecoran cetak adalah paduan yang paling ringan di antara bahan-bahan coran lain dan mempunyai mampu mesin baik sekali. Kekuatannya per satuan berat lebih besar dari pada paduan aluminium. Paduan magnesium biasanya mengandung aluminium sekitar 9%. Kalau aluminium tidak terdapat pada paduan magnesium maka paduan mudah sekali teroksidasi dan retak karena sifatnya yang getas pada temperatur tinggi.

Paduan tembaga yang dipergunakan untuk pengecoran cetak adalah kuningan dengan 60% Cu dan 40% Zn, brons dan sebagainya. Paduan-paduan utama yang disebut di atas bisa mendapat kekuatan yang lebih tinggi dengan jalan pengecoran cetak dibandingkan dengan cara pengecoran lainnya.

3.3.2. Cara Produksi

Produksi pengecoran cetak dengan menggunakan mesin cor cetak di mana logam cair dituangkan secara mekanis ke dalam cetakan yang sudah terpasang pada mesin. Sifat sifat dari paduan khas yang dipergunakan untuk

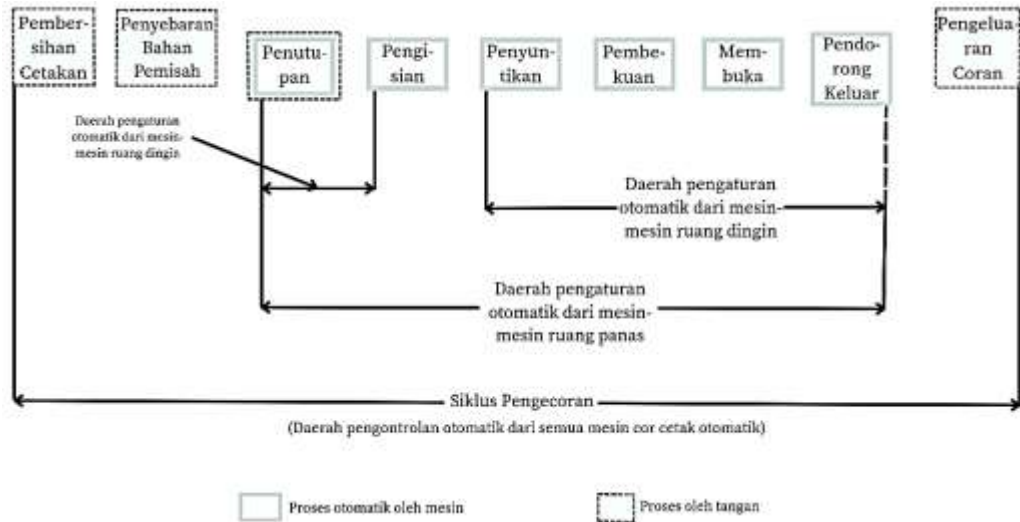
pengecoran cetak dan ciri khas dan penggunaan berbagai paduan diperlihatkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Sifat-sifat dari paduan khas yang dipergunakan untuk pengecoran cetak (didapat dari batang uji cor cetak).

| Paduan | Komponen | Berat jenis | Kekerasan (HB) | Kekuatan Tarik (Kgf/cm ²) | Perpanjangan (%) |
|--------|----------------|-------------|----------------|---------------------------------------|------------------|
| Al | Al-12% Si-3%Cu | 2,7 | 95 | 28,8 | 3 |
| Zn | Zn-4%Al | 6,7 | 91 | 25,0 | 10 |
| Mg | Mg-9% Mn | 1,8 | 60 | 23,9 | 3 |
| Cu | Cu-40%Zn | 8,7 | 133 | 51,6 | 21 |
| Sn | Sn-14%Pb-12%Sb | 7,7 | 22 | 12,0 | 2 |

Tabel 3.2. Ciri Khas dan penggunaan berbagai paduan

| Paduan | Ciri Khas | Kekurangan | Penggunaan |
|------------------|---|--|---|
| Paduan aluminium | Ringan Kekuatan tinggi | Kedap udara buruk Perlakuan permukaan sukar | Bagian-bagian mesin paling umum dipakai |
| Paduan seng | Mudah dilapisi krom Kedap udara baik Ketelitian ukuran baik | Berat | Perhiasan yang dilapisi Bagian-bagian mesin yang kedap udara |
| Paduan Magnesium | Mudah dikerjakan Sangat ringan Tidak melekat ke cetakan | Mahal Anti korosi buruk | Bagian mesin atau perkakas yang perlu Ringan |
| Paduan tembaga | Anti korosi baik Mudah dilapisi krom | Berat Cetakan umumnya pendek | Perhiasan yang dilapisi Bagian mesin yang memerlukan kekuatan |
| Paduan Timah | Tahan aus baik Ketelitian tinggi Cetakan tahan lama | Mahal Berat Kekerasan rendah | Bagian-bagian kecil yang perlu ketelitian |

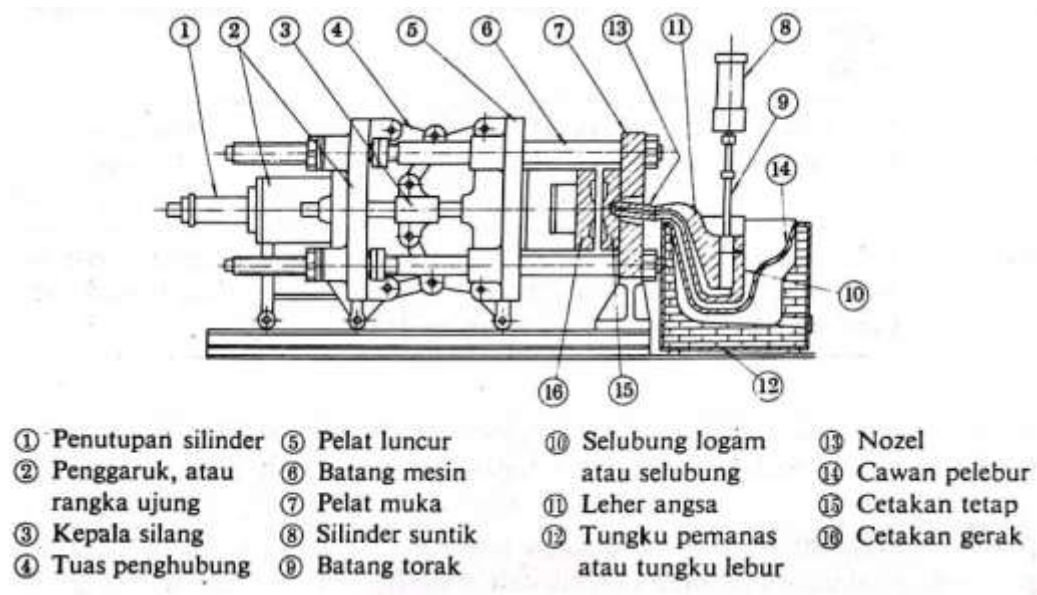


Gambar 3.3. Proses pengecoran cetak

Gambar 3.3 menunjukkan proses pengecoran cetak. Mesin cor cetak dibagi menjadi jenis mendatar dan jenis tegak menurut arah pembukaan dan penutupan cetakan. Apabila dalam mesin ada tungku pencair maka cara ini disebut cara ruang panas, sedangkan apabila tungkunya terpisah disebut cara ruang dingin. Mesin ruang panas dipakai untuk paduan bertitik cair rendah di bawah titik cair seng, dan gaya yang diperlukan untuk menutup cetakan lebih kecil. Mesin ruang dingin dipakai untuk paduan yang bertitik cair lebih tinggi dari titik cair paduan aluminium dan membutuhkan gaya yang besar untuk menutup cetakan. Berkenaan dengan mekanisme pembukaan dan penutupan cetakan, dipakai bermacam-macam cara, umpamanya dengan tangan, dengan tekanan udara, atau dengan tekanan hidrolik. Banyak di antara mesin-mesin baru dari jenis mendatar yang telah disempurnakan dijalankan dengan tekanan minyak dan pengaturannya menggunakan listrik.

Mesin cor cetak ruang panas (Gambar. 3.4) dijalankan dengan sistem otomatis yang dapat menyelesaikan satu siklus operasi dengan hanya menekan tombol kontak. Mesin ruang dingin dijalankan dengan sistem semi otomatis yang dapat menyelesaikan satu siklus operasi dengan menekan tombol kontak dua kali yaitu pada penutupan cetakan dan pada pendorongan logam cair ke dalam rongga cetakan. Mesin-mesin otomatis ini saja tak dapat melakukan semua proses dari cara pengecoran cetak secara otomatis. Kalau

pekerjaan seperti pemasangan cetakan logam, pembersihan, penaburan bahan pemisah, pengeluaran produk dan sebagainya tidak dibuat otomatis maka semua produksi otomatis tidak dapat dilaksanakan.



Gambar 3.4. Mesin cor cetak ruang panas

3.3.3. Ukuran Dan Tebal Dinding Dari Produk Cor Cetak

Pada pengecoran cetak terdapat sedikit kesukaran dalam penggunaan inti, namun begitu pengecoran ini dapat membuat coran yang lebih rumit. Ukuran dari coran cetak dibatasi oleh sifat-sifat mesin cor cetak, sedangkan ketebalan dinding coran dibatasi agar dapat menghindari cacat-cacat yang disebabkan oleh sifat-sifat khas pembekuan logam. Kapasitas mesin cor cetak umumnya dinyatakan oleh besarnya gaya untuk menutup cetakan, dan gaya itu harus lebih besar dari gaya hasil perkalian antara tekanan (ton/cm^2) untuk menekan logam cair ke dalam cetakan dan luas bidang yang akan diisi (cm^2) dari coran pada bidang sejajar dengan bidang pisah antara cetakan tetap dan cetakan gerak. Gaya untuk menutup cetakan biasanya 10 sampai 15 kali lebih besar dari gaya tekan piston (perkalian antara tekanan dan luas irisan piston). Tabel 3.3 menunjukkan contoh dari sebuah mesin cor cetak, mengenai kapasitas, batas ukuran dan berat dari produk. Ketebalan dinding yang baik,

adalah 1,5 sampai 8,0 mm, tetapi mungkin juga dibuat dinding tipis sebagian setipis 1 mm. Tetapi dinding yang tebal harus dibuat di bawah 10 mm dan ketebalan dinding pada tiap bagian diusahakan seragam agar dapat mencegah terjadinya cacat dalam.

3.3.4. Ketelitian Ukuran dan Penyelesaian

Permukaan coran sangat halus dengan kekasaran permukaan di bawah 12μ . Pelapisan logam dan pelapisan secara kimia dapat dilakukan pada permukaan coran.

Tabel 3.3 Kapasitas pengecoran dari sebuah mesin cor cetak. (Mesin cor cetak 250 ton untuk pengecoran paduan aluminium).

| Diameter Ujung piston (mm)* | Tekanan Injeksi (Kgf/cm ²) | Luas yang dapat di cor (cm ²) | Isi penyuntikan sebenarnya (cm ³) | Massa Penyuntikan sebenarnya (kg)** |
|-----------------------------|--|---|---|-------------------------------------|
| 50 | 1.020 | 245 | 510 | 1.32 |
| 55 | 840 | 300 | 615 | 1.60 |
| 60 | 710 | 350 | 780 | 1.90 |
| 65 | 600 | 420 | 860 | 2.23 |
| 70 | 520 | 480 | 1.000 | 2.60 |

* Diameter piston yang dipergunakan jika logam cair dipaksa masuk ke dalam rongga cetakan pada tekanan dan kecepatan tinggi

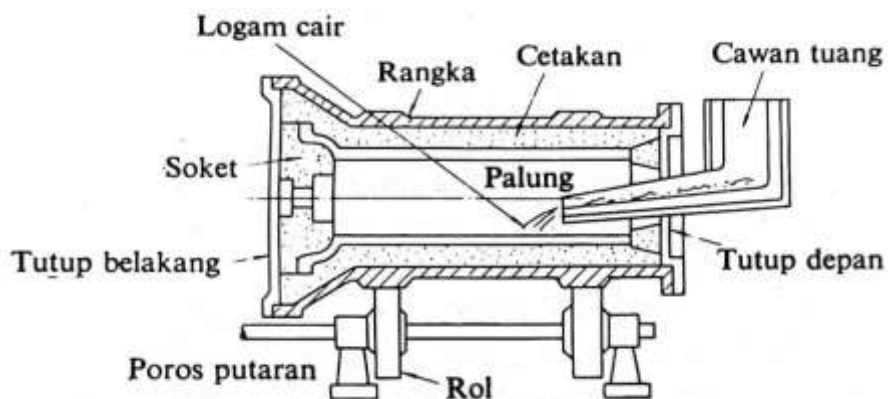
** Nilai ini dihitung dengan ketentuan bahwa berat jenis paduan aluminium 2.6

3.4. PENGECORAN SENTRIFUGAL

Pengecoran sentrifugal dilakukan dengan jalan menuangkan logam cair ke dalam cetakan yang berputar sehingga dihasilkan coran yang mampat tanpa cacat karena pengaruh gaya sentrifugal. Berkenaan dengan itu maka cara ini cocok untuk coran berbentuk silinder. Pengecoran sentrifugal yang biasa dipakai adalah pengecoran mendatar di mana logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang berputar pada sumbu mendatar (lihat Gambar. 3.5), tetapi untuk coran yang pendek atau berbentuk roda dipergunakan pengecoran tegak. Inti tidak diperlukan pada pengecoran sentrifugal mendatar, tetapi diperlukan pada pengecoran sentrifugal tegak.

Cetakan yang digunakan pada pengecoran sentrifugal adalah cetakan logam yang berumur lama, cetakan grafit, atau cetakan pasir. Dalam penggunaan cetakan logam dipakai cetakan yang didinginkan dengan air yang dibuat dari baja tahan panas atau baja biasa yang murah, atau cetakan dari besi cor yang didinginkan oleh udara dan sebagainya. Bahan yang dicor biasanya baja cor, besi cor, paduan tembaga. Akhir-akhir ini dilaksanakan juga pengecoran sentrifugal untuk paduan ringan walaupun penyingkiran oksidanya susah. Pipa air, cincin torak, rumah metal dari bantalan luncur, selubung silinder, dan sebagainya sebagai contoh-contoh utama produk dari besi cor. Besi cor paduan tahan aus atau besi cor liat terutama dipergunakan sebagai bahan untuk produk tersebut. Sebagai contoh produk baja cor adalah: poros berlubang dari baling-baling kapal, rol-rol, dibuat dari baja karbon, turbin-turbin, mesin jet, pompa-pompa dan bagian-bagian dari mesin-mesin industri kimia juga dibuat dari baja paduan.

Produk utama paduan tembaga adalah macam-macam bantalan. Penggunaan yang luas dari pengecoran sentrifugal seperti diutarakan di atas adalah berdasarkan pada produktivitas yang tinggi, penggunaan ruangan yang kecil, kemungkinan pengecoran produksi masa dengan ketelitian dan kualitas yang baik lagi murah. Pada pengecoran sentrifugal perlu mengadakan penelitian dalam bentuk coran yang dapat dibuat, bagaimana menurunkan biaya, untuk membuat cetakan logam. dan cara-cara penuangan (kecepatan putar, kecepatan tuang dan temperatur) dalam usaha untuk mencegah segregasi paduan atau inklusi bukan logam dan cacat-cacat lain.



Gambar 3.5. Pengecoran sentrifugal

3.5. PENGECORAN CAIRAN LOGAM KENTAL

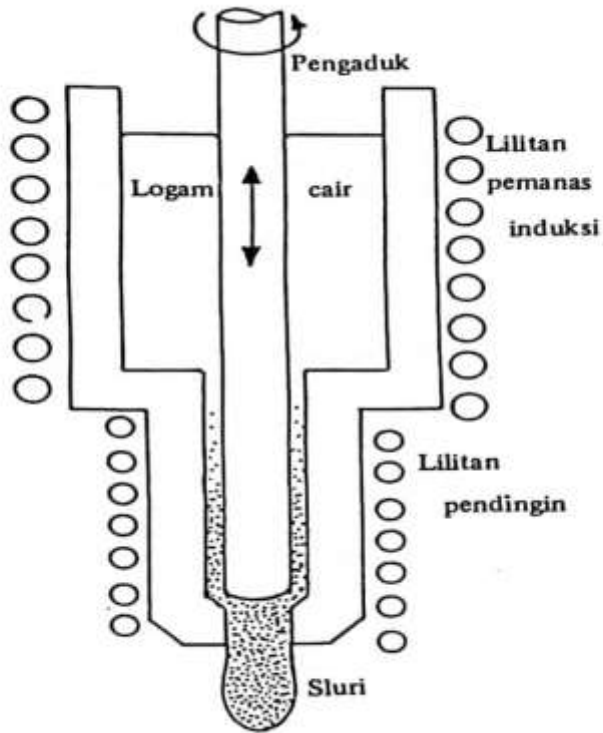
Teknik pengecoran ini dikenal sebagai “pengecoran reo” dan “pengecoran tikso” (*rheocasting dan thixocasting*). Teknik pengecoran merupakan gabungan dari teknik pengecoran dan teknik pembentukan logam. Tetapi dapat juga dikatakan sebagai pengembangan pengecoran cetak (*die casting*).

Dalam teknik pengecoran cairan logam kental dipergunakan sifat tikstropi bahan logam yang berbentuk bubuk atau sluri, dimana viskositasnya sangat menurun dengan meningkatnya laju geseran yang juga tergantung pada waktu. Sluri logam ini sebagai bahan pengganti logam cair, yang diproses menjadi benda

coran dalam mesin cor cetak.

Sluri logam itu sendiri dibuat dengan jalan memutar logam cair (lihat Gambar 3.6) yang sedang membeku sehingga terjadi geseran yang mengakibatkan agitasi terhadap terjadinya butir-butir dendrit. Butir-butir dendrit terpotong-potong sehingga terjadi butir bulat yang menyerupai bola (*spheroid*). Hasil akhir setelah pembekuan, struktur mikro logam coran terdiri dari butir-butir kristal primer non dendrit berbentuk bulat dikelilingi fasa eutektik. Ketidak hadirannya dendrit pada struktur mikro, logam coran memberikan sifat-sifat coran terutama sifat mekanik yang lebih baik, apalagi dengan terjadinya penghalusan butir.

Pada pengecoran reo, bahan setengah padat non dendrit itu hasil dari tungku dicetak langsung pada mesin pengecoran cetak, sedangkan pada pengecoran tikso bahan setengah padat dari tungku dibuat ingot terlebih dahulu, kemudian ingot dipotong-potong sesuai dengan dimensi yang diperlukan. Selanjutnya potongan ingot tersebut dipanaskan lagi sampai mencapai keplastikan tertentu yang kemudian diproses langsung pada mesin cor cetak.



Gambar 3.6. Pembuatan cairan sluri

Teknik pengecoran cairan logam kental ini pengembangannya sudah melewati produksi pilot. Selain itu diharapkan pengembangan yang telah mengarah pengecoran komposit akan lebih pesat.

BAB IV

PROSES PEMBENTUKAN LOGAM

Proses Pembentukan logam adalah proses di mana bentuk benda kerja logam diubah melalui deformasi plastis. Deformasi tersebut dihasilkan dari penggunaan suatu alat atau perkakas, seperti “*die*” dan “*roller*”. Alat atau perkakas tersebut digunakan dengan cara memberikan tekanan terhadap benda kerja yang melebihi *yield strength* logam tersebut. Tekanan yang diterapkan untuk merubah bentuk logam biasanya bersifat menekan. Namun, terdapat beberapa proses pembentukan logam terjadi dengan cara meregangkan logam, membengkokkan logam, dan memberikan tegangan geser pada logam.

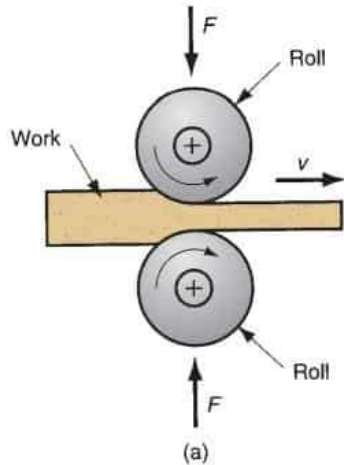
Pembentukan logam dapat diklasifikasikan kepada: (1). Klasifikasi berdasarkan benda kerja dan (2). Klasifikasi pengerjaan logam berdasarkan temperatur pembentukan, sebagaimana diterangkan pada bagian dibawah ini.

4.1. KLASIFIKASI BERDASARKAN BENDA KERJA

4.1.1 Pembentukan Benda Kerja Logam pejal

Proses deformasi benda pejal umumnya ditandai dengan terjadinya deformasi yang signifikan dan perubahan bentuk yang signifikan, serta rasio luas permukaan-volume yang relatif kecil. Istilah “*bulk*” menggambarkan bagian-bagian pekerjaan yang memiliki rasio luas permukaan-volume yang rendah. Bentuk benda kerja awal pada proses deformasi ini contohnya yaitu *billet* logam silinder dan batang logam persegi panjang. Teknik pengerjaan dasar benda kerja logam pejal yaitu sebagai berikut.

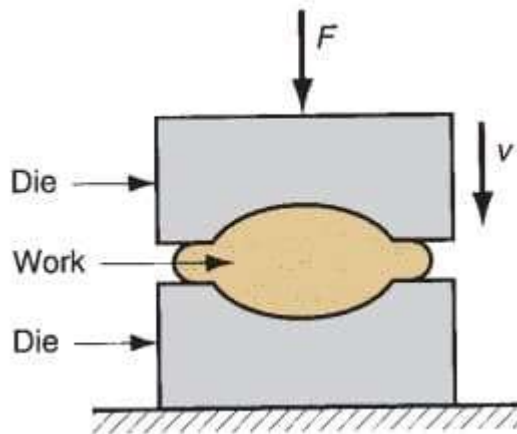
1) Rolling



Gambar 4.1 Proses *Rolling*

Gambar 4.1. Memperlihatkan cara kerja dari proses *Rolling*. *Rolling* adalah proses deformasi tekan di mana ketebalan pelat logam dikurangi dengan dua alat silindris berlawanan arah yang disebut *roller*. Pada operasi dua buah *Roller* berputar untuk menarik benda kerja ke dalam celah di antara *roller* tersebut dan menekannya.

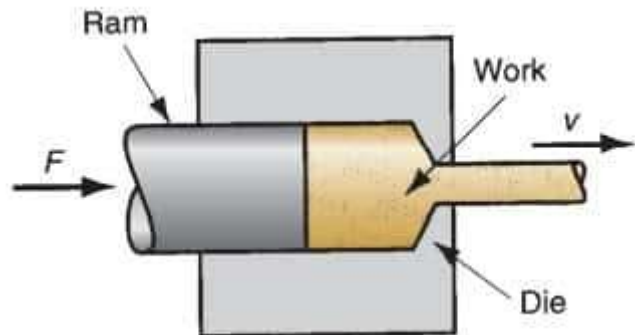
2) Forging



Gambar 4.2. Proses *Forging*

Gambar 4.2 memperlihatkan proses penempaan (*forging*). Pada proses penempaan, benda kerja ditekan di antara dua cetakan yang berlawanan, sehingga benda kerja terbentuk sesuai dengan bentuk rongga cetakan. Secara tradisional proses tempa dilakukan pada proses pengerjaan panas, tetapi banyak juga penempaan dilakukan dalam keadaan dingin.

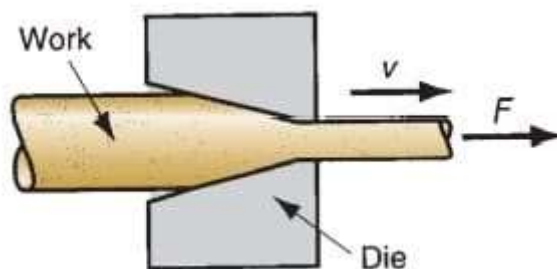
3) *Extrusion*



Gambar 4.3. Proses *Extrusion*

Gambar 4.3 memperlihatkan proses ekstrusi (*extrusion*). Proses ekstrusi terjadi di mana logam kerja dipaksa untuk mengalir melalui bukaan cetakan, sehingga bentuk produk yang dihasilkan sesuai dengan bentuk bukaan sebagai penampang melintangnya sendiri.

4) *Drawing*



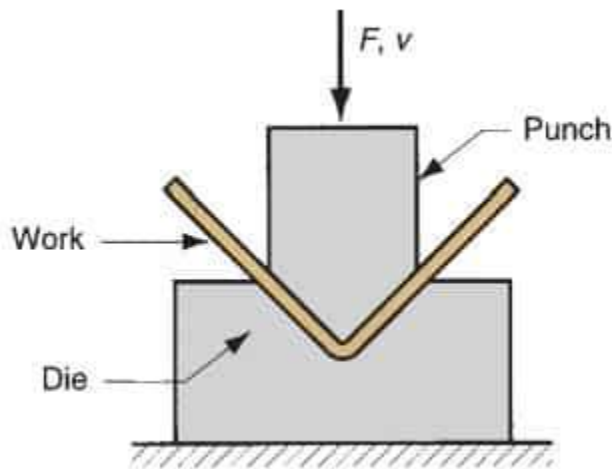
Gambar 4.4. Proses *Drawing*

Gambar 4.4 memperlihatkan proses drawing. Pada proses *drawing*, diameter kawat atau batang bundar dimensinya dikurangi dengan penariknya melalui lubang cetakan.

4.1.2 Pembentukan Benda Kerja Logam Lembaran

Proses pengerjaan logam lembaran adalah proses operasi pembentukan dan pemotongan yang dilakukan pada lembaran, strip, atau gulungan logam. Rasio luas permukaan volume logam awal lebih tinggi. Dengan demikian, rasio ini yang membedakan proses pengerjaan deformasi logam pejal dengan pengerjaan deformasi lembaran. *Kerja tekanan* adalah istilah yang sering digunakan untuk pengerjaan operasi logam lembaran karena mesin yang digunakan untuk operasi ini adalah penekanan terhadap benda kerja. Bagian logam yang dihasilkan dari proses pengerjaan logam lembaran sering disebut *stamping*. Proses pembentukan logam lembaran selalunya dilakukan sebagai proses pengerjaan dingin dan biasanya dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat yang disebut *ram* atau *punch* dan *die*. Teknik pengerjaan dasar benda kerja logam lembaran yaitu sebagai berikut:

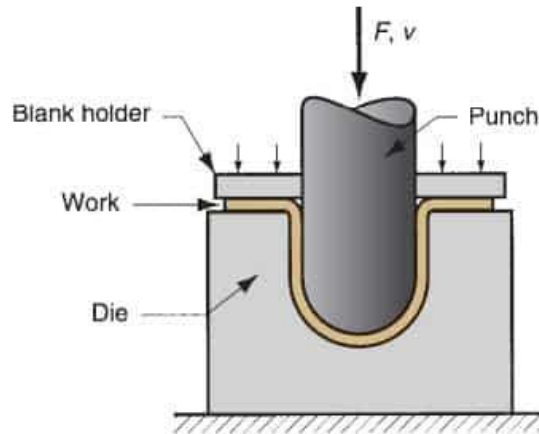
1) *Bending*



Gambar 4.5. Proses *Bending*

Gambar 4.5 memperlihatkan proses pembengkokan (*bending*). Proses pembengkokan melibatkan penegangan pelat logam untuk mengambil sudut sepanjang sumbu lurus (sumbu x).

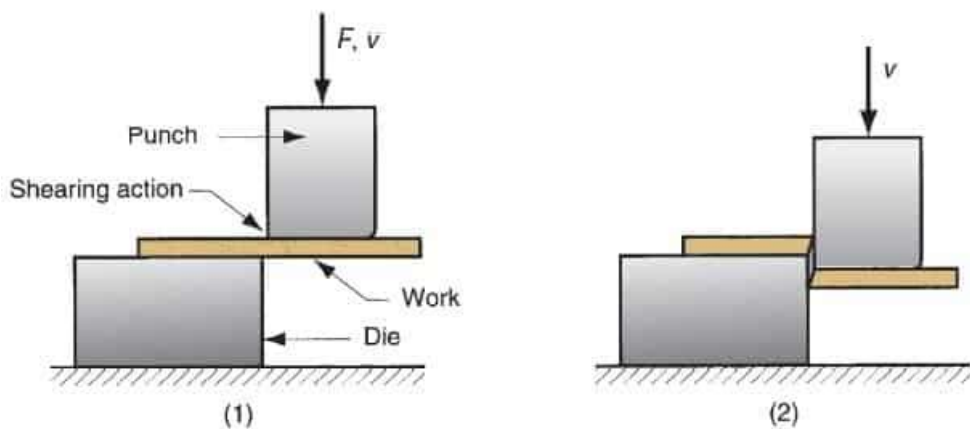
2) Drawing



Gambar 4.6. Proses *Drawing*

Gambar 4.6 memperlihatkan proses drawing. Dalam pengerjaan logam lembaran, menggambar mengacu pada pembentukan lembaran logam menjadi bentuk berlubang atau cekung, seperti cangkir, dengan cara meregangkan logam tersebut. Penahan blanko digunakan untuk menahan *blank* sementara *punch* mendorong ke dalam lembaran logam. Operasi ini sering disebut juga dengan *cup drawing* atau *deep drawing* untuk membedakan operasi ini dari operasi *drawing* batang dan kawat.

3) Shearing



Gambar 4.7 Proses *Shearing*

Gambar 4.7 memperlihatkan proses *shearing*. Proses *shearing* ini mungkin kurang tepat jika disebut proses deformasi, karena melibatkan pemotongan dan bukan pembentukan. Operasi *shearing* merupakan pekerjaan dengan menggunakan *punch* dan *die*. Meskipun ini bukan proses pembentukan, proses ini dimasukkan dalam proses deformasi karena proses ini merupakan operasi yang diperlukan dan sangat umum dalam pengerjaan logam lembaran atau pelat logam.

4.2. KLASIFIKASI BERDASARKAN TEMPERATUR PEMBENTUKAN

Dalam proses pembentukannya logam harus memiliki sifat - sifat yang diinginkan seperti *yield strength* rendah dan keuletan (*ductility*) tinggi. Sifat-sifat ini dipengaruhi oleh temperatur selama proses pembentukan berlangsung. Saat temperatur pembentukan dinaikkan, keuletan akan meningkat dan *yield strength* akan berkurang. Pengaruh temperatur akan menimbulkan perbedaan antara kerja dingin, kerja hangat, dan kerja panas. Faktor- faktor tambahan yang mempengaruhi kinerja dalam pembentukan logam adalah laju regangan dan gesekan.

4.2.1 Proses Pengerjaan Dingin

Pengerjaan dingin adalah proses pembentukan logam yang dilakukan pada suhu kamar atau sedikit di atas suhu kamar. Keuntungan yang signifikan dari pembentukan dingin dibandingkan dengan kerja panas adalah sebagai berikut:

- (1) Akurasi yang lebih besar, yang berarti tingkat toleransi akan lebih kecil.
- (2) Permukaan akhir yang lebih baik.
- (3) Kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi karena pengerasan regangan (*strain hardening*).
- (4) Aliran butir yang terjadi selama deformasi membuat sifat berarah (*oriented*) yang diinginkan dapat diperoleh dalam produk yang dihasilkan.
- (5) Benda kerja tidak perlu dipanaskan sehingga menghemat biaya *furnace* dan bahan bakar serta memungkinkan tingkat produksi yang lebih tinggi.

Karena kombinasi keunggulan ini, banyak proses pengerjaan dingin menjadi operasi produksi massal. Proses ini memberikan toleransi yang kecil dan permukaan yang baik, meminimalkan jumlah permesinan yang diperlukan sehingga operasi ini dapat diklasifikasikan sebagai proses *net shape* (menyerupai hasil akhir) atau *near net shape* (hampir menyerupai hasil akhir). Adapun kerugian yang terkait dengan proses pengerjaan dingin yaitu sebagai berikut.

- (1) Gaya dan daya yang lebih tinggi diperlukan untuk melakukan operasi.
- (2) Harus hati-hati dalam pelaksanaannya untuk memastikan bahwa permukaan benda kerja awal bebas dari kerak dan kotoran.
- (3) Keuletan (*ductility*) dan pengerasan regangan (*strain hardening*) logam kerja membatasi jumlah pembentukan yang dapat dilakukan pada bagian tersebut. Dalam beberapa operasi, logam harus melalui proses *annealing* agar deformasi lebih lanjut dapat dicapai. Dalam kasus lain, logam tidak cukup ulet untuk dikerjakan dengan dingin.

4.2.2 Proses Pengerjaan Hangat

Karena perubahan plastis meningkatkan temperatur benda kerja, maka operasi pembentukan dilakukan pada temperatur sedikit diatas temperatur lingkungan tetapi dibawah temperatur rekristalisasi. Proses pengerjaan hangat dilaksanakan pada rentang temperatur tersebut. Garis pembeda antara pengerjaan dingin dan pengerjaan hangat adalah di tekankan pada titik cair dari logam yang digunakan. Garis penekanannya biasanya diberikan pada $0.3 T_m$, dimana T_m adalah titik cair (temperatur absolut) dari logam yang digunakan.

Kekuatan yang rendah dan pengerasan regangan serta keuletan yang lebih tinggi dari logam pada temperatur sedang akan menghasilkan pengerjaan hangat keuntungan melebihi pengerjaan dingin seperti berikut:

- (1) Diperlukan gaya dan daya yang lebih rendah
- (2) Dapat menghasilkan bentuk benda kerja yang rumit
- (3) Pengerjaan *annealing* bisa dukurangi atau dihilangkan

4.2.3 Proses Pengerjaan Panas

Proses pengerjaan panas adalah proses pembentukan logam yang melibatkan deformasi pada temperatur di atas temperatur rekristalisasi. Temperatur rekristalisasi pada logam tertentu yaitu sekitar setengah dari titik lelehnya pada skala absolut. Namun pada praktiknya, pengerjaan panas dilakukan pada temperatur di atas $0,5T_m$. Logam kerja terus melunak karena temperatur dinaikkan melebihi $0,5T_m$, sehingga meningkatkan keuntungan kerja panas di atas temperatur ini. Namun begitu, proses deformasi sendiri menghasilkan panas sehingga menghasilkan temperatur kerja lebih tinggi di bagian tertentu pada benda kerja. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya pencairan di wilayah ini. Kondisi ini tentu saja sangat tidak diinginkan. Oleh karena itu, temperatur kerja panas selalunya dipertahankan dalam rentang $0,5T_m$ hingga $0,75T_m$. Semua ini menghasilkan keuntungan relatif, berikut untuk pengerjaan panas yaitu sebagai berikut:

- (1) Bentuk benda kerja dapat diubah secara signifikan.
- (2) Gaya dan daya yang lebih rendah diperlukan untuk mendeformasi logam.
- (3) Logam yang biasanya retak saat dibentuk pada pengerjaan dingin dapat dibentuk dalam suhu tinggi.
- (4) Sifat kekuatan umumnya isotropik (merata) karena tidak adanya struktur butir berorientasi yang biasanya terbentuk dalam pengerjaan dingin
- (5) Tidak ada penguatan bagian yang terjadi karena pengerasan kerja (*work hardening*).
- (6) Keuntungan terakhir ini mungkin tampak tidak konsisten, karena penguatan logam sering dianggap sebagai keuntungan untuk pengerjaan dingin. Namun, terkadang terdapat kasus dimana pengerasan kerja tidak diinginkan karena mengurangi keuletan, misalnya, jika bagian selanjutnya diproses dengan pembentukan dingin.

Kerugian pengerjaan panas yaitu sebagai berikut:

- (1) Akurasi dimensi yang lebih rendah.
- (2) Energi total yang dibutuhkan lebih tinggi (karena energi panas untuk memanaskan benda kerja).
- (3) Oksidasi permukaan kerja.
- (4) Permukaan akhir yang lebih buruk, sehingga umumnya wajib dilakukan proses lanjutan seperti pengerjaan akhir
- (5) Umur perkakas yang lebih pendek.

BAB. V

PENGELASAN

Menurut DIN (Deutsche Industrie Normen) definisi pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Dalam proses penyambungan ini adakalanya disertai dengan tekanan dan material tambahan.

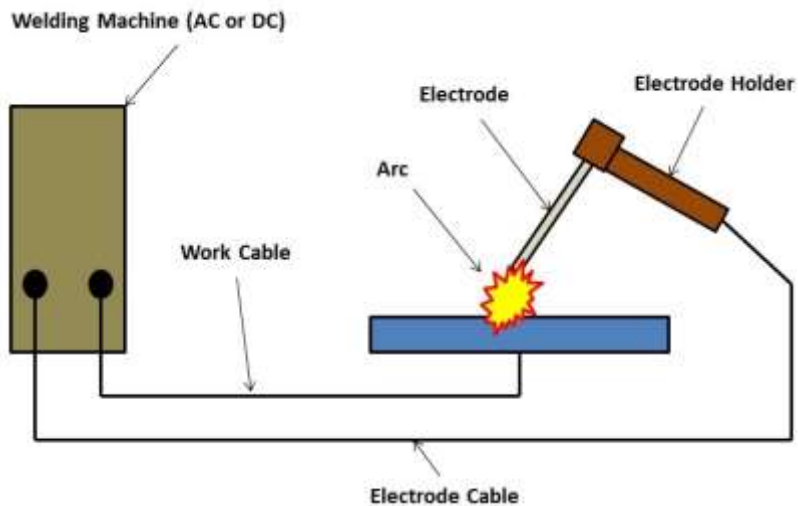
Teknik pengelasan secara sederhana telah ditemukan dalam rentang waktu antara 4000 sampai 3000 SM. Setelah energi listrik dipergunakan dengan mudah, teknologi pengelasan maju dengan pesatnya sehingga menjadi sesuatu teknik penyambungan yang mutakhir. Pada tahap-tahap permulaan dari pengembangan teknologi las, pengelasan hanya digunakan pada sambungan-sambungan dari reparasi yang kurang penting. Tapi setelah melalui pengalaman dan praktek yang banyak dan waktu yang lama, maka sekarang penggunaan proses pengelasan dan penggunaan konstruksi-konstruksi las merupakan hal yang umum di semua negara di dunia.

Terwujudnya standar-standar teknik pengelasan akan membantu memperluas ruang lingkup pemakaian sambungan las dan memperbesar ukuran bangunan konstruksi yang dapat dilas. Dengan kemajuan yang dicapai sampai saat ini, teknologi las memegang peranan penting dalam masyarakat industri modern.

5.1. ARC WELDING

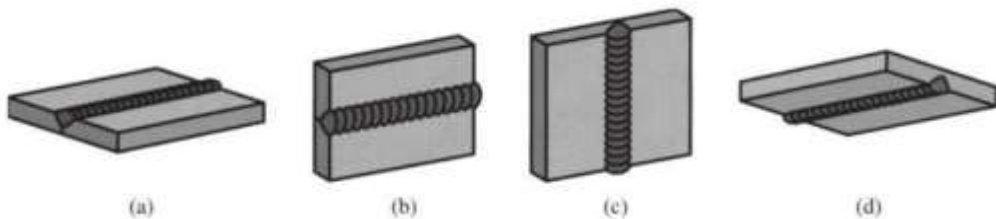
Arc welding adalah proses menyatukan logam dengan menggunakan panas dari busur listrik, tidak memerlukan tekanan, dan batang pengisi dipakai jika perlu. *Arc welding* banyak digunakan dalam pembuatan aluminium dan besi. sumber arusnya bisa DC maupun AC dengan menggunakan DC/AC. Proses *Arc welding* bisa dipakai secara manual ataupun otomatis. Pendinginannya tergantung besarnya arus. Bila penggunaan arus di atas 200 Amper digunakan *water cooled*. Dan sebaliknya bila di bawah 200 Amper

digunakan *air cooled*. Konfigurasi dasar dan sirkuit listrik arc welding diperlihatkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Konfigurasi dasar dan sirkuit listrik arc welding

Agar proses pengelasan dapat terlaksana dengan baik maka perlu diketahui posisi yang akan dilas, karena masing-masing posisi mempunyai kerumitan tersendiri dalam aplikasinya. Secara umum posisi pengelasan dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Posisi Pengelasan

(a) *Flat*, (b) *Horizontal*, (c) *Vertikal*, (d) *Over head*

5.1.1. Submerged Arc Welding (SAW)

Pengelasan SAW (Submerged Arc Welding) merupakan salah satu jenis pengelasan busur listrik yang dimana proses pengelasan ini memanaskan dan mencairkan benda kerja dan elektroda atau logam pengisi oleh busur listrik yang ada diantara logam induk dan elektroda. Pengelasan SAW ini menggunakan fluks yang memiliki bentuk seperti butiran pasir untuk melindungi logam pengisi yang mencair saat proses pengelasan agar tidak terkontaminasi dengan udara luar sehingga menghasilkan las – lasan yang baik. Pengelasan SAW (Submerged Arc Welding) merupakan salah satu jenis pengelasan busur listrik yang dimana proses pengelasan ini memanaskan dan mencairkan benda kerja dan elektroda atau logam pengisi oleh busur listrik yang ada diantara logam induk dan elektroda. Pengelasan SAW ini menggunakan fluks yang memiliki bentuk seperti butiran pasir untuk melindungi logam pengisi yang mencair saat proses pengelasan agar tidak terkontaminasi dengan udara luar sehingga menghasilkan las – lasan yang baik. Pengelasan SAW (Submerged Arc Welding) merupakan salah satu jenis pengelasan busur listrik yang dimana proses pengelasan ini memanaskan dan mencairkan benda kerja dan elektroda atau logam pengisi oleh busur listrik yang ada diantara logam induk dan elektroda. Pengelasan SAW ini menggunakan fluks yang memiliki bentuk seperti butiran pasir untuk melindungi logam pengisi yang mencair saat proses pengelasan agar tidak terkontaminasi dengan udara luar sehingga menghasilkan las – lasan yang baik. *Submerged Arc welding (SAW)* merupakan salah satu pengelasan busur listrik dimana proses pengelasan ini bekerja dengan cara memanaskan dan mencairkan benda kerja dan elektroda (logam pengisi) oleh busur listrik yang ada di antara logam induk dan elektroda. Pengelasan ini menggunakan *fluks* yang memiliki bentuk seperti butiran pasir untuk melindungi logam pengisi yang mencair saat proses pengelasan agar tidak terkontaminasi dengan udara luar, sehingga dapat menghasilkan lasan yang baik. Bahan elektroda cair disuplai ke permukaan potongan yang dilas, mengisi bagian yang akan di las dan menyatu dengan benda kerja. Karena elektroda terendam ke dalam fluks, maka busur las tidak terlihat. Fluks sebagian meleleh dan membentuk kerak yang melindungi bagian las dari oksidasi dan kontaminasi atmosfer lainnya.

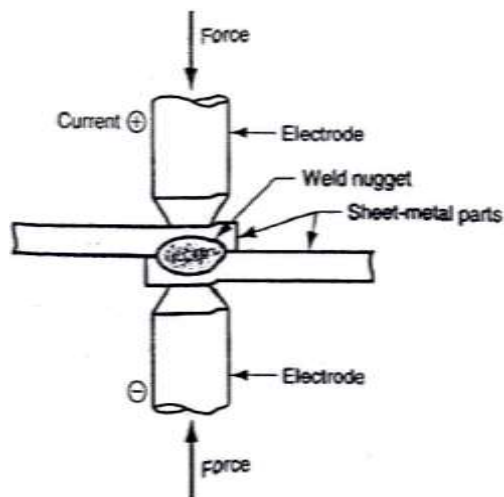
Perlu adanya pengaturan kecepatan pengumpanan kawat las yang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan panjang busur yang diperlukan. Bila menggunakan sumber arus listrik *direct current* (DC) dengan tegangan tetap, kecepatan pengumpanan dapat dibuat tetap dan biasanya menggunakan polaritas balik (DCRP). Mesin las yang menggunakan arus listrik DC kadang-kadang digunakan untuk mengelas pelat tipis dengan kecepatan tinggi atau untuk pengelasan dengan elektroda lebih dari satu.

Keuntungan dan Kerugian dari Las Busur Rendam :

1. Kualitas Las Baik
2. Penetrasi cukup baik
3. Bahan las hemat
4. Tidak perlu operator tampil
5. Dapat memakai arus yang tinggi
6. Sulit menentukan hasil seluruh pengelasan
7. Posisi pengelasan hanya horizontal
8. Penggunaan sangat terbatas

5.2. RESISTANCE WELDING

Resistance welding (RW) merupakan group dari *fusion welding* yang menggunakan kombinasi dari panas dan tekanan dalam proses kerjanya. Cara kerja dari proses pengelasan RW diperlihatkan pada gambar 5.3.



Gambar 5.3. *Resisten Welding*

5.2.1. Daya yang dibutuhkan pada *Resisten Welding*

Energi panas yang disuplay pada proses *welding* tergantung pada arus yang dialirkan, resistensi dari sirkuit dan lamanya waktu yang dibutuhkan selama proses.

$$H = I^2 R t$$

Dimana H = Panas yang dibangkitkan J

I = Arus, A

R = Tahanan, Ω

t = waktu, detik

Arus yang digunakan pada proses *resistance welding* sangat tinggi berkisar 5000 – 20.000 A, meskipun voltase relatif rendah, biasanya dibawah 10 V. Waktu yang dibutuhkan pada proses ini singkat berkisar 0,1 – 0,4 detik.

5.3. FUSION WELDING

Fusion welding adalah proses penyambungan logam dengan cara mencairkan logam yang tersambung. Jenis-jenis dari *fusion welding* adalah :

- (1) *Oxy-acetylene welding*,
- (2) *Electric Arc welding*,
- (3) *Shield Gas Arc Welding*,
- (4) *Electro Gas Welding*
- (5) *Electron Beam Welding*
- (6) *Laser Beam Welding*
- (7) *Plasma Welding*

5.4. METALURGI PENGELASAN

Pada saat teriadinya proses penyambungan dibutuhkan aplikasi panas, tekanan atau keduanya disamping itu juga keterlibatan fisik dan reaksi kimia. Pada pengelasan (*welding*), reaksi ini harus dikontrol untuk mendapatkan hasil pengelasan yang memuaskan.

5.5. INSPEKSI DAN PENGUJIAN PENGELASAN

Inspeksi dan metode pengujian pengelasan bertujuan untuk melakukan pengecekan terhadap kualitas dari hasil sambungan pengelasan. Prosedur

standar yang telah dikembangkan dan disesuaikan dengan *engineering* dan *American Welding Society (AWS)*. Untuk mencapai tujuan ini inspeksi dan prosedur pengujian dapat dibagi menjadi tiga katagori : (1) Visual, (2) Non destructive, dan (3) Destructive.

5.5.1. Visual Inspection

Inspeksi secara visual merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk melihat apakah hasil dari suatu proses pengelasan baik atau tidak, untuk ini diperlukan seorang *human inspector* yang bertugas melakukan pengujian visual terhadap (1) spesifikasi dimensi pada gambar kerja, (2) lendutan, (3) *crack, cavities, incomplate fusion*, dan cacat lain yang dapat dilihat secara visual. Disamping itu *welding inspector* juga bertugas untuk melakukan pengujian tambahan jika diperlukan. Batasan dari inpeksi visual hanya pada cacat permukaan yang dapat dideteksi, namun cacat internal tidak dapat dideteksi dengan metode visual.

5.5.2. Non destructive Evaluation

Non destructive inspection termasuk dalam metode inspeksi yang tidak menyebabkan cacat pada spesimen yang dievaluasi. *Dye-penetrant* dan *fluorescant-penetrant tests* adalah metode untuk mendeteksi cacat kecil seperti retak dan rongga yang terlihat pada permukaan.

Ultrasonic testing menggunakan gelombang suara dengan frekwensi tinggi (lebih dari 20 kHz) langsung melalui spesimen. *Discontinuities* (sebagai contoh, retak, inklusi dan porositas) dideteksi dengan kehilangan transmisi suara. *Radiographic testing* menggunakan X-ray atau radiasi gamma untuk mendeteksi cacat intemal pada logam lasan.

5.5.3. Destructive Testing

Metode ini menyebabkan spesimen uji rusak, begitu juga pada saat persiapan spesimen uji. Metode pengujian mekanik dan metalurgi juga termasuk dalam *destructive testing*. Pengujian mekanik tujuannya hampir sama dengan metode pengujian konvensional seperti *tensile tests* dan *shear tests*. Perbedaanya adalah spesimen uji menggunakan sambungan proses pengelasan.

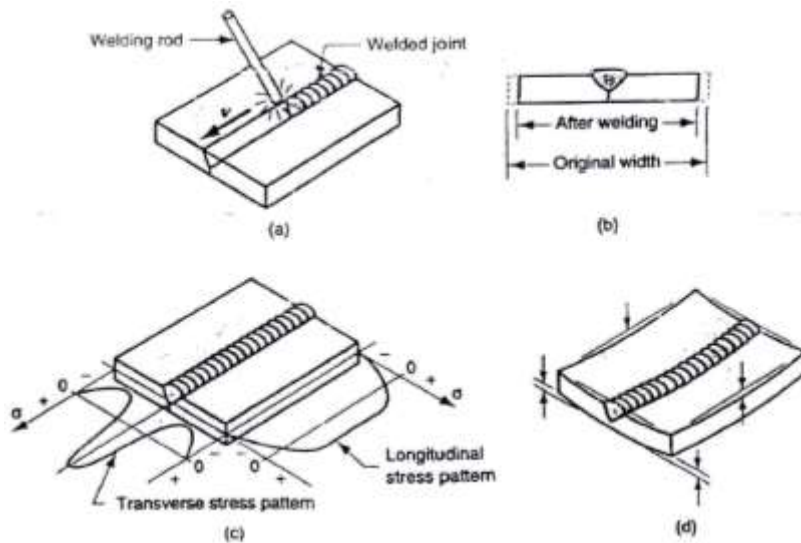
5.6. KUALITAS HASIL LASAN

Tujuan dari dilakukannya proses pengelasan adalah untuk menyambung dua buah komponen atau lebih menjadi sebuah struktur. Integritas fisik dan bentuk dari struktur tergantung pada kualitas lasan.

5.6.1. Distorsi dan Tegangan Sisa

Pemanasan dan pendinginan cepat pada daerah lasan benda kerja selama proses pengelasan berlangsung, khususnya pada proses *arc welding* mengakibatkan kontraksi dan ekspansi termal yang mengakibatkan terjadinya tegangan sisa pada produk lasan. Tegangan ini juga mengakibatkan terjadinya distorsi dan lengkungan pada saat dilakukan perakitan (lihat gambar 5.4).

Kompleksnya kondisi pada proses pengelasan disebabkan oleh (1) pemanasan pada lokasi tertentu (2) pencairan dari *base metal* terjadi pada daerah lokal dan (3) lokasi pemanasan dan pencairan adalah penyebab utamanya.



Gambar 5.4. (a) Butt-welding two plates ; (b) Shrinkage across the width of the welded assembly, (c) transverse welded longitudinal residual stress pattern; dan (d). likely warpage in the welded assembly

BAB. VI

INJECTION MOLDING

Teknologi *Injection Molding* adalah suatu metode dimana material utamanya adalah termoplastik polimer, prosesnya terdiri dari pemanasan material termoplastik hingga mencair dan kemudian cairan plastik didorong ke sebuah cetakan untuk dibiarkan dingin dan mengeras.

6.1. MATERIAL INJECTION MOLDING

Injection molding biasanya diaplikasikan untuk material polimer termoplastik. Material ini terdiri dari polimer yang selalu dapat menjadi cair oleh panas dan mengeras dengan pendinginan, walaupun telah di daur ulang. Hal ini dapat terjadi karena molekul rantai panjang material selalu menjadi entiti terpisah dan tidak membentuk ikatan kimia satu dengan yang lainnya.

Secara umum material termoplastik memiliki kekuatan dampak yang tinggi, ketahanan korosi yang baik dan mudah diproses dengan karakteristik aliran yang baik untuk desain cetakan yang kompleks. Sifat mekanik termoplastik, secara substansi lebih rendah dari logam, dapat ditingkatkan dengan beberapa aplikasi melalui penambahan *glass fiber reinforcement*.

6.2. SIKLUS MOLDING

Siklus *injection molding* pada termoplastik terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu : (1) *Injection atau filling*, (2) *cooling*, (3) *ejection dan resetting*.

(1) Tahap *Injection* atau *filling*

Tahapan injeksi atau pengisian terdiri langkah maju *plunger* atau screw pada unit injeksi guna mengalirkan aliran material cair dari silinder pemanas melalui nozel dan selanjutnya menuju cetakan. Tahapan injeksi terjadi karena peningkatan tekanan secara bersamaan.

(2) Tahap *Cooling* atau *Freezing*

Tahap *cooling* dimulai dari proses pengisian cetakan dengan material cair dan berlanjut selama proses *packing* diikuti dengan kembalinya *plunger*

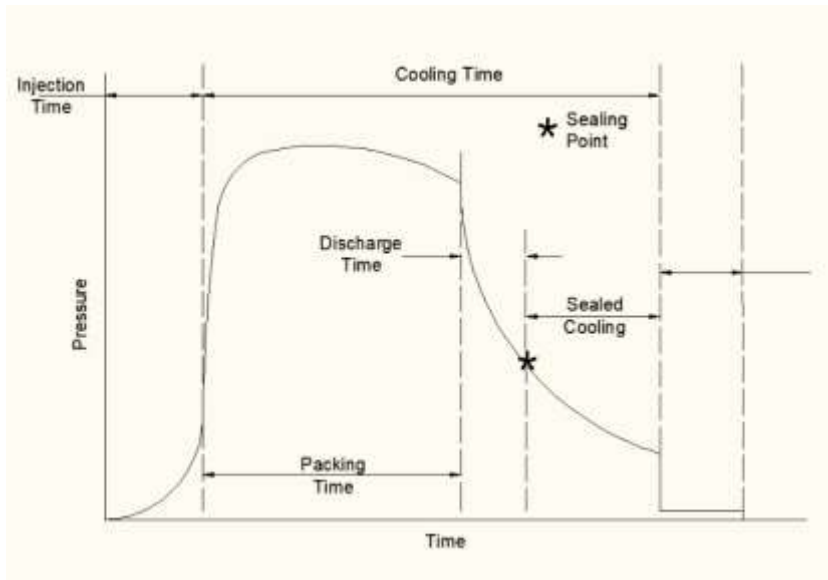
atau *screw* dengan penurunan tekanan dari cetakan dan area nozel. Material dan sifat mekanik termoplastik diperlihatkan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Material dan sifat mekanik termoplastik

| No | Termoplastik | Yield strength (MN/m ²) | Elastic modulus (MN/m ²) | Heat Deflection Temperature (°C) |
|----|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | High-density Polyethylene | 23 | 925 | 42 |
| 2 | High-impact Polystyrene | 20 | 1900 | 77 |
| 3 | Acrylonitrile butadine styrene (ABS) | 41 | 2100 | 99 |
| 4 | Acetal (homopolymer) | 66 | 2800 | 115 |
| 5 | Polymide (6/6 nylon) | 70 | 2800 | 93 |
| 6 | Polycarbonate | 64 | 2300 | 130 |
| 7 | Polycarbonate (30%) | 90 | 5500 | 143 |
| 8 | Modified Polyphenylene oxide (PPO) | 58 | 2200 | 123 |
| 9 | Modified PPO (30% talc) | 58 | 3800 | 134 |
| 10 | Polyethylene (40% talc) | 32 | 3300 | 88 |
| 11 | Polyester teraphthalate (30% glass) | 158 | 11000 | 227 |

(3) Tahap *Ejection and Resetting*

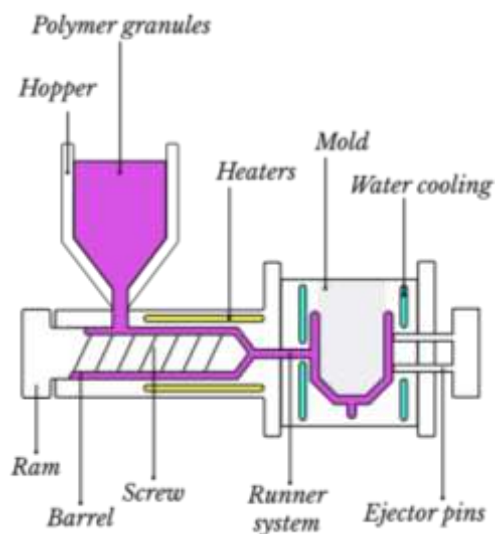
Pada tahapan ini cetakan dibuka, komponen dikeluarkan dan cetakan ditutup lagi dan cetakan siap digunakan untuk proses berikutnya. Pertimbangan besarnya daya yang dibutuhkan untuk memindahkan raw material kedalam cetakan, membuka cetakan dan mengeluarkan produk biasanya dilakukan dengan hidrolik atau perlengkapan mekanik. Siklus *injection molding* diperlihatkan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Siklus *Injection molding*

6.3. SISTEM INJECTION MOLDING

Sistem *Injection Molding* terdiri dari: mesin dan *mold* sebagai pengubah, proses dan pembentuk raw material termoplastik, biasanya berbentuk *pellets* menjadi sebuah komponen sesuai dengan konfigurasi bentuk yang diinginkan. Sistem *Injection Molding* diperlihatkan pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2. Sistem *Injection Molding*

Secara umum sistem injection molding terdiri dari:

1. Unit Injeksi

Unit injeksi mempunyai dua fungsi : (1). mencairkan pelets atau powder (2). menginjeksikan material cair kedalam cetakan. Secara umum tipe dari unit injeksi ada dua: (1). Conventional unit terdiri dari: silinder dan sebuah plunyer yang menekan plastik cair kedalam rongga cetakan, dan (2). *reciprocating screw* unit, terdiri dari silinder dan *screw* yang berputar untuk mencairkan dan merupakan campuran plastik dari *hopper* sampai ujung *screw* dan dipindahkan kedepan untuk menekan cairan masuk kedalam rongga cetakan.

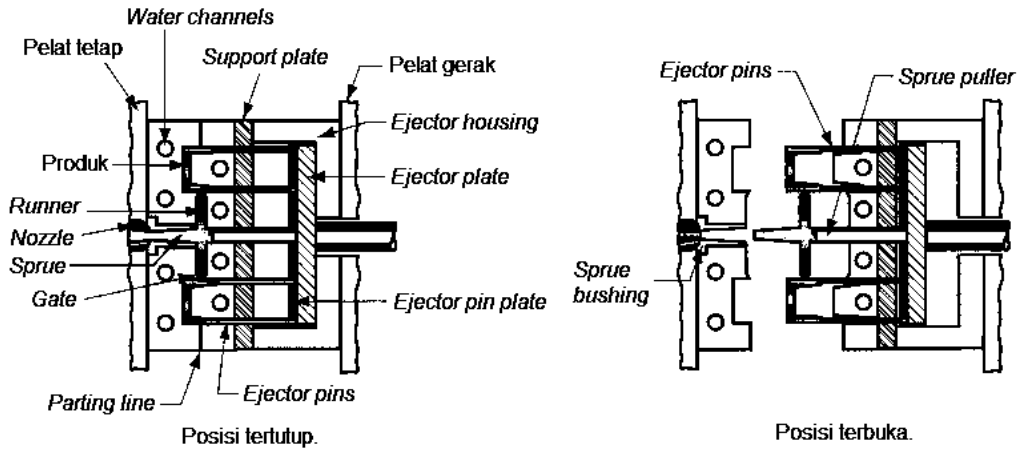
2. Unit *Clamp*

Unit *clamp* mempunyai tiga fungsi: membuka dan menutup sebagian cetakan, mengeluarkan komponen dan menutup cetakan sesuai dengan gaya dan tahanan tekanan cairan didalam cetakan yang telah terisi. Gaya pemegang yang dibutuhkan bervariasi mulai dari 30 - 70 MN/m² dari luas proyek. Tipe umum dari desain *clamp* terdiri dari: (1) *Linkage or toggle clamp*, desain ini menggunakan keuntungan mekanik dari suatu sambungan untuk meningkatkan gaya yang dibutuhkan selama proses injeksi *raw material* kedalam rongga cetakan, *mechanical toggle clamp* dalam proses membuka dan menutup cetakan sangat cepat dan harga yang rendah (2) *Hydraulic clamp* unit, menggunakan tekanan hidrolik untuk membuka dan menutup *clamp* dan meningkatkan gaya yang dibutuhkan untuk memegang cetakan selama proses fase injeksi dari sistem.

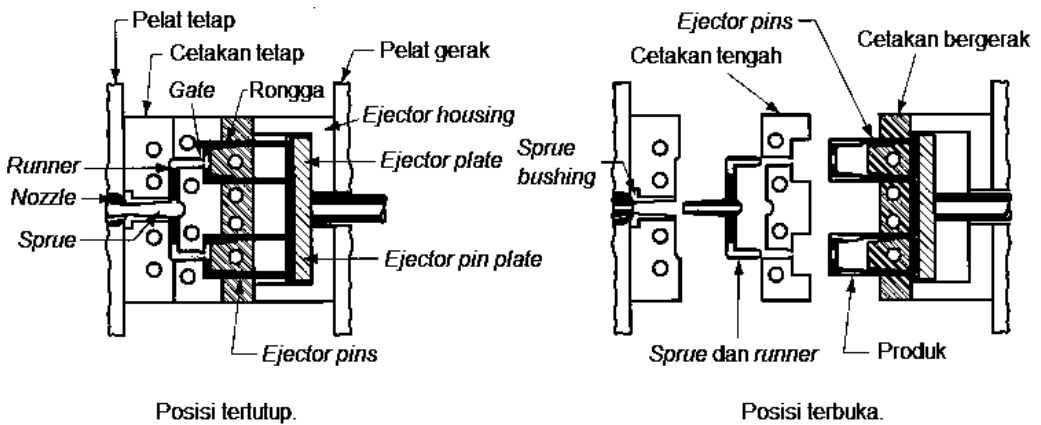
6.4. CETAKAN INJEKSI

Cetakan untuk *injection molding* desainya bervariasi sesuai dengan tingkat kesulitan dan dimensi dan komponen yang akan dihasilkan. Fungsi cetakan pada termoplastik adalah sebagai pembentuk raw material cair seseuai dengan dimensi dan bentuk yang diinginkan kemudian dingin dan membeku sehingga menjadi komponen atau produk. Cetakan dibuat menjadi dua set komponen : (1) *cavity and cores*, dan (2) *base*, dimana *cavity* dan *cores* dipasang.

Secara umum tipe cetakan yang digunakan pada industri adalah : (1) *two plate molds*, terdiri dari dua plat aktif (*cavity and core plates*) ; (2) *three-plate molds*, terdiri dari; (i) *stationary* atau *plat runner*, (ii) *middle* atau *cavity plate* dan (iii) *moveable* atau *core plate*; (3) *side-action molds* ; (4) *unscrew molds*. Cetakan pada proses injection molding pada posisi tertutup dan terbuka pada cetakan dua pelat dan tiga pelat diperlihatkan pada Gambar 6.3 dan 6.4.



Gambar 6.3. Cetakan Dua Pelat



Gambar 6.4. Cetakan Tiga Pelat

BAB VII

PROSES PEMESINAN

Pemesinan adalah proses pembuatan benda kerja dengan perautan, yaitu menghilangkan material yang tidak diinginkan dari benda kerja dalam bentuk *chip*. Jika material benda kerjanya logam maka seringkali dikenal dengan *metal cutting* atau *metal removal*.

7.1. ELEMEN DASAR PROSES PEMESINAN

Berdasarkan gambar teknik, spesifikasi geometri suatu produk atau komponen produk, diperlukan beberapa jenis proses pemesinan yang digunakan untuk menghasilkannya. Kondisi ini dapat dilaksanakan dengan cara menentukan penampang geram (sebelum terpotong). Disamping itu, berbagai kondisi teknologi perlu diperhatikan, seperti kecepatan penghasilan geram yang dipilih sehingga waktu pemotongan sesuai dengan yang direncanakan. Lima elemen dasar proses permesinan, yang perlu diperhatikan sehingga proses pemesinan dapat menghasilkan produk atau komponen sesuai dengan yang diinginkan adalah :

1. Kecepatan potong (*cutting speed*) : V_c (m/min)
2. Kecepatan makan (*feeding speed*) : V_f (mm/min)
3. Kedalaman potong (*depth of cut*) : a (mm)
4. Waktu pemotongan (*cutting time*) : t_c (min), dan
5. Kecepatan penghasilan geram (*rate of metal removal*) : Z (cm³/min)

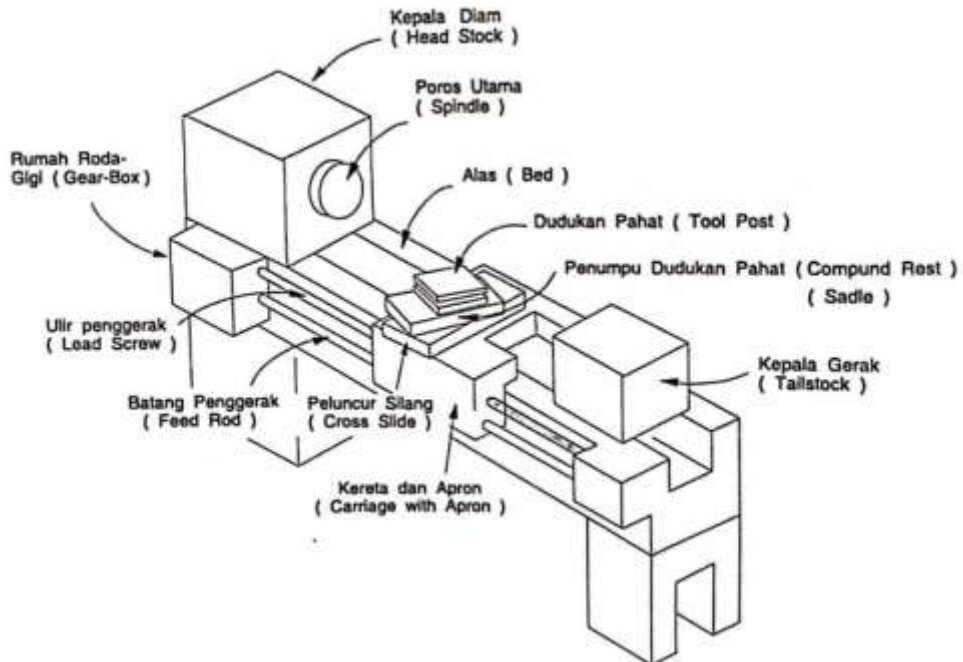
Elemen dasar proses pemesinan (V_c , V_f , a , t_c dan Z) dihitung berdasarkan dimensi benda kerja dan pahat serta parameter proses pemesinan yang digunakan. Parameter proses pemesinan yang digunakan tergantung dari jenis mesin perkakas yang digunakan. Oleh karena itu, persamaan yang digunakan untuk menentukan setiap elemen proses pemesinan disesuaikan berdasarkan mesin perkakas yang digunakan dalam menghasilkan sebuah produk atau komponen.

7.2. PROSES BUBUT (*TURNING*)

Mesin bubut dapat digunakan untuk memproduksi material berbentuk konis maupun silindrik. Jenis mesin bubut yang paling umum adalah mesin bubut (*lathe*) yang melepas bahan dengan memutar benda kerja terhadap pemotong mata tunggal.

Pada proses bubut benda kerja dipegang oleh pencekam yang dipasang di ujung poros utama spindel. Dengan mengatur lengan pengatur yang terdapat pada kepala diam, putaran poros utama (n) dapat dipilih sesuai dengan spesifikasi pahat yang dipilih. Harga putaran poros utama umumnya dibuat bertingkat dengan aturan yang telah distandarkan, misalnya : 83, 155, 275, 550, 1020 dan 1800 rpm. Pada mesin bubut gerak potong dilakukan oleh benda kerja yang melakukan gerak rotasi sedangkan gerak makan dilakukan oleh pahat yang melakukan gerak translasi. Pahat dipasangkan padaudukan pahat dan kedalaman potong (a) diatur dengan menggeserkan peluncur silang melalui roda pemutar (skala pada pemutar menunjukkan selisih harga diameter) dengan demikian kedalaman gerak translasi dan gerak makannya diatur dengan lengan pengatur pada rumah roda gigi. Gerak makan (f) yang tersedia pada mesin bubut dibuat bertingkat dengan aturan yang telah distandarkan.

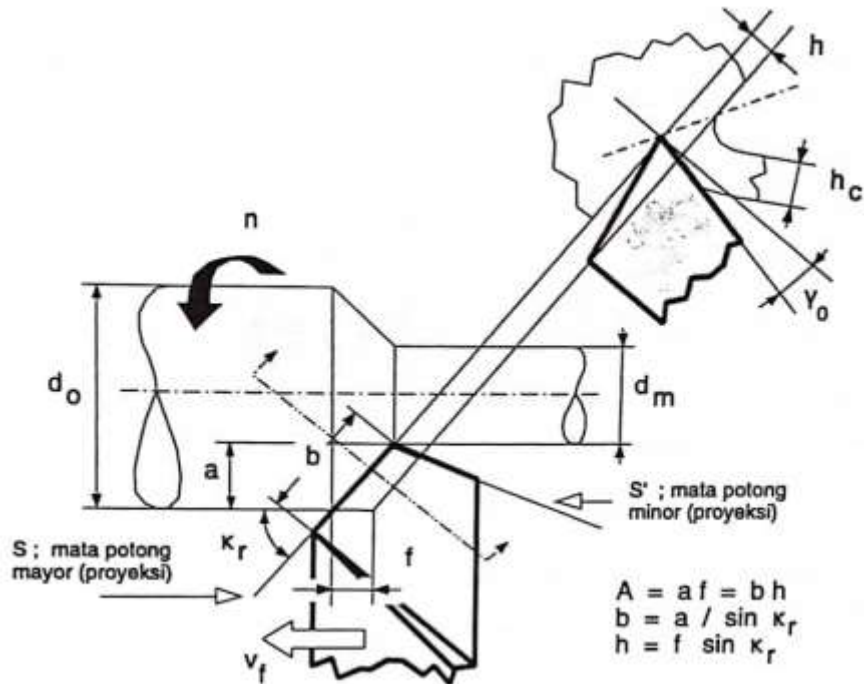
Mesin bubut beserta bagian bagiannya dapat dilihat pada Gambar 7.1 dan Gambar 7.2.



Gambar 7.1 Mesin Bubut

Keterangan gambar :

- Poros utama/ spindle merupakan tempat pemasangan pencekam.
- Lengan pengatur gunanya untuk mengatur harga n yang diinginkan
- *Tool Post* adalah tempat dudukan pahat
- Batang penggerak fungsinya untuk menggerakkan kereta saat melakukan proses bubut
- Ulir penggerak gunanya untuk menggerakkan kereta saat melakukan proses bubut untuk pembuatan ulir.
- Kereta adalah landasan bagi peluncur silang
- Rumah roda gigi adalah tempat lengan pengatur
- Kepala diam adalah tempat terdapatnya poros utama



Gambar 7.2 Proses Bubut

Kondisi pemotongan ditentukan sebagai berikut :

Benda kerja :

d_0 = Diameter mula-mula ; mm.

d_m = Diameter akhir ; mm.

l_t = Panjang proses pemesinan ; mm

Pahat :

κ_r = Sudut potong utama

γ_0 = Sudut geram

Mesin bubut :

a = Kedalaman potong ; mm.

F = Gerak makan ; mm/r.

n = Putaran poros utama (benda kerja) ; r/mm.

- **Jenis Operasi Bubut**

Berdasarkan posisi benda kerja yang ingin dibuat pada mesin bubut, ada beberapa proses bubut yaitu: (1). Pembubutan silindris, (2). Pengerjaan tepi / bubut muka, (3). Bubut Alur, (4). Bubut Ulir, (5). Pemotongan, (6). Meluaskan lubang, (7). Bubut bentuk, (8). Bubut inti dan (9). Bubut konis, diperlihatkan pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3 Proses Pada Mesin Bubut

- **Elemen Dasar Proses Bubut**

Elemen dasar pada mesin bubut terbagi atas :

1. Kecepatan potong (*Cutting speed*)

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad ; \text{ m/min}$$

Dimana, d = diameter rata-rata ,yaitu

$$d = (d_o + d_m) / 2 \quad ; \text{ mm}$$

2. Kecepatan makan (*feeding speed*)

$$V_f = f \cdot n \quad ; \text{ mm/min.}$$

3. Waktu pemotongan (*depth of cut*)

$$t_c = l_t / V_f \quad ; \text{ min.}$$

4. Kedalaman potong (*cutting time*)

$$a = (d_m - d_o) / 2 \quad ; \text{ mm}$$

5. Kecepatan penghasiian geram (*rate of metal removal*)

$$Z = A \cdot V \rightarrow A = f \cdot a \quad ; \text{ mm}^2$$

$$Z = f \cdot a \cdot V_c \quad ; \text{ cm}^3/\text{min}$$

Sudut potong utama (K_r , *Principal cutting edge angle*) merupakan sudut antara mata potong mayor (proyeksinya pada bidang referensi) dengan kecepatan makan V_f . Besarnya sudut tersebut ditentukan oleh geometri pahat dan cara pemasangan pahat pada mesin perkakas (orientasi pemasangannya). Untuk harga a dan f yang tetap maka sudut ini menentukan besarnya lebar pemotongan (b , *width of cut*) dan tebal geram sebelum terpotong (h , *undeformed chip thickness*) sebagai berikut :

a. Lebar pemotongan: $b = a / \sin K_r \quad ; \text{ mm}$

b. Tebal geram sebelum terpotong : $h = f \sin K_r \quad ; \text{ mm}$

Dengan demikian, penampang geram sebelum terpotong dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A = f \cdot a = b \cdot h \quad ; \text{ mm}^2$$

Tebal geram sebelum terpotong (h) belum tentu sama dengan tebal geram setelah terpotong (h_c , *chip thickness*) dan hal ini antara lain dipengaruhi oleh sudut geram (γ_0), kecepatan potong dan material benda kerja.

7.3. PROSES FREIS (*MILLING*)

Mesin freis merupakan mesin yang paling mampu melakukan banyak kerja dari semua mesin perkakas. Permukaan yang datar maupun berlekuk dapat diproses dengan penyelesaian dan ketelitian istimewa. Operasi pada umumnya dilakukan oleh ketam, kempa gurdi, mesin pemotong roda gigi dan mesin peluas lubang dapat dilakukan oleh mesin freis.

Pahat freis mempunyai deretan mata potong pada tepi perkakas potong yang berjumlah banyak (jamak). Bersifat sebagai pemotong tunggal pada daurnya.

• Pengelompokan Mesin Freis

Secara umum mesin freis dapat dikelompokkan atas :

a. Freis tegak (*face milling*)

Pada freis tegak antara sumbu pahat dan benda kerja tegak lurus.

b. Freis datar (*slab milling*)

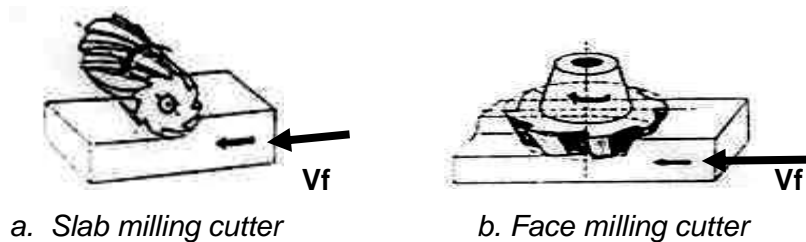
Pada freis datar antara sumbu pahat dan benda kerja sejajar. Freis datar dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Mengefreis turun (*down milling*)
2. Mengefreis naik (*up milling/conventional milling*)

• **Pahat Mesin Freis**

Pahat yang digunakan pada mesin freis (*milling cutter*) dapat dibedakan atas dua macam seperti yang terlihat pada Gambar 7.4 :

1. Pahat freis selubung (*slab milling cutter*), lihat Gambar 7.4a
2. Pahat freis muka (*face milling cutter*), lihat Gambar 7.4b



Gambar 7.4 Jenis pahat pada mesin freis

Pahat freis termasuk pada pahat bermata potong jamak dengan jumlah mata potong sama dengan jumlah gigi freis. Berdasarkan jenis pahat yang digunakan dikenal dua macam cara yaitu :

1. Mengefreis datar dengan sumbu pahat sejajar dengan permukaan benda kerja. Mengefreis datar dibedakan atas dua yaitu :
 - a. Mengefreis turun (*down milling*)

Pada *down milling* gerak rotasi pahat searah dengan gerak translasi benda kerja. Proses turun akan menyebabkan benda kerja lebih tertekan ke meja dan meja terdorong oleh pahat yang mungkin suatu saat (secara periodik) gaya dorongnya akan melebihi gaya dorong ulir atau roda gigi penggerak meja. Apabila sistem kompensasi “keterlambatan gerak bolak balik “ tidak begitu baik maka mengefreis turun dapat menimbulkan getaran bahkan kerusakan. Mengefreis turun tidak dianjurkan untuk permukaan yang terlalu keras (lihat Gambar 7.5).



Gambar 7.5 Jenis Pahat *Down Milling*

b. Mengefreis naik (*up milling*)

Pada up milling gerak rotasi pahat berlawanan arah dengan gerak translasi benda kerja. Mengefreis naik dipilih karena alasan kelemahan mengefreis turun. Mengefreis naik cepat mempercepat keausan pahat karena mata potong lebih banyak menggesek benda kerja yaitu saat mulai pemotongan, selain itu permukaan benda kerja lebih kasar (lihat Gambar 7.6).

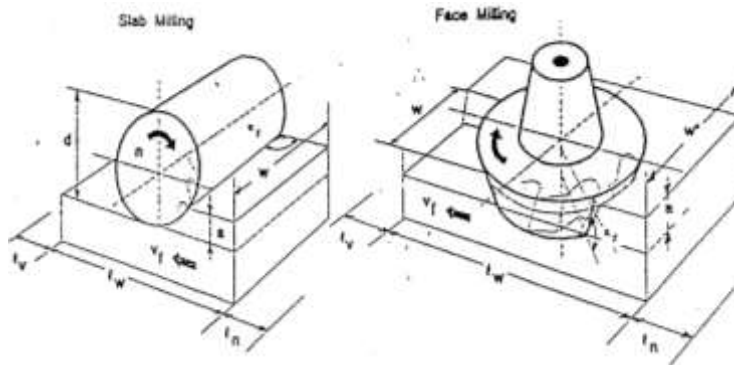


Gambar 7.6 Jenis Pahat *up Milling*

2. Mengefreis tegak

Mengefreis tegak (*face milling*) dengan sumbu putaran pahat freis muka tegak lurus permukaan benda kerja (lihat Gambar 7.7). Cara membedakan pahat *up milling* dengan *down milling* adalah :

- a. Dengan melihat arah buangan geramnya.
- b. Dengan melihat arah putaran dari pahat tersebut.



Gambar 7.7 Proses freis datar dan freis tegak

- **Jenis Pemotong Pada Mesin Freis**

Jenis pemotongan pada mesin freis adalah sebagai berikut :

1. Pemotong freis biasa

Merupakan sebuah pemotong berbentuk piringan yang hanya memiliki gigi pada sekelilingnya.

2. Pemotong freis samping.

Pemotong ini mirip dengan pemotong datar kecuali bahwa giginya di samping.

3. Pemotong gergaji pembelah logam.

Pemotong ini mirip dengan pemotong freis datar atau samping kecuali bahwa pembuatannya sangat tipis, biasanya 5 mm atau kurang.

4. Pemotong freis sudut.

Ada dua pemotong sudut yaitu pemotong sudut tunggal dan pemotong sudut ganda. Pemotong sudut tunggal mempunyai satu permukaan kerucut, sedangkan pemotong sudut ganda bergigi pada dua permukaan kerucut. Pemotong sudut digunakan untuk memotong lidah roda, tanggem, galur pada pemotong freis, dan pelebar lubang.

5. Pemotong freis bentuk

Gigi pada pemotong ini merupakan bentuk khusus. Termasuk didalamnya adalah pemotong cekung dan cembung, pemotong roda gigi, pemotong galur, pemotong pembulat sudut, dsb.

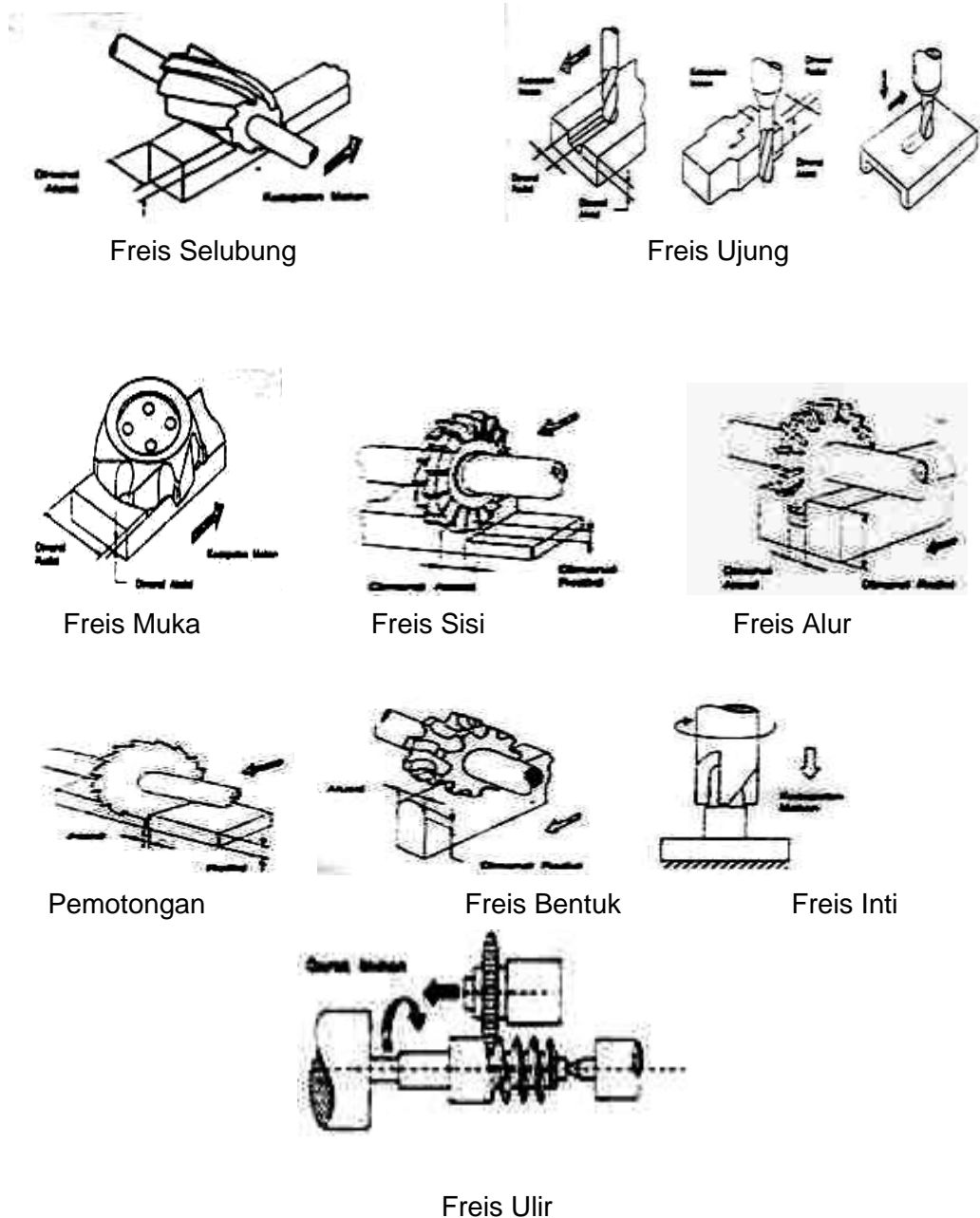
6. Pemotong proses ujung.

Pemotong ini mempunyai poros integral untuk menggerakkan dan mempunyai gigi dikeliling dan ujungnya.

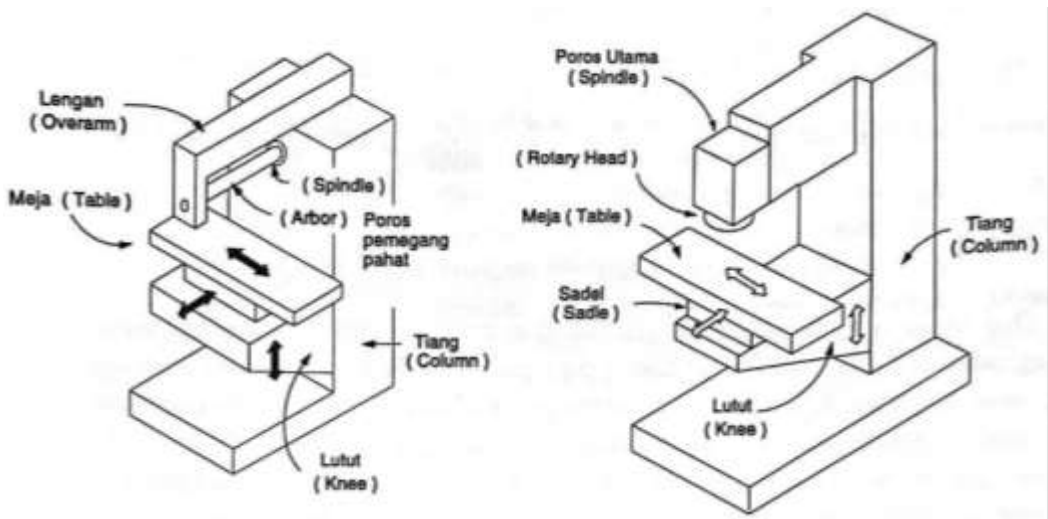
7. Pemotong T-slot.

Pemotong jenis ini menyerupai pemotong jenis datar kecil atau freis samping yang memiliki poros integral lurus atau tirus untuk penggerakan.

Jenis operasi yang dapat dilakukan pada mesin freis dan komponen utama mesin freis dapat dilihat pada Gambar 7.8 dan Gambar 7.9.



Gambar 7.8 Proses yang dapat dilakukan pada mesin freis



Gambar 7.9 Mesin Freis

Elemen dasar dari proses freis dapat diketahui atau dihitung dengan menggunakan rumus yang dapat diturunkan dari kondisi pemotongan yang ditentukan berdasarkan: (1). Benda kerja, (2). Pahat freis dan (3) Mesin freis yang digunakan.

Benda kerja : w = lebar pemotongan
 lw = panjang pemotongan
 a = kedalaman potong

Pahat freis : d = diameter luar
 z = jumlah gigi (mata potong)
 k_r = sudut potong utama
 = 90° untuk pahat freis selubung.

Mesin freis : n = putaran poros utama
 V_f = kecepatan makan

Elemen dasar pada mesin freis dapat dihitung dengan rumus berikut :

1. Kecepatan potong

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad ; \text{ m/min} \qquad 7.1$$

2. Gerak makan pergigi

$$f_z = V_f / (z n) \quad ; \text{ mm/(gigi)} \quad 7.2$$

3. Waktu pemotongan

$$t_c = l_t / V_f \quad ; \text{ min} \quad 7.3$$

dimana :

$$l_t = l_v + l_w + l_n \quad ; \text{ mm,}$$

$$l_v = \sqrt{a(d - a)} \quad ; \text{ untuk mengefreis datar,}$$

$$l_v \geq 0 \quad ; \text{ untuk mengefreis tegak,}$$

$$l_n \geq 0 \quad ; \text{ untuk mengefreis datar,}$$

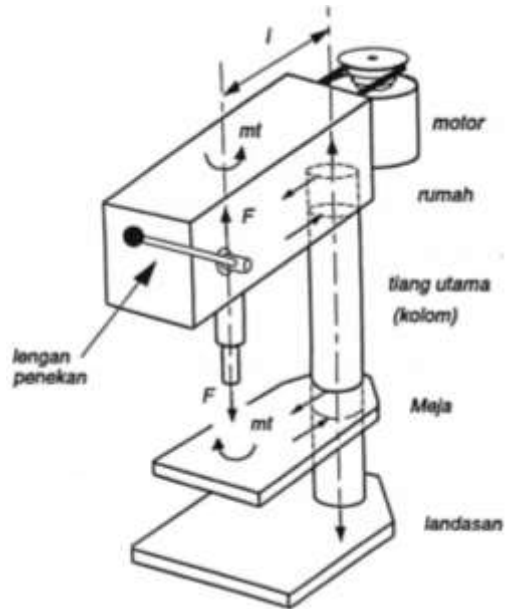
$$l_n = d / 2 \quad ; \text{ untuk mengefreis tegak}$$

4. Kecepatan menghasilkan geram

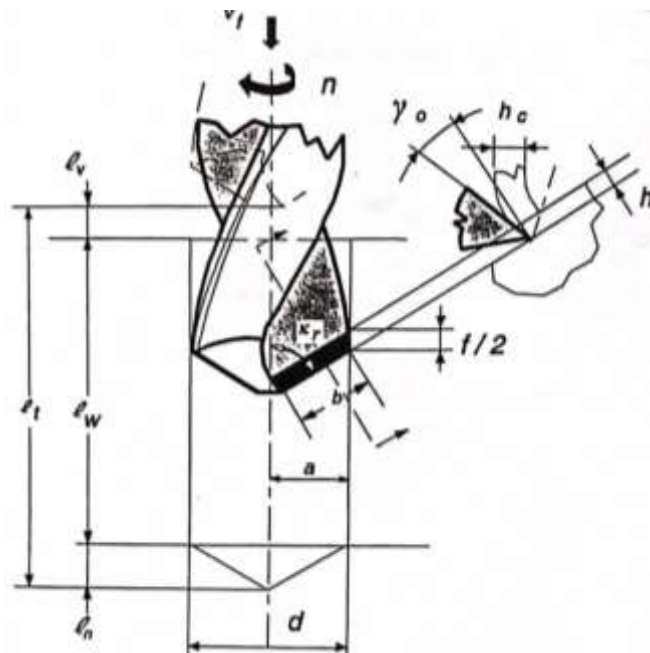
$$Z = \frac{V_f . a . w}{1000} \quad ; \text{ cm}^3 / \text{min} \quad 7.4$$

7.4. PROSES GURDI (*DRILLING*)

Proses gurdi merupakan proses pembuatan lubang pada sebuah objek dengan menekan sebuah gurdi berputar kepada benda kerja. Pahat gurdi mempunyai dua mata potong dan melakukan gerak potong berupa putaran pada poros utama mesin gurdi. Putaran tersebut dapat dipilih dari beberapa tingkatan putaran yang tersedia pada mesin gurdi. Komponen utama mesin gurdi dan proses gurdi diperlihatkan pada Gambar 7.10 dan 7.11.



Gambar 7.10 Mesin Gurdi



Gambar 7.11 Proses Gurdi

Benda kerja :

l_w = panjang pemotongan benda kerja ; mm

Pahat gurdi :

d = diameter gurdi ; mm

K_r = sudut potong utama
= $\frac{1}{2}$ sudut ujung (*point angle*)

Mesin gurdi :

n = putaran poros utama ; (r)/min

V_f = kecepatan makan ; mm/min

Elemen dasar dapat dihitung dengan rumus berikut ;

1. Kecepatan potong :

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad ; \text{ m/min} \quad 7.5$$

2. Gerak makan permata potong:

$$f_z = \frac{V_f}{z \cdot n} \quad ; \text{ mm/r} \quad 7.6$$

3. Kedalaman potong:

$$a = d/2 \quad ; \text{ mm} \quad 7.7$$

4. Waktu pemotongan:

$$t_c = l_t / V_f \quad ; \text{ min} \quad 7.8$$

dimana:

$$l_t = l_v + l_w + l_n \quad ; \text{ mm}$$

$$l_n = (d/2) \tan K_r \quad ; \text{ mm}$$

5. Kecepatan penghasilan geram:

$$Z = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot V_f}{4 \cdot 1000} \quad ; \text{ cm}^3/\text{m} \quad 7.9$$

7.5. PROSES SEKRAP (*SHAPING / PLANING*)

Proses sekrap hampir sama dengan proses membubut, tapi gerak potongnya tidak merupakan gerak rotasi melainkan gerak translasi yang dilakukan oleh pahat (pada mesin sekrap) atau oleh benda kerja (pada mesin

sekrap meja). Benda kerja dipasang pada meja dan pahat (mirip dengan pahat bubut) dipasangkan pada pemegangnya.

Mesin sekrap pada umumnya digunakan untuk :

- a. perataan permukaan
- b. memotong alur pasak luar dan dalam
- c. alur spiral
- d. batang gigi

- **Pengelompokkan Mesin Sekrap**

Mesin sekrap dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Pemotong dorong horizontal
 - a) Biasa (pekerjaan produksi)
 - b) *Universal* (pekerjaan ruang perkakas)
2. Pemotong tarik horizontal
3. Vertikal
 - a) Pembuat celah (*slotter*)
 - b) Pembuat dudukan pasak (*key skater*)

Kegunaan khusus dari mesin sekrap misalnya untuk memotong roda gigi caranya adalah daya ditransmisikan dengan menggunakan motor tersendiri, baik melalui roda gigi maupun sabuk atau dengan penggunaan sistem hidrolik. Penggerak bolak balik pahat dapat diatur dengan menggunakan lengan osilasi dan mekanisme engkol.

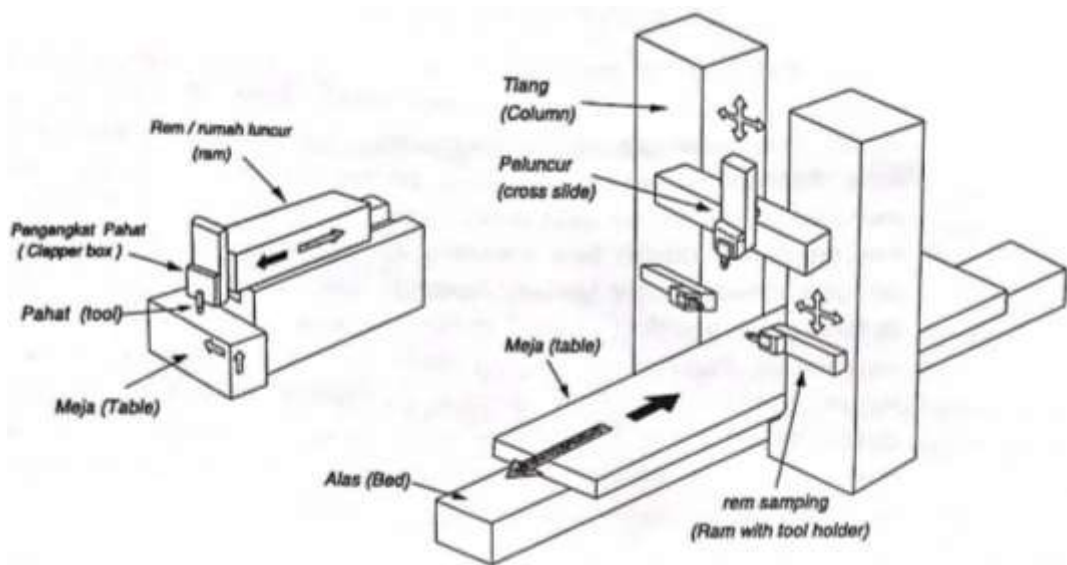
Mesin sekrap terbagi dua macam, yaitu:

- a. Mesin Sekrap Meja (*planner*)

Pada sekrap meja, meja bergerak bolak-balik sedangkan pahat diam. Mesin sekrap meja dan komponen-komponenya dipelihatkan pada Gambar 7.12a.

- b. Mesin Sekrap (*shaping*)

Pada mesin sekrap pembentuk (*shaper*), pahat bergerak bolak-balik, sedangkan benda kerja diam, jenis mesin sekrap *shaper* dan komponen-komponen dari mesin sekrap diperlihatkan pada Gambar 7.12b



a. Mesin Sekrap *Planner*

b. Mesin Sekrap *Shaper*

Gambar 7.12 Jenis Mesin Sekrap

BAB. VIII

KOMPOSIT

Material komposit menjadi material yang penting dalam dasawarsa terakhir ini karena sifat-sifatnya yang khusus. Sifat tersebut diantaranya adalah kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi dan bobot yang lebih ringan. Material komposit banyak digunakan dalam industri pertambangan, otomotif, alat-alat olah raga dan perkapalan.

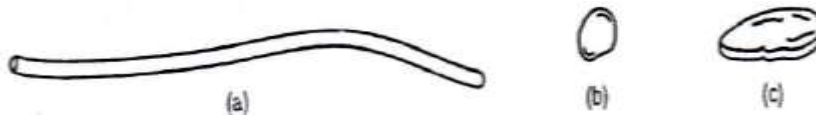
Secara umum material komposit didefinisikan sebagai material yang tersusun dari dua atau lebih material dalam bentuk komposisi kimia serta tidak saling melarutkan sehingga masing-masingnya mempertahankan keutuhan (integritasnya). Komponen penyusun yang paling utama adalah penguat, dimana pada saat pembebanan penguat berfungsi sebagai penahan beban, sedangkan matrik mendistribusikan ke seluruh bagian komposit.

8.1. PENGUAT (*REINFORCEMENT*)

Sifat dari material komposit tergantung dari penguat yang digunakan pada matriks pengikat, dengan demikian sifat mekanik yang dimiliki oleh material komposit merupakan representasi dari kekuatan serat penguat yang digunakan dalam menghasilkan material komposit.

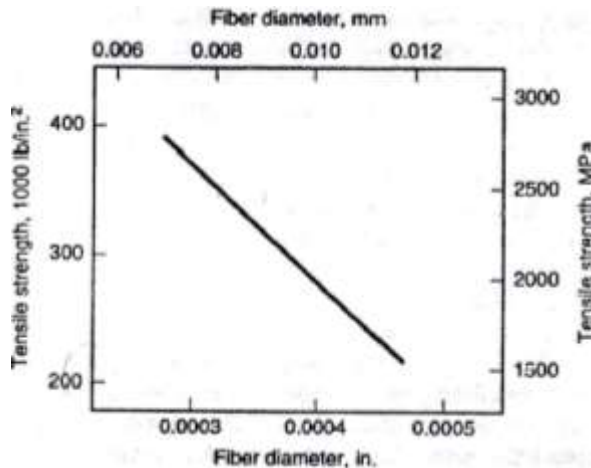
8.1.1. Serat

Serat adalah filamen dari material penguat, biasanya penampangnya sirkular (bulat), meskipun ada bentuk lain, misalnya tubular, rektanguler atau (heksagonal). Diameter serat biasanya berkisar kurang dari 0,0025 mm sampai dengan sekitar 0,13 mm tergantung pada material seratnya. Bentuk serat yang sering digunakan pada material komposit diperlihatkan pada Gambar 8.1.

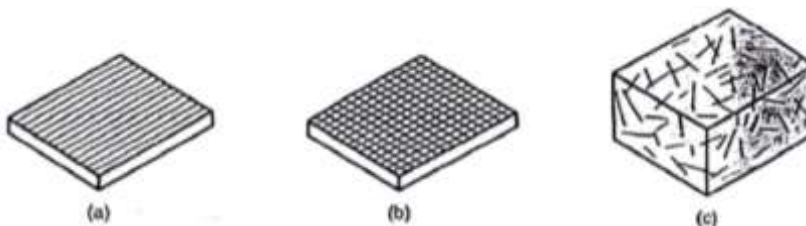


Gambar 8.1. Bentuk fisik dari penguat material komposit terdiri dari :
 (a) *fiber*, (b) *particle* dan (c) *flake*

Penguat serat berpotensi untuk meningkatkan kekuatan material komposit yang dihasilkan. Dalam komposit, serat penguat dianggap menjadi unsur penting karena ia menanggung beban terbesar. Pengaruh diameter serat terhadap kekuatan tarik diperlihatkan pada Gambar 8.2, sedangkan orientasi dari serat dalam bahan matrik diperlihatkan pada Gambar 8.3.



Gambar 8.2. Hubungan antara *tensile strength* dan *fiber diameter*



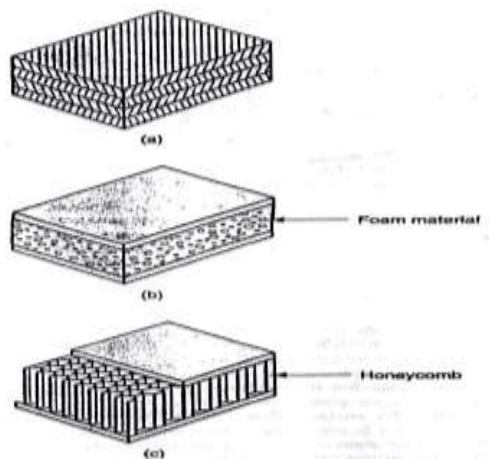
Gambar 8.3. Orientasi serat pada material komposit, (a). *One-dimensional, continous tiber* (b). *planar (continous fiber* berbentuk anyaman), (c). *random, discontinous fiber*

8.1.2. Partikel

Bentuk umum kedua dari penguat adalah partikel, yang ukurannya berkisar antara mikroskopik sampai makroskopik. Mekanisme penguatan tergantung kepada ukuran partikel. Ukuran mikroskopik digambarkan dengan bubuk halus ($<1 \mu\text{m}$) yang tersebar di dalam matrik dengan konsentrasi 15% atau kurang. Dengan adanya bubuk ini mengakibatkan pengerasan pada matrik dibatasi oleh partikel-partikel mikroskopik. Jika ukuran partikel meningkat sampai kisaran makroskopik ($>1 \mu\text{m}$) dan proporsi material di dalam matriks meningkat sekitar 25% atau lebih, maka mekanisme penguatannya akan berubah. Dalam kasus ini, beban yang dialami terdapat diantara matrik dan penguat. Penguatan terjadi akibat kemampuan memikul beban pada partikel dan ikatan partikel dalam matrik.

8.2. STRUKTUR KOMPOSIT LAMINAR

Material komposit dihasilkan dengan menggabungkan lapisan-lapisan bahan yang disebut *laminata*. Lapisan-lapisan *laminata* dihasilkan berdasarkan orientasi *fiber* atau dapat terdiri dari bahan yang berbeda, *plywood* (triplek) merupakan contoh dari *laminata*. Struktur komposit laminar diperlihatkan pada Gambar 8.4.



Gambar 8.4. Struktur Komposit laminar : (a) *conventional laminar structure*, (b) *sandwich, structure using a foam core*, (c) *honeycomb sandwich structure*

8.3. MATRIKS

Matrik berfungsi sebagai pengikat serat pada material komposit. Secara umum matrik yang digunakan adalah polimer. Pemilihan dari masing-masing matrik sangat tergantung pada sifat-sifat yang akan dimiliki oleh material komposit yang akan dihasilkan.

(1). Polimer

Polimer adalah senyawa molecular besar berbentuk jaringan yang tersusun dari gabungan ribuan hingga jutaan unit pembangun yang berulang. Plastik pembungkus, botol plastik, dan pipa paralon termasuk material yang disebut polimer. Unit kecil berulang yang membangun polimer disebut monomer. Sebagai contoh polipropilene (PP) adalah polimer yang tersusun dari monomer propena.

(2). Sifat mekanik polimer

Sifat mekanik bahan polimer adalah khas dengan kekakuan viskoelastiknya yang dominan. Sebagai contoh pemelaran (*creep*) dan relaksasi mudah terjadi, dan pada pengujian tarik sifat-sifatnya sangat dipengaruhi oleh laju tarikan. Sifat-sifatnya juga berubah karena temperatur, oleh karena itu perlu perhatian yang cukup setelah penggunaan bahan polimer.

Yang harus diperhatikan dalam menggunakan bahan polimer seperti pada sifat-sifat mekaniknya adalah :

- (1) Sifat-sifatnya sangat berubah karena temperatur, kadang-kadang berbeda banyak meskipun dalam daerah temperatur yang relatif rendah. Karena ketahanan panasnya berubah, maka bahan polimer perlu diperhatikan dalam penggunaan pada temperatur tinggi.
- (2) Bahan harus dipilih secara hati-hati, karena beberapa diantaranya mempunyai ketahanan impaknya kecil.
- (3) Bagi bahan yang tidak tahan leleh, polimer tidak tahan terhadap kombinasi beban antara penekanan dan penarikan.
- (4) Apabila dicelupkan kedalam minyak, pelarut, beberapa bahan tahan untuk waktu singkat, tetapi apabila disertai tegangan dapat terjadi retak dan akhirnya putus.

- (5) Regangan sisa pada saat pencetakan terjadi pada waktu pemanasan, mudah menyebabkan retak.

8.4. PROSES PRODUKSI KOMPOSIT

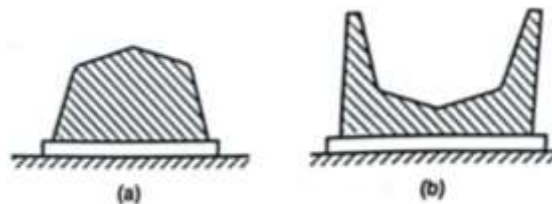
Proses produksi material komposit sama dengan proses produksi material lain jika ditinjau dari cetakan yang digunakan, dimana material komposit dalam memproduksi produk dapat menggunakan cetakan terbuka ataupun cetakan tertutup.

8.4.1. Proses produksi cetakan tertutup

Cetakan tertutup digunakan jika produk yang akan dihasilkan memerlukan keakuratan dimensi dan kehalusan permukaan yang tinggi dan untuk produk yang akan diproduksi secara massal, namun tidak tertutup kemungkinan untuk produk khusus, dimana bentuk dimensi berbeda. Konsekuensi dari penggunaannya adalah harga produk akan menjadi lebih mahal jika dibandingkan dengan harga produk yang diproduksi menggunakan cetakan terbuka.

8.4.2. Proses produksi cetakan terbuka

Perbedaan bentuk dari cetakan terbuka pada proses pembentukan *fiber reinforced polymers* (FRP) adalah pemakaian permukaan cetakan positif atau negatif untuk memproduksi struktur lapisan FRP. Nama lain untuk proses cetakan terbuka termasuk *contact lamination* dan *contact molding*. Bahan awal (*resin, fiber, mats, woven rovings*) digunakan untuk permukaan cetakan, untuk membentuk ketebalan yang diinginkan. Keuntungan dari penggunaan cetakan terbuka adalah biaya cetakan lebih murah dibandingkan dengan menggunakan cetakan tertutup yang terdiri dari dua bagian. Tipe cetakan terbuka diperlihatkan pada Gambar 8.5.



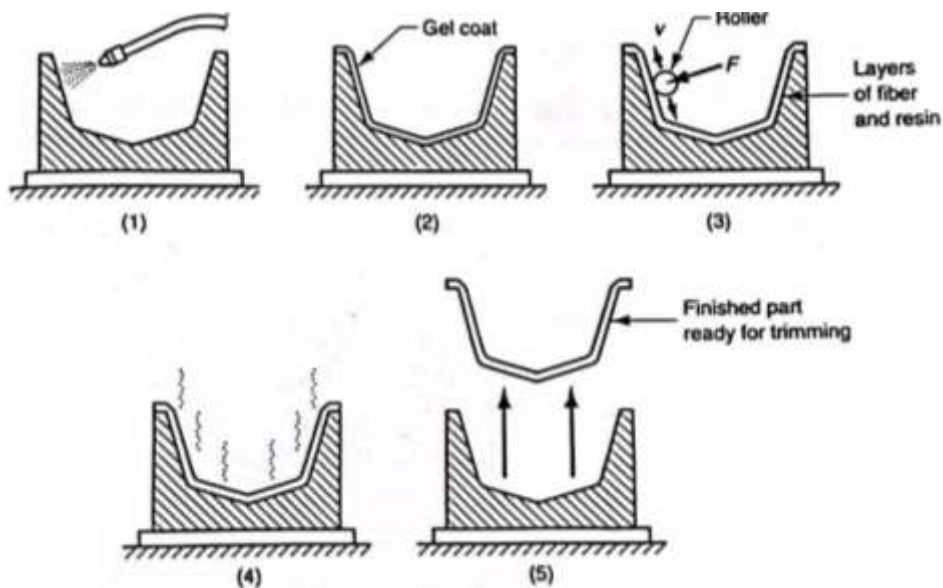
Gambar 8.5. Tipe cetakan terbuka : (a) positif, (b) Negatif

Beberapa contoh dari penggunaan cetakan terbuka yang umum digunakan pada proses produksi komposit adalah:

1. *Hand lay – up*

Hand Lay Up adalah salah satu dari jenis cetakan terbuka yang telah digunakan pada awal tahun 1940 untuk membuat lambung kapal. *Hand lay up* adalah metode pembentukan dimana lapisan resin dan reinforcement berturut- turut secara manual dilakukan untuk membentuk struktur lapisan *Fiber Reinforcement polimer*.

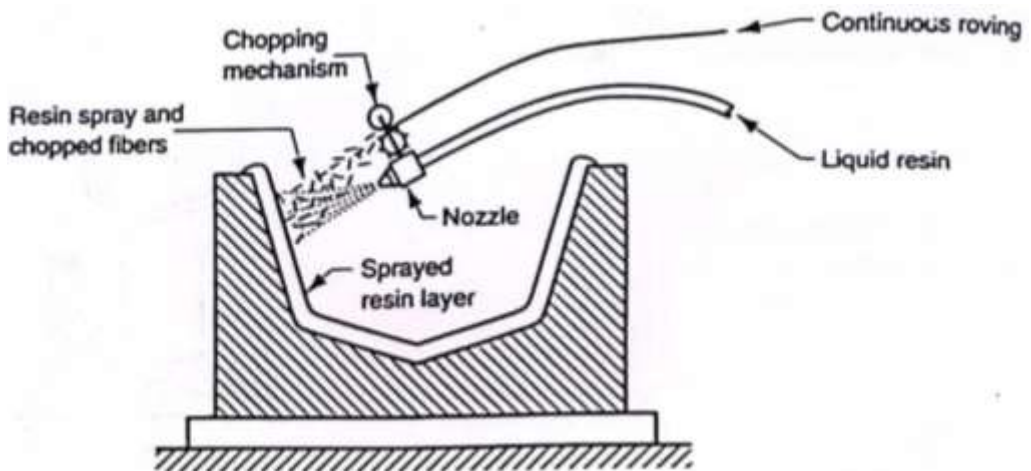
Proses *hand lay-up* terdiri dari lima tahapan, yaitu (1). cetakan yang sudah disiapkan dan dibersihkan dengan menggunakan *release agent*, (2). cetakan diberi lapisan tipis (resin, untuk memberi warna) yang akan menjadi lapisan luar cetakan (3) diberikan lapisan resin dan fiber secara berturut-turut dengan memberikan tekanan pada lapisan resin untuk menghilangkan gelembung udara, (4) proses *curing*. (5) produk yang telah mengeras dikeluarkan dari cetakan (lihat gambar 8.6)



Gambar 8.6. *Open mold, hand lay-up fabrication*

2. *Spray-up*

Spray-up menunjukkan suatu usaha memekanisasikan aplikasi lapisan resin-serat dan merrgurangi waktu selama proses *spray-up*. Ini merupakan alternatif untuk langkah (3) dalam prosedur *hand lay-up*. Dalam metoda *spray-up*, resin cair dan serat terpotong disemprotkan pada *open mold* untuk membentuk laminasi *FRP* berurut, seperti pada Gambar 8.7 dibawah ini.



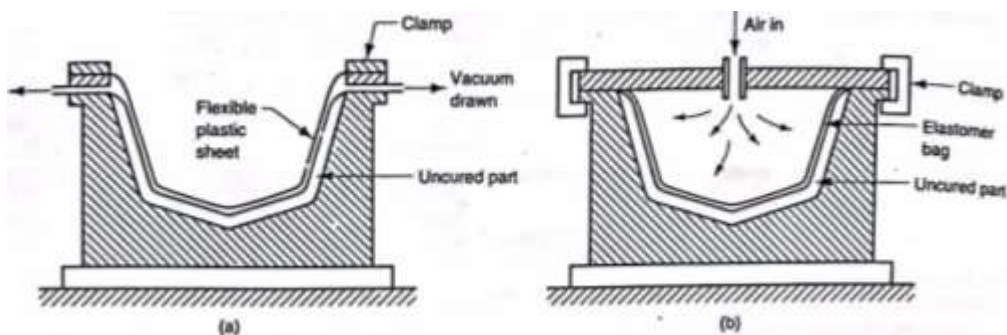
Gambar 8.7 *Spray-up fabrication*

Spray-gun (alat penyemprot) dilengkapi dengan mekanisme pemotong yang diumpan *continuous roving* dan memotongnya menjadi serat-serat dengan panjang 1- 3 in (25 - 75 mm) yang ditambahkan pada aliran resin saat ia keluar dari rongga pipa (*nozzle*). Produk yang terbuat dengan metode *spray-up* meliputi lambung boat, bak mandi, *shower stall* (kamar mandi), part body truk dan mobil, komponen kendaraan rekreasi, perabot panel struktural besar, dan kontainer. Produk yang terbuat dari metode *spray-up* telah mengorientasi secara acak dengan serat-serat pendek, maka produk tersebut tidak sekuat dengan yang dibuat dengan *lay-up*, dimana seratnya kontinu dan terarah.

3. Vacuum Bag molding

Istilah *bag molding* meliputi dua proses alternatif dimana dengan cara ini tekanan yang digunakan untuk mencairkan resin pada cetakan supaya dapat menyatukan laminar. Ada dua metode yang digunakan (a) *vacuum bag molding* dan (b) *pressure bag molding*, yang terlihat pada gambar 8.8. Dalam *vacuum bag molding*, suatu plat plastik yang fleksibel digunakan untuk menutupi bagian setelah *lay - up* atau *spray - up*. Pinggirannya dirapatkan dan *vacuum* ditarik untuk menekan *bag* terhadap bagian yang terlaminsi selama proses *curing*. Keterbatasan teknik *vacuum bag molding* pada tekanan maksimum terhadap komponen adalah 1 atm.

Dalam *bag molding* tekanan udara digunakan untuk memompa *elastomer bag* terhadap bagian komponen selama proses *curing* berlangsung. Panas ditambahkan kedalam dua prosedur tersebut untuk mempercepat proses *curing*.



Gambar 8.8. Vacuum bag dan pressure bag molding

4. Curing

Curing (langkah 4) diperlukan untuk semua material resin thermoset yang digunakan untuk menghasilkan material komposit. Ada tiga parameter yang digunakan, yaitu *curing time*, *curing temperature*, dan *curing pressure*.

8.5. KOMBINASI CAMPURAN

Sifat dari material komposit yang terdiri dari (resin dan serat) merupakan fungsi dari sifat material yang akan dihasilkan. Disamping itu sifat

dari material komposit yang terdiri dari (resin dan serat) dapat dihitung dengan menggunakan kombinasi campuran yang melibatkan penjumlahan masa rata-rata dari sifat mekanik material yang digunakan. Masa material komposit (M_c) merupakan penjumlahan dari masa matriks (m_m) dan masa penguat (m_r). Persamaan 8.1 sd 8.3 digunakan untuk menentukan masa, volume dan densiti dari material komposit yang dihasilkan.

$$M_c = m_m + m_r \quad 8.1$$

dimana:

m = masa, lb (kg)

c, m, r = paduan (serat dan resin), matriks, reinforcement

Volume dari material komposit (V_c) merupakan penjumlahan dari:

$$V_c = V_m + V_r + V_v \quad 8.2$$

Dimana :

V = Volume, in³ (cm³)

V_v = Volume beberapa cacat paduan, seperti voids yang terbentuk

Densiti dari paduan (serat dan resin) dapat dihitung dengan persamaan berikut

:

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_r \rho_r \quad 8.3$$

dimana:

f_m = Volume fraksi matriks

f_r = Volume fraksi penguat

BAB. IX

SISTEM PRODUKSI TERDISTRIBUSI-MANDIRI

Sejak digunakannya mesin perkakas dalam produksi untuk menggantikan tenaga manusia, teknologi produksi telah mengalami beberapa tahap perkembangan. Tahap penerapan otomasi dalam teknologi produksi telah melahirkan mesin perkakas *computer numerical control* (CNC), robot industri, dan sebagainya. Tahap pengintegrasian ini telah melahirkan sistem *direct numerical control* (DNC). Sedangkan penerapan konsep fleksibilitas yang merupakan tahap perkembangan lebih lanjut telah memperkenalkan *Flexible Manufacturing System* (FMS).

Perkembangan dari sistem DNC ke FMS adalah untuk menghadapi tuntutan akan umur produk yang semakin singkat, ukuran lot dalam produksi yang semakin kecil, dan semakin banyaknya variasi produk yang harus dibuat. FMS telah menjanjikan kompromi antara fleksibilitas di satu pihak dengan produktivitas dan otomasi di pihak lain.

Penelitian tentang sistem manufaktur saat ini banyak dilakukan pada *Intelligent Manufacturing Systems* (IMS). IMS mempunyai kemampuan yang belum dimiliki oleh FMS, yaitu kemampuan untuk mengatasi adanya kesalahan atau penyimpangan dalam proses produksi. Sedangkan sistem manufaktur di masa mendatang, selain memiliki kemampuan-kemampuan di atas, dituntut pula mempunyai tingkat otonomi yang tinggi sehingga kebutuhan akan tenaga operator dalam produksi dapat terus diturunkan. Usaha pengurangan tenaga operator dalam produksi secara bertahap sampai dapat dihilangkan semuanya akan terus dilakukan untuk mewujudkan konsep, pabrik tanpa pekerja.

Sebagai salah satu alternatif sistem manufaktur di masa mendatang diperkenalkan Sistem Produksi Terdistribusi Mandiri (SPTM) yang diharapkan dapat meningkatkan fleksibilitas dalam produksi dan mempunyai kemampuan menyesuaikan diri terhadap kondisi produksi yang tidak terprediksi sebelumnya.

9.1. PERUBAHAN DINAMIS KONDISI PRODUKSI

Sebelum membahas SPTM perlu pemahaman terhadap perubahan dinamis pada kondisi produksi yang merupakan permasalahan bagi sistem manufaktur. Dua hal yang berhubungan erat dengan perubahan kondisi produksi adalah *event* dan aktivitas. Perubahan kondisi produksi hanya berlangsung apabila terjadi *event*. Atau dengan kata lain *event* adalah perubahan kondisi dalam produksi, sedangkan aktivitas berhubungan dengan selang waktu di antara dua *event*. Dalam suatu aktivitas akan selalu ada dua *event*, masing-masing ialah *event* saat dimulainya aktivitas dan *event* saat aktivitas tersebut berakhir. Sering kali *event* saat berakhirnya aktivitas merupakan *event* saat dimulainya aktivitas berikutnya.

Pada sistem manufaktur *event* juga dapat dibedakan menjadi dua yaitu *event* yang dapat diramalkan kapan akan terjadi (teramal) dan *event* yang tidak dapat diramalkan kapan terjadinya. *Event* yang teramalkan kejadiannya yang berhubungan dengan produk/benda kerja meliputi, akhir operasi pengerjaan, kedatangan order normal yang teramal dan sebagainya. Sedangkan yang tidak teramal antara lain, kedatangan order dengan prioritas tinggi atau order normal yang tidak teramal. *Event* yang teramal kejadiannya yang berhubungan dengan peralatan produksi antara lain yaitu, akhir operasi (pemesinan, transportasi dan peralatan), instalasi baru, akhir perbaikan, dan perawatan. Sedangkan yang tidak teramal antara lain meliputi, kerusakan peralatan, *power failures*, keterlambatan operasi dan sebagainya.

Jenis *event* yang perlu diperhatikan adalah *event* yang tidak teramal kapan terjadinya, terutama pada usaha peningkatan fleksibilitas sistem manufaktur. *Event-event* ini memerlukan penanganan khusus yang berbeda dengan kondisi normal. Sistem manufaktur harus mempunyai kemampuan untuk menangani *event-event* ini dengan cepat agar proses produksi dapat tetap berjalan dengan normal walaupun ada kejadian yang tidak teramalkan sebelumnya. Kemampuan untuk dengan cepat mengatasi adanya *event* yang tidak teramal inilah yang sering diartikan sebagai kemampuan sistem produksi untuk menyesuaikan diri terhadap gangguan. Oleh sebab itu dirasa perlu untuk mengembangkan konsep sistem produksi baru serta metoda baru. Pada bab ini akan diterangkan metoda-metoda baru untuk *scheduling* dan perencanaan

proses, terutama untuk produksi secara *Job shop* sesuai dengan tuntutan pada sistem produksi yang mengarah ke jenis produksi.

9.2. KONSEP DASAR SPTM

Konsep dasar dari sistem produksi terdistribusi mandiri (SPTM) secara ringkas dapat dinyatakan dalam tiga karakteristik berikut.

1) Pemberian otonomi pada elemen produksi

Setiap elemen produksi diberi otonomi untuk melakukan fungsi monitoring, pengambilan keputusan, pengendalian, dan fungsi komunikasi. Fungsi monitoring digunakan untuk mengetahui status dirinya. Fungsi pengambilan keputusan digunakan untuk menentukan proses produksi yang paling sesuai dilakukan berdasarkan kriteria yang dimiliki dan status dirinya. Fungsi pengendalian digunakan untuk mengendalikan dirinya sendiri dalam melaksanakan operasi produksi. Sedangkan fungsi komunikasi digunakan untuk menginformasikan data pada elemen produksi lainnya tentang status dan hasil pengambilan keputusan.

2) Pendistribusian tugas pada elemen produksi

Penyelesaian masalah yang dihadapi oleh sistem manufaktur dilakukan secara terdistribusi oleh elemen-elemen produksi yang masing-masing mempunyai otonomi seperti dijelaskan pada point 1. Oleh karena SPTM merupakan suatu sistem terdistribusi, maka tidak terdapat pusat pengendali yang secara langsung mengendalikan aktivitas elemen produksi. Masing-masing elemen produksi akan mendukung penyelesaian masalah produksi yang ada sesuai dengan kemampuannya.

3) Pengkoordinasian hasil pengambilan keputusan

Misalnya pada kasus penjadwalan, karena setiap elemen produksi dapat melakukan pengambilan keputusan secara mandiri (otonom). Setiap cell/pemesinan dapat memilih operasi pemesinan yang sesuai yang mampu dilakukannya, dan menentukan waktu mulai serta waktu penyelesaian dari operasi pemesinan tersebut. Setiap peralatan transportasi dapat merencanakan operasi transportasi yang sesuai. Demikian pula setiap lot

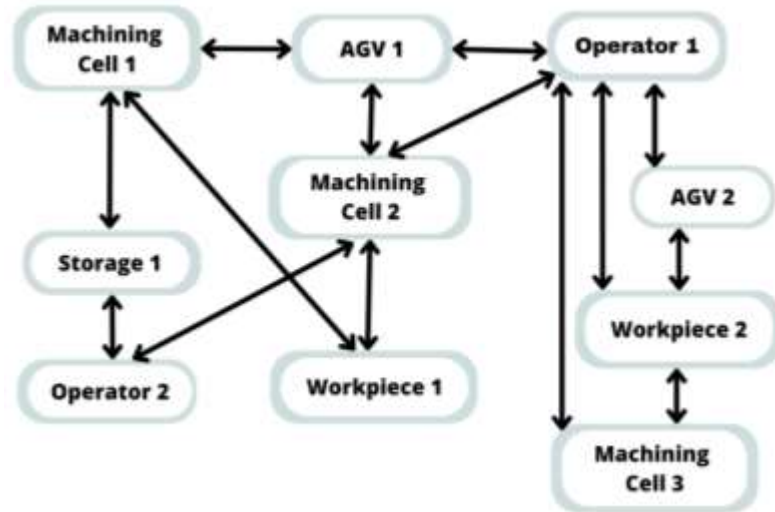
produk, dapat menentukan jadwal operasi pemesinan dan operasi transportasi yang diperlukannya.

Pada saat operasi produksi ditentukan oleh masing-masing elemen produksi, kemungkinan akan timbul konflik. Misalnya, lebih dari satu *cell* pemesinan memilih operasi pemesinan yang sama dari lot produk tertentu, padahal satu operasi pemesinan harus dilakukan hanya pada satu *cell* pemesinan. Oleh sebab itu diperlukan mekanisme negosiasi untuk pengkoordinasian hasil pengambilan keputusan oleh masing-masing elemen produksi. Dengan adanya kemampuan negosiasi untuk menghindari adanya konflik, maka kondisi harmonis di antara elemen produksi akan tercapai.

9.3. ARSITEKTUR SPTM

SPTM terdiri dari elemen-elemen produksi yang mandiri, seperti *cell* pemesinan, AGV, *storage*, benda kerja, operator dan sebagainya seperti diperlihatkan pada Gambar 9.1. Pada proses penjadwalan di SPTM, operasi produksi dan penjadwalan operasi produksi dilakukan oleh masing-masing elemen produksi yang secara mandiri mendesain operasi produksi serta merencanakan waktu mulai dan waktu selesainya berdasarkan kepada data dan metoda yang dimiliki. Pada arsitektur SPTM ini, semua elemen produksi dapat berkomunikasi dengan elemen produksi lainnya, untuk bertukar informasi yang diperlukan bagi pengambilan keputusan. Agar dapat diperoleh hasil yang optimum dalam pengambilan keputusan, setiap elemen produksi harus mempunyai informasi yang terbaru dan mempunyai algoritma bagi penyelesaian persoalan yang terbaik menurut kriteria tertentu.

Keadaan dimana setiap elemen produksi dapat saling berkomunikasi ini sebenarnya mirip dengan keadaan sosial di masyarakat. Dalam hal ini setiap elemen produksi mempunyai tingkatan yang setaraf dengan masing-masing individu di masyarakat. Adapun keadaan masyarakat yang diadopsi bagi SPTM adalah keadaan masyarakat yang setiap individunya diberi kebebasan untuk berpendapat dan mempunyai kewajiban untuk ikut serta menyelesaikan persoalan yang ada dengan kemampuan yang maksimal sehingga dicapai hasil yang terbaik.



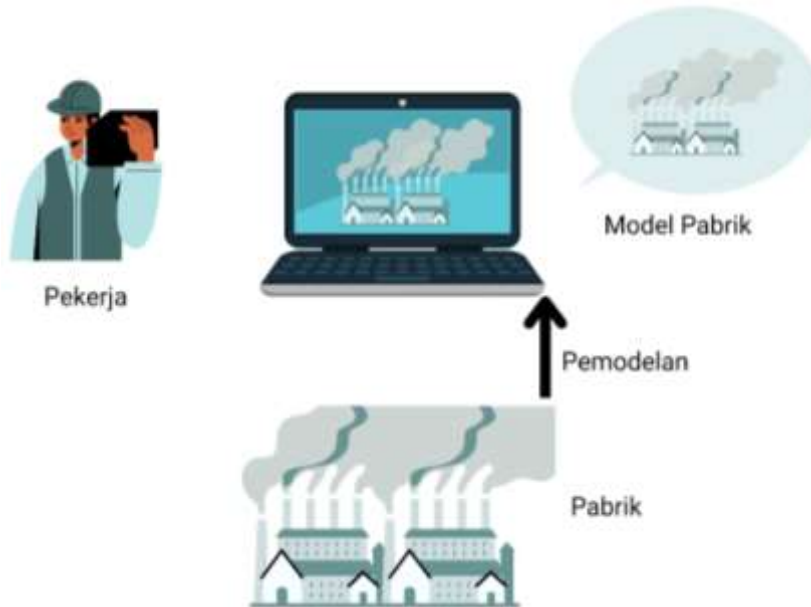
Gambar 9.1. Arsitektur pengambilan keputusan pada SPTM

9.4. PROSEDUR OPERASI SPTM

Pada sistem manufaktur yang mempunyai peralatan produksi dengan tingkat otomasi tinggi, setiap peralatan produksi yang ada dilengkapi dengan pengendali (komputer) yang dapat melakukan perhitungan dan pengambilan keputusan yang diperlukan bagi pengendalian peralatan produksi tersebut. Walaupun demikian terdapat pula elemen produksi yang tidak mempunyai perangkat pengendali misalnya benda kerja, perkakas potong dan sebagainya. Dengan adanya kemajuan yang cepat di bidang teknologi komputasi, sangat mungkin untuk membuat model arsitektur SPTM dalam bentuk perangkat lunak komputer. Oleh sebab itu tahap awal yang harus dilakukan agar SPTM tersebut dapat beroperasi adalah pemodelan. Pemodelan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.2, dilakukan dengan membuat perangkat lunak model bagi setiap elemen produksi nyata sehingga dalam komputer terdapat obyek virtual dari elemen produksi nyata.

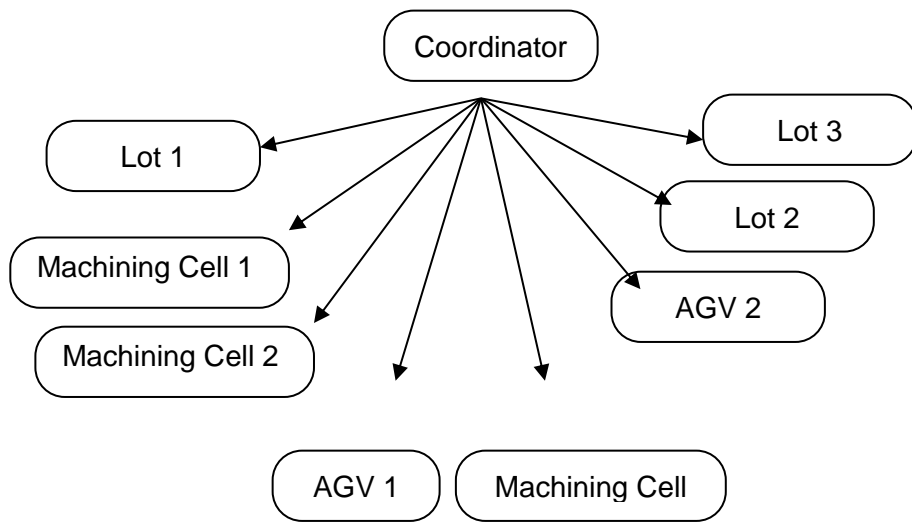
Pada SPTM, pengalokasian pekerjaan maupun peralatan produksi di dalam sistem produksi ditentukan berdasarkan pertukaran informasi antar elemen produksi yang ada karena tidak ada pusat pengendali yang melakukan pengendalian/manajemen atas aktivitas semua elemen produksi. sifat mandiri yang dimiliki oleh elemen produksi akan membuat sistem produksi tetap,

kokoh (robust) terhadap gangguan atau kejadian yang tidak teramal sebelumnya.



Gambar 9.2. Pemodelan sistem produksi

Agar tercapai kondisi yang harmonis di dalam sistem produksi, setiap elemen produksi selain melakukan pengambilan keputusan secara mandiri juga harus melakukan pertukaran informasi dengan elemen produksi lainnya. Keharmonisan di dalam sistem produksi mempunyai dua arti yaitu adanya kerja sama antar elemen produksi dan kemampuan negosiasi untuk menghindari adanya konflik. Pada SPTM, sistem pengambilan keputusan yang diusulkan diperlihatkan pada Gambar 9.3. Pada gambar tersebut, koordinator merupakan obyek yang mengkoordinir hasil pengambilan keputusan yang dilakukan oleh elemen produksi yang mandiri.



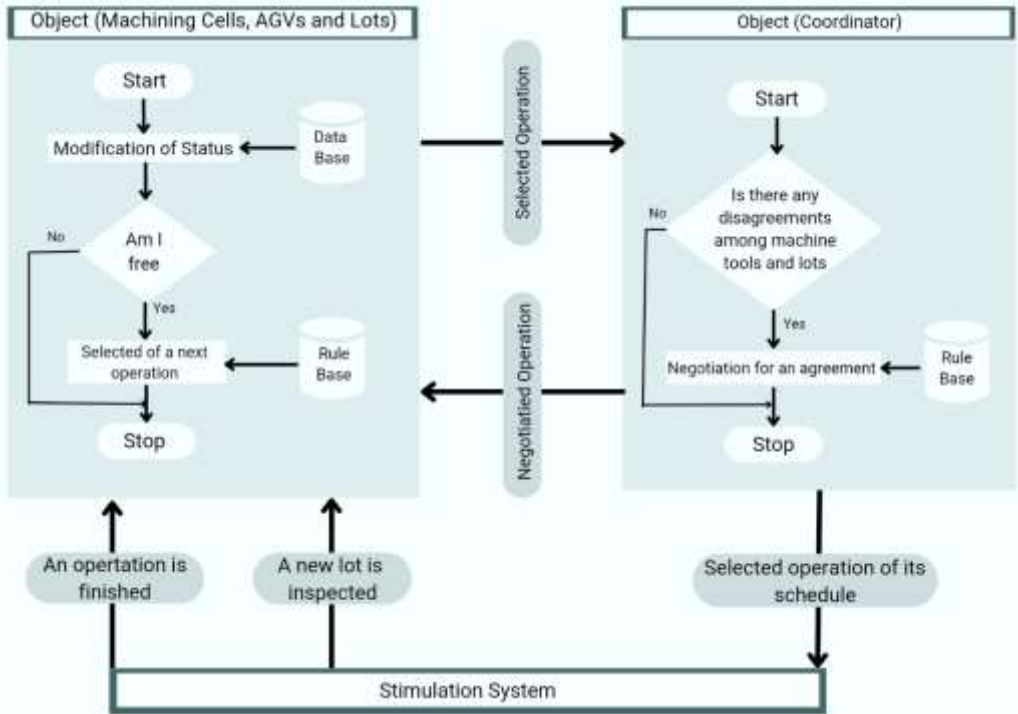
Gambar 9.3. Struktur pengambilan keputusan

Sebagai contoh, prosedur untuk menentukan jadwal operasi produksi dilakukan sebagai berikut. Pada saat berlangsung perubahan kondisi (terjadi event) di dalam sistem produksi, sebagai langkah pertama kegiatan penjadwalan, setiap elemen produksi akan memperbaharui status masing-masing. pada langkah kedua, elemen produksi yang pada saat tersebut dalam keadaan bebas, melakukan pengambilan keputusan berdasarkan kriteria yang dimiliki, untuk menentukan operasi produksi yang paling sesuai dilakukan pada periode berikutnya.

Periode adalah selang waktu antara terjadinya event sampai waktu terjadinya event berikutnya. Operasi serta jadwal yang dipilih oleh setiap elemen produksi dikirimkan ke objek koordinator sebagai operasi yang diusulkan. Koordinator akan melakukan pengujian terhadap kemungkinan adanya konflik, apabila dijumpai adanya konflik, beberapa usulan operasi akan dibatalkan oleh koordinator. Pembatalan usulan operasi memberikan arti bahwa ada usulan operasi lain yang sama dan lebih baik. Seperti contoh konflik yang telah diterangkan, operasi pemesanan produk berdasarkan kriteria tertentu mungkin lebih baik dilaksanakan di cell pemesinan A dibandingkan cell pemesinan B.

Setelah selesai dengan satu langkah koordinasi, masing-masing elemen otonom melakukan modifikasi pada kondisinya. Apabila masih ada elemen otonom yang dapat menentukan operasi berikutnya bagi dirinya, prosedur seperti yang diterangkan di atas diulang lagi.

Pada sistem penjadwalan yang diusulkan bagi SPTM, pengambilan keputusan hanya dilakukan pada saat terjadinya event. Semuua elemen produksi mempunyai kesempatan yang sama dalam melakukan pengambilan keputusan. Walaupun pada konsep SPTM diberlakukan kondisi ideal dengan memberikan kesempatan pada semua elemen produksi untuk melakukan pengambilan keputusan secara bersamaan (paralel) serta anggapan waktu yang diperlukan adalah sekejap (0 detik), dalam pengembangan perangkat lunak di komputer hal ini sulit dilaksanakan. Prosedur pengambilan keputusan yang diberlakukan secara ringkas diperlihatkan pada Gambar 9.4.



Gambar 9.4. Prosedur pengambilan keputusan

9.5. METODA PENGEMBANGAN SPTM

Fungsi pengambilan keputusan pada SPTM ditentukan oleh tingkat informasi masukan yang dimiliki oleh elemen dasar produk. Pada Tabel 9.1 diperlihatkan tingkatan fungsi pengambilan keputusan yang diperlukan, yang ditentukan oleh tingkat informasi masukan tersebut.

Untuk dapat mencapai level dengan nomor yang semakin kecil, diperlukan model sistem produksi yang semakin detail. Sebaliknya untuk level yang semakin kecil, informasi yang diperlukan sebagai masukan semakin sederhana. Dengan kata lain level yang semakin kecil (tinggi) menyatakan kondisi kerja yang semakin sederhana dan makin mudah bagi individu yang terlibat dalam sistem produksi.

Tabel 9.1. Tingkatan fungsi pengambilan keputusan

| <i>Level</i> | <i>Input based on Information of Product</i> | <i>Required Decision Making Function</i> |
|--------------|---|---|
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Requirement Specifications</i> • <i>Production Size</i> • <i>Functions</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Product Design</i> • <i>Production Planning</i> • <i>Management of Design & Production</i> • <i>Production Scheduling</i> |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Product Model or</i> • <i>Order</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Production Planning</i> • <i>Production Management</i> • <i>Production Scheduling</i> |
| 2,5 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Product Model of level 2</i> + • <i>Information of Feature and</i> • <i>Production Method</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Production Planning</i> • <i>Production Management (simpler than level 2)</i> • <i>Production Scheduling</i> |
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Production Planning</i> • <i>information of Lot</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Production Scheduling</i> |
| 4 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Production Schedule</i> • <i>Equipment Control Data</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Only Equipment Controller and Sensing apparatus are required</i> • <i>Decision Making Functions for Design and Management are not required.</i> |

Pengembangan perangkat lunak bagi pengambilan keputusan untuk membantu dalam proses desain maupun manajemen produksi agar dapat dilakukan secara bertahap, mulai dari level 3 terus ditingkatkan menuju level 1. Level dengan nomor yang lebih kecil menunjukkan fungsi pengambilan keputusan dengan kemampuan otomasi yang lebih tinggi. Pada level 4, pengembangan perangkat lunak untuk membantu dalam pengambilan keputusan secara *real time* belum diperlukan. Pada level 4 ini, peralatan produksi sudah dilengkapi dengan kontrol tetapi belum ada integrasi peralatan produksi

Selain pengembangan dalam arah vertikal, perangkat lunak juga dapat dikembangkan ke arah horizontal. Pengembangan dalam arah horizontal adalah pengembangan perangkat lunak pada tingkat pengambilan keputusan yang sama, yang dilakukan dengan penambahan fungsi - fungsi tertentu sesuai dengan tingkat otomasi peralatan produksi yang ada dan kebutuhan di lingkungan pabrik. Pada suatu pabrik mungkin dirasa sudah cukup apabila dapat dibuat penjadwalan operasi pemrosesan saja. Tentunya operasi yang lain yang berhubungan dengan operasi pemrosesan seperti operasi transportasi, set-up dan sebagainya. Jam pengerjaannya harus diperkirakan dan biasanya ditambahkan pada jam operasi pemrosesan tersebut. Tetapi untuk pabrik dengan peralatan produksi yang tingkat otomasinya lebih tinggi, mungkin penjadwalan peralatan transportasi diperlukan untuk pengendalian peralatan transportasi yang ada.

Berikut ini akan diberikan contoh pengembangan dalam arah horizontal, bagi tingkat pengambilan keputusan yang berada pada level 3. Pengambilan keputusan pada level 3 seperti pada contoh berikut memerlukan fungsi *scheduling*. Lima tahap pengembangan perangkat lunak yang telah dilakukan dan fungsi *scheduling* yang dimiliki pada masing-masing tahap diperlihatkan pada Tabel 9.2. Beberapa hal perlu disampaikan berdasarkan pengalaman pada lima tahap pengembangan ini, yaitu :

- (1) Dengan metoda pemodelan yang benar pengembangan sistem dapat dilakukan dengan relatif mudah.
- (2) Untuk mengembangkan suatu sistem yang besar dan rumit, pengembangan dapat dimulai dari sistem yang sederhana dengan

memasukkan beberapa asumsi dan batasan. seranjutnya sistem sederhana, yang sudah terbukti berjalan dengan benar, dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengurangi asumsi dan batasan yang ada.

Tabel 9.2. Lima tahap pengembangan fungsi *scheduling*

| <i>Development Steps</i> | <i>Scheduling Functions</i> | <i>Production Equipment</i> |
|---------------------------------|---|---|
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Machining operations</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Machining Call, Lot of Product</i> |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Machining operations</i> • <i>Machining operation of High Priority Jobs</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Machining Call, Lot of Product</i> |
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Functions at Stop 2</i> • <i>Machine failures</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Machining Call, Lot of Product</i> |
| 4 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Functions of step 3</i> • <i>Train sporting operation (with One AGV)</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Machining Call, Lot of Product, one AGV</i> |
| 5 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Functions at Step 4</i> • <i>Transporting Operation (with Two AGVs)</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Machining Call, Lot of Product, two AGVs</i> |

DAFTAR PUSTAKA

- Atkins, Peter & Jones, Loretta. 2010. *Chemical Principles: The Quest for Insight* (5th edition). New York: W.H. Freeman & Company
- Boothroyd, G. Dewhurst., P. Khight, W., *Product Design For Manufacture And Assembly*, Marcel Dekker, Lnc. 19g4,
- Bruice, Paula Y. 2014. *Organic Chemistry* (7th edition). New Jersey: Pearson Education, Inc. Carey
- Chang, Raymond & Goldsby, Kenneth A. 2016. *Chemistry* (12th edition). New York: McGraw-Hill Education
- Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (7th edition). New York: McGraw-Hill Education
- Dieter, George. G., *Metalurgi Mekanik, Edisi Ketiga, Jirid Kedua*. Penerbit Erlangga. 1992.
- Dweiri, R.; Suherman, H.; Sulong, A.B.; Al-Sharab, J.F. Structure-property-processing investigation of electrically conductive polypropylene nanocomposites. *Sci. Eng. Compos. Mater.* 2018, 25, 1177–1186.
- Francis A. & Giuliano, Robert M. 2014. *Organic Chemistry* (9th edition). New York: McGraw-Hill Education
- Gibson, Ronald F. *Principles of Composite Materiat Mechanics*. Mc. Graw Hill Inc, 1989.
- Groover, M. P. *Fundamental of Modern Manufacturing*. Prentice Hall, 1995. USA.
- Groover, Mikell P. 2020. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. Wiley. USA
- Kazanas, H.C., Glenn E. Baker., dan Thomas E. Gregor. *Basic Manufacturing Processes*. Mc Graw Hil. 1992
- Martawirya, Ratna Yuwana. *Sistem Produksi Lanjut. Pemodelan Dalam Sistem Produksi*. ITB. 1995

- Menges, George., Walter Michaeli., Paul Mohren. *How to Make Injection Molds, Third Edition*. Hansers Publishers. 2001. Germany.
- Nishata, R.R.R.; Sulong, A.B.; Sahari, J.; Suherman, H. Effect of acid- and ultraviolet/ozonolysis-treated MW on the electrical and mechanical properties of epoxy nanocomposites as bipolar plate applications. *J. Nanomater.* 2013, 2013, 1–8. [CrossRef]
- Petrucci, Ralph H. et al. 2017. *General Chemistry: Principles and Modern Applications (11th edition)*. Toronto: Pearson Canada Inc.
- Silberberg, Martin S. & Amateis, Patricia. 2015. *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change (7th edition)*. New York: McGraw-Hill Education
- Suherman, H.; Sulong, A.B.; Zakaria, M.Y.; Nishata, R.R.R.; Sahari, J. Electrical conductivity and physical changes of functionalized carbon nanotubes/graphite/stainless steel (SS316L) / polypropylene composites immersed in an acidic solution. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 2018, 40, 105–112
- Suherman, H.; Sulong, A.B.; Sahari, J. Effect of the compression molding parameters on the in-plane and through-plane conductivity of carbon nanotubes/graphite/epoxy nanocomposites as bipolar plate material for a polymer electrolyte membrane fuel cell. *Ceram. Int.* 2013, 39, 1277–1284
- Suherman, H.; Mahyoedin, Y.; Septe, E.; Rizade, R. Properties of graphite/epoxy composites: The in-plane conductivity, tensile strength and Shore hardness. *AIMS Mater. Sci.* 2019, 6, 165–173
- Suherman, H.; Dweiri, R.; Mahyoedin, Y.; Duskiardi, D. Investigation of electrical-mechanical performance of epoxy-based nanocomposites filled with hybrid electrically conductive fillers. *Mater. Res. Express* 2019, 6, 115010
- Suherman, H.; Duskiardi, D.; Suardi, A.; Irmayani, I. Enhance the electrical conductivity and tensile strength of conductive polymer composites

using hybrid conductive filler. Songklanakarin J. Sci. Technol. 2019, 41, 174–180

Suherman, H.; Sulong, A.B.; Sahari, J. Effect of filler loading concentration, curing temperature and molding pressure on the electrical conductivity of CNTs/graphite/epoxy nanocomposites at high loading of conductive fillers. Int. J. Mech. Mater. Eng. 2010, 5, 74–79.

Surdia, Tata., Teknik Pengecoran Logam. Pradnya Paramitha, 1992, Jakarta.

Ullmang, David., *The Mechanical Design Process*, Mc. Graw Hill International Editions, 1997. USA

INDEKS

A

Adhesive bonding 4

B

Baut (bolt) 4

Brazing 4

C

Cavity 5,54,55

Cetakan 9,10,13,14,15,16,19,20,22,23,24,25,26,27
,28,29,30,35,51,52,54,55,77,78,80

E

Extrusion 35

F

Forging 3,4,5,34,35

Fusion 5,46,47,48

G

Grinding 5

I

Injection Molding 51,52,53,54,55

K

Korosi 11,25,26,51,73

Komposit 2,3,32,73,74,75,76,77,78,80,81

Keramik

M

| | |
|----------------|-----------------|
| Manufaktur | 5,7,83,84,85,87 |
| Mesin Perkakas | 1,57,62,83 |

P

| | |
|----------------------------------|---|
| Pengecoran | 9,10,11,12,13,14,15,16,19,21,22,23,24,25 ,26,27,28,29,30,31,32 |
| Pengecoran logam | 9 |
| Pengecoran sentrifugal | 19,29,30 |
| Polimer | 2,51,76,78 |
| Proses Manufaktur | 7 |
| Pemesinan | 57,60,84,85,86,89,92 |
| Perkakas Bantu (jig and fixture) | 2 |
| Pengelasan busur | 45 |
| Penetrant Test | 47,48 |

R

| | |
|-------|----------------|
| Resin | 77,78,79,80,81 |
|-------|----------------|

S

| | |
|------------------|----------|
| Stamping | 4,5,6,36 |
| strain hardening | 38,39 |

Glosarium

Adhesive bonding. Proses penyambungan menggunakan bahan pengisi (perekat, bersifat non logam, biasanya berbentuk polimer) untuk menempelkan permukaan dua benda kerja atau lebih. Perekat diubah dari cair menjadi padat, biasanya melalui reaksi kimia, melibatkan polimerisasi, kondensasi, atau vulkanisasi.

Brazing. cara penyambungan dengan menggunakan logam pengisi (filler) atau logam patri di antara permukaan logam induk yang disambung.

Baut (Bolt). Suatu batang atau tabung yang membentuk alur heliks atau tangga spiral pada permukaannya dan mur (Nut) sebagai pasangannya. Fungsi utama baut dan mur adalah menggabungkan beberapa komponen menjadi satu bagian yang memiliki sifat tidak permanen

Cavity (rongga cetakan). ruangan tempat logam cair yang dituangkan kedalam cetakan. bentuk rongga ini sama dengan benda kerja yang akan dicor. Rongga cetakan dibuat menggunakan pola.

Cetakan. Peralatan proses produksi yang berfungsi membentuk suatu bahan menjadi barang yang memiliki bentuk dan ukuran tertentu

CAD. Suatu program komputer untuk menggambar produk atau bagian dari produk, melalui garis-garis maupun simbol-simbol yang memiliki makna tertentu, berbentuk gambar dua atau tiga dimensi.

DFMA. Metode sistematis pengukuran produk yang didukung oleh kombinasi desain dan teknikal untuk menghasilkan proses produksi yang ekonomis. Aplikasi DFMA akan menghasilkan lead times yang lebih pendek dan meningkatkan viability (kelangsungan hidup) ekonomi produk.

Ekstrusi. Proses proses reduksi penampang suatu blok logam dengan cara menekan logam melalui lubang cetakan dengan tekanan tinggi, umumnya digunakan untuk menghasilkan batang silinder atau tabung berongga, namun adakalanya juga untuk menghasilkan bentuk penampang yang tak teratur.

Forging (Penempaan). Salah satu proses pembentukan logam menjadi bentuk dan ukuran yang lain, secara konvensional atau dengan bantuan mesin tempa pada suhu pengerjaan tertentu.

Fusion welding. Proses penyambungan logam dengan cara mencairkan logam yang tersambung

Grinding. Proses pengolahan permukaan material dengan mata potong abrasif menggunakan roda gerinda sebagai alat pemotong.

Injection molding. Salah satu metode proses produksi menggunakan material polimer termoplastik, dengan cara pemanasan material termoplastik hingga mencair dan kemudian cairan plastik didorong ke sebuah cetakan untuk dibiarkan dingin dan mengeras

Keramik. Material non logam dan inorganik yang terdiri atas unsur-unsur logam dan non logam, terikat bersamaan secara primer dengan ikatan ion dan/atau ikatan logam.

Klem (clamp). Alat pencapit atau pengencang (fastener) yang digunakan untuk memastikan material tidak berpindah posisi selama alat tersebut digunakan

Komposit. Kombinasi antara dua material atau lebih unsur-unsur penyusun yang berbeda, baik dalam jenis material yang menyusun maupun komposisinya, dimana material satu berperan sebagai penguat dan yang lainnya sebagai pengikat.

Korosi. Degradasi logam akibat reaksi redoks antara logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan.

Mesin. Peralatan mekanik atau elektrik yang mengirim atau mengubah energi untuk melakukan atau membantu tugas manusia.

Mesin bubut. Mesin perkakas yang memutar benda kerja pada sumbu rotasi untuk melakukan berbagai proses seperti pemotongan, pengamplasan, knurling, pengeboran, deformasi, pembubutan muka, dan pemutaran, dengan alat yang diterapkan pada benda kerja untuk membuat objek dengan simetri terhadap sumbunya

Mesin Miling. Mesin perkakas yang berguna untuk meratakan bagian permukaan pada benda kerja, membuat lubang pada bidang benda, memperbesar lubang, dan memuat alur key way dalam benda kerja.

Mesin perkakas. Mesin yang digunakan untuk memotong atau memfabrikasikan suatu material hingga menjadi barang setengah jadi atau barang jadi dalam bentuk yang diinginkan

Manufaktur. Proses atau kegiatan industri yang menggunakan mesin, peralatan, dan tenaga kerja untuk mengubah bahan mentah menjadi barang jadi yang memiliki nilai jual.

Material. Material adalah zat atau benda yang dibutuhkan untuk membuat sesuatu.

Metalografi. Ilmu logam yang mempelajari karakteristik dan struktur logam dalam skala mikro menggunakan mikroskop ptic.

Metalurgi: Teknologi logam, yaitu penerapan sains dalam produksi logam dan rekayasa komponen-komponen logam untuk digunakan pada produk pada industri manufaktur.

Pengecoran (casting): Proses manufaktur menggunakan material cair yang dituang ke dalam cetakan berongga sesuai dengan pola atau bentuk yang dikehendaki, membentuk produk dengan bentuk dan geometri yang diinginkan

Pengecoran logam (metal casting): Proses manufaktur menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga cetak (cavity) sesuai dengan bentuk atau desain yang diinginkan.

Pengecoran sentrifugal. Metoda pengecoran di mana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga logam cair tertekan oleh gaya sentrifugal hingga kemudian membeku

Polimer. Molekul panjang yang mengandung rantai atom, dihubungkan oleh ikatan kovalen yang terbentuk selama polimerisasi, umumnya dikenal sebagai bahan non-konduktor atau isolator.

Produksi. Kegiatan untuk meningkatkan nilai suatu benda menjadi lebih (added value) dengan masukan berupa faktor-faktor produksi, sehingga outputnya menjadi sebuah produk

Proses manufaktur. Proses mengubah bahan baku menjadi produk melalui bermacam-macam proses mesin dan operasional mengikuti perencanaan yang terorganisasi dengan baik, mengikuti persyaratan bentuk, ukuran, dan karakteristik sifat fisik, mekanik, maupun kimiawi yang diinginkan.

Pemesinan. Proses pembuatan benda kerja dengan perautan, yaitu menghilangkan material yang tidak diinginkan dari benda kerja dalam bentuk chip.

Perkakas bantu (jig & fixture). Perkakas bantu yang berfungsi untuk memegang dan atau mengarahkan benda kerja sehingga proses manufaktur suatu produk dapat lebih efisien, berfungsi agar kualitas produk dapat terjaga sebagaimana kualitas yang telah ditentukan

Pengecoran reo (rheocasting). Teknik pengecoran yang memberikan perlakuan pada logam cair sebelum menjadi benda coran dalam mesin cor cetak, dengan memutar logam cair yang sedang membeku agar butir-butir dendrit terpotong sehingga terbentuk butir baru yang bulat (globular).

Pengelasan (Welding). Salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah menghasilkan sambungan yang kontinu

Pengelasan busur (Arc welding). Proses menyatukan logam dengan menggunakan panas dari busur listrik, tidak memertukan tekanan, dan menggunakan batang pengisi (filler metal) jika perlu.

Pengelasan resistensi (Resisten welding). Pengelasan yang menggunakan kombinasi panas dan tekanan dalam proses kerjanya

Pengelasan Solid state (Solid state welding). Penyatuan komponen dengan aplikasi tekanan atau panas dan tekanan

Pengelasan meja putar (Roll welding). Penyatuan komponen menggunakan tekanan yang sesuai sehingga benda kerja menyatu menggunakan dua buah roll. proses ini dapat digunakan dengan atau tanpa aplikasi panas eksternal.

Penyolderan/ pematrian lunak (soldering). Proses penyambungan dua material atau lebih dengan cara meleburkan dan membubuhkan logam pengisi ke dalam sambungan tersebut, namun benda kerja tidak ikut mencair.

Resin. Zat sintetis berbentuk cairan kental yang dapat mengeras menjadi padatan transparan.

Sistem produksi: Kumpulan sub sistem yang saling berinteraksi untuk mentransformasi input produksi (bahan baku, mesin, tenaga kerja, manusia, metoda, modal, dan sistim informasi) menjadi output produksi

Penguat (reinforcement). Bahan penguat (reinforcement atau filler) merupakan material yang ditempatkan di dalam matriks material komposit, bertugas untuk memperkuat (sifat mekanik) material komposit yang dihasilkan.

Stamping. Proses pencetakan dengan cara dipress sehingga menghasilkan bentuk yang sesuai dengan yang dikehendaki.

Penetrant Test. Jenis pengujian tidak merusak atau non destructive test (NDT), bertujuan memeriksa permukaan material terdapat cacat las atau tidak. Pengujian ini berdasarkan prinsip kapilaritas, yaitu masuk serta keluarnya cairan penetrant ke dalam diskontinuitas dan dari kontinuitas ke permukaan.