



MENGUAK RAHASIA MESIN:

LANDASAN DAN APLIKASI TEKNIK MESIN

PENULIS:

Humayatul Ummah Syarif

Ismayati Sutina Azis

Syaiful

Shanti Kumbarasari

Muhammad Nuzan Rizki



MENGUAK RAHASIA MESIN: LANDASAN DAN APLIKASI TEKNIK MESIN

**Humayatul Ummah Syarif
Ismayati Sutina Azis
Syaiful
Shanti Kumbarasari
Muhammad Nuzan Rizki**



GET PRESS INDONESIA

MENGUAK RAHASIA MESIN: LANDASAN DAN APLIKASI TEKNIK MESIN

Penulis :

Humayatul Ummah Syarif
Ismayati Sutina Azis
Syaiful
Shanti Kumbarasari
Muhammad Nuzan Rizki

ISBN : 978-623-125-514-3

Editor : Diana Purnama Sari., S.E., M.E

Penyunting : Ari Yanto., M.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Desember 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Menguak Rahasia Mesin: Landasan Dan Aplikasi Teknik Mesin ini.

Buku ini membahas Pengantar Teknik Mesin, Prinsip-prinsip Desain Mesin, Mekanika Dan Dinamika Mesin, Material Dan Proses Manufaktur, Aplikasi Praktis Dalam Industri.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, November 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1 PENGANTAR TEKNIK MESIN	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Pengertian Teknik Mesin.....	1
1.3 Kurikulum Teknik Mesin	3
1.4 Satuan.....	4
1.5 Unit Dasar	5
1.6 Pertimbangan Khusus.....	8
1.7 Aplikasi Teknik Mesin Mekanika Fluida	10
1.7.1 Statika fluida.....	11
DAFTAR PUSTAKA.....	20
BAB 2 PRINSIP PRINSIP DESAIN MESIN.....	21
2.1 Pendahuluan.....	21
2.2 Prinsip Desain Mesin.....	22
2.2.1 Tujuan dan Fungsi Mesin.....	22
2.2.2 Keandalan dan Keamanan.....	22
2.2.3 Efisiensi Energi	23
2.2.4 Keberlanjutan dan Dampak Lingkungan	23
2.2.5 Kolaborasi dalam Desain	23
2.2.6 Pengujian dan Validasi.....	24
2.2.7 Inovasi dan Teknologi.....	25
DAFTAR PUSTAKA.....	26
BAB 3 MEKANIKA DAN DINAMIKA MESIN	27
3.1 Mekanika dan Dinamika Mesin	27
3.2 Konsep Dasar Mekanika Dalam Mesin	29
3.1.1 Mekanika Benda Kaku	29
3.1.2 Mekanika Kontinum	36
3.3 Analisis Gaya, Momen, Dan Kekuatan Dalam Mesin.....	41
3.3.1 Analisis Gaya Dalam Mesin	41
3.3.2 Analisis Momen Dalam Mesin.....	42
3.3.3 Analisis Kekuatan Dalam Mesin.....	43

3.4 Prinsip-Prinsip Dinamika Dalam Perencanaan Dan Pengembangan Mesin	44
DAFTAR PUSTAKA.....	46
BAB 4 MATERIAL DAN PROSES MANUFAKTUR.....	49
4.1 Pendahuluan.....	49
4.1.1 Sifat Material.....	49
4.1.2 Bentuk Akhir.....	53
4.1.3 Volume Produksi.....	54
4.1.4 Pengaruh Yang Menentukan Proses Manufaktur Dalam Pemilihan Material.....	55
4.2 Material.....	56
4.2.1 Material logam (<i>metals</i>)	58
4.2.3 Material Keramik (<i>ceramics</i>).....	64
4.2.4 Material polimer (<i>polymers</i>).....	66
4.2.5 Material Komposit (<i>composites</i>)	78
4.2.6 Material Modern.....	84
4.3 Proses Manufaktur	88
4.3.1 Proses Pengoperasian Manufaktur (<i>Processing Operations</i>)	88
4.3.2 Proses operasi penyambungan mekanis	163
DAFTAR PUSTAKA.....	182
BAB 5 APLIKASI PRAKTIS DALAM INDUSTRI	183
5.1 Pendahuluan.....	183
5.2 Sistem Produksi.....	185
5.2.1 Fasilitas.....	186
5.3 Aplikasi berdasarkan klasifikasi Industri.....	197
5.3.1 Secara Umum.....	197
5.3.2 Secara Khusus	199
DAFTAR PUSTAKA.....	203
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Beberapa sifat fluida umum pada suhu dan tekanan sekitar.....	12
Tabel 4.1. <i>Yield strength</i> dan <i>tensile strength</i> untuk logam tertentu	53
Tabel 4.2. Sifat Material Non Ferrous	64
Tabel 4.3. Sifat Mekanik dan Fisik Material Keramik	65
Tabel 4.4. Perbedaan Bentuk Struktur Crystal dan Non Crystal Plastik	67
Tabel 4.5. Klasifikasi Jenis Plastik Thermoplastic Resin	67
Tabel 4.6. Ketahanan Suhu Pada Bentuk Struktur Polimer Crystal dan Non Crystal.....	69
Tabel 4.7. Ketahanan Suhu Pada Material Resin Thermosetting Dan Thermoplast	70
Tabel 4.8. Sifat dan karakter karet alami vulkanisir	71
Tabel 4.9. Sifat dan karakteristik rubber sintetik (a) butadiene rubber	72
Tabel 4.10. Sifat dan karakteristik rubber sintetik (b) karet butyl	73
Tabel 4.11. Sifat dan karakteristik rubber sintetik (c) chloroprene rubber (neoprene).....	73
Tabel 4.12. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (D) <i>Chloroprene Rubber (Neoprene)</i>	74
Tabel 4.13. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (E) Isoprene Rubber (Synthetic)	75
Tabel 4.14. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (F) Nitril Rubber.....	75
Tabel 4.15. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (G) Polyurethane	76
Tabel 4.16. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (G) Karet Silikon	77
Tabel 4.17. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (H) Karet Styrene–Butadiene.....	77
Tabel 4.18. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (I) Thermoplastic Elastomer (TPE)	78
Tabel 4.19. Kemungkinan Kombinasi Material Komposit Dua Komponen.....	79

Tabel 4.20. Karakter bahan serat yang digunakan
sebagai penguat komposit..... 82

Tabel 4.21. Jenis biomaterial serta aplikasinya 85

Tabel 5.1. Kekuatan relatif dan atribut manusia
dan mesin..... 189

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Kolaborasi Dalam Desain	24
Gambar 2.2.	Inovasi Dan Teknologi.....	25
Gambar 3.1.	Kelompok Ilmu Mekanika.....	29
Gambar 3.2.	Keseimbangan Gaya Statika.....	31
Gambar 3.3.	Keseimbangan Momen Statika	32
Gambar 3.4.	Gerak Translasi Dinamika	34
Gambar 3.5.	Gerak Rotasi Dinamika	36
Gambar 3.6.	Mekanika Kontinum Pada Partikel Komposit	37
Gambar 3.7.	Aliran Fluida Dalam Pipa	38
Gambar 3.8.	Sistem Suspensi Pada Mobil	45
Gambar 4.1.	Definisi manufaktur: (a) sebagai proses teknis, dan (b) sebagai proses ekonomi... ..	49
Gambar 4.2.	Sifat mekanik material dengan pembebanan pengujian tarik.....	50
Gambar 4.3.	Sifat mekanik material dengan pembebanan pengujian tekan	50
Gambar 4.4.	Sifat mekanik material dengan pembebanan pengujian geser	51
Gambar 4.5.	Sifat mekanik material dengan pembebanan pengujian torsi.....	51
Gambar 4.6.	Hubungan tegangan-regangan yang khas: kiri: bahan ulet; kanan: perbandingan berbagai jenis bahan.....	52
Gambar 4.7.	Spesifikasi material teknik yang umum digunakan.....	57
Gambar 4.8.	Spesifikasi material berdasarkan proses pembuatan di bidang manufacture	58
Gambar 4.9.	Pembuatan peralatan pertanian dengan menggunakan metode penempaan	59
Gambar 4.10.	Pengecoran Logam	60
Gambar 4.11.	Pembentukan polimer	66

Gambar 4.12. (a) serat (b) partikel (c) serpihan matrik.....	80
Gambar 4.13. Hubungan antara kekuatan tarik dan diameter untuk serat karbon.....	81
Gambar 4.14. Serat yang terdapat dalam bahan komposit	81
Gambar 4.15. Spesifikasi proses manufaktur	88
Gambar 4.16. Cetakan Pasir	90
Gambar 4.17. Pengecoran logam.....	92
Gambar 4.18. <i>True Centrifugal Casting</i>	93
Gambar 4.19. Tahapan <i>die casting</i>	96
Gambar 4.20. <i>Hot dan Cold Chamber Die Casting</i>	98
Gambar 4.21. Proses pembuatan plastik dengan metode <i>injection mould</i>	100
Gambar 4.22. Proses pembuatan plastik dengan metode <i>blow moulding</i>	101
Gambar 4.23. Pembuatan produk plastik dengan metode moulding yang berputar sumber <i>principle of rotational molding, courtesy of the Queenís University, Belfast</i>	101
Gambar 4.24. Pembuatan produk plastik dengan menggunakan metode thermoforming...	102
Gambar 4.25. Proses pembuatan plastik dengan metode <i>compression moulding</i>	103
Gambar 4.26. Proses partikulat	104
Gambar 4.28. Mesin <i>turning</i> /bubut	117
Gambar 4.29. Jenis-jenis pengerjaan bubut.....	117
Gambar 4.30. Mesin bor serta bagian-bagiannya	126
Gambar 4.31. Operasi permesinan yang berkaitan dengan pengeboran (a) <i>reaming</i> , (b) <i>tapping</i> , (c) <i>counter-boring</i> , (d) <i>countersinking</i> , (e) <i>centre drilling</i> dan (f) <i>spot facing</i>	127
Gambar 4.32. Mesin Frais Universal	129
Gambar 4.33. Bagian-bagian Mesin Frais.....	129
Gambar 4.34. Mesin Gerinda.....	134
Gambar 4.35. Prinsip kerja EDM	141

Gambar 4.36.	<i>Physical Vapor Deposition (PVD)</i>	153
Gambar 4.37.	<i>Thermal and Plasma CVD</i>	156
Gambar 4.38.	Tekanan yang bekerja pada sambungan baut.....	165
Gambar 4.39.	Asembly dengan menggunakan (a) baut (<i>bolt</i>) dan mur (<i>nut</i>) dan (b) sekrup (<i>screw</i>)	166
Gambar 4.40.	Jenis- jenis kepala tersedia di sekrup dan baut.....	166
Gambar 4.41.	a) Perakitan pad poros dengan menggunakan screw; (b)Berbagai jenis geometri screw (type titik dan kepala screw).	167
Gambar 4.42.	Jenis ulir pengerjaan pada baut: (a) ulir-pembentuk dan (b) ulir-pemotong.....	167
Gambar 4.43.	(a) perakitan tiang dan mur. Jenis tiang pada mur (b) ulir dengan satu sisi kepala (c) tiang berujung ganda	167
Gambar 4.44.	Baut yang berulir (a) sebelum dimasukkan (b) setelah dimasukkan ke dalam lubang dan sekrup berubah menjadi satu kesatuan.....	168
Gambar 4.45.	proses deformasi rivet (paku keling) secara tradisional	168
Gambar 4.46.	Proses deformasi rivet secara slug.....	169
Gambar 4.47.	Jenis paku keling (<i>rivet</i>) perakitan (a) <i>solid</i> , (b) <i>tubular</i> , (c) <i>semitubular</i> , (d) <i>bifurcated</i> , dan (e) <i>compression</i>	169
Gambar 4.48.	Mengikat dengan lubang: (a) lubangnya, dan (b) urutan perakitan: (1) memasukkan lubang melalui lubang, dan (2) pengaturan operasi	170
Gambar 4.49.	Pengelasan Metode SMAW	176
Gambar 4.50.	Metal Inert Gas/Metal Active.....	177

Gambar 4.51. (a) <i>Conventional butt joint</i> , (b) <i>scarf joint</i> , (c) <i>stepped butt joint</i> , (d) meningkatkan gabungan beberapa komponen	179
Gambar 4.52. Menunjukkan angka (1) sebelum, dan (2) sesudah proses <i>brazing</i>	180
Gambar 4.53. Teknik assembly dengan menggunakan metode soldering.....	181
Gambar 5.1. Mesin uap Watt yang dibangun oleh D. Napier & Son di London tahun 1832.....	184
Gambar 5.2. Komponen utama Sistem Produksi: Fasilitas dan Sistem Pendukung Manufaktur	185
Gambar 5.3. (a) Sistem Kerja Manual, (b) Sistem Semi Otomatis, (c) Sistem Otomatis.....	186
Gambar 5.4. Sistem <i>Pulley</i> pada alat angkat.....	187
Gambar 5.5. (a) <i>Socket Wrench Set</i> , (b) <i>Wrench Set</i> , (c) <i>Grease Gun</i> , (d) <i>Adjustable Rolling Folding</i> , (e) <i>Hydraulic Jack</i>	188
Gambar 5.6. Mesin Bubut pada Industri.....	190
Gambar 5.7. Mesin Frais (Milling) dengan jenis vertikal	190
Gambar 5.8. (a) Gerinda tangan, (b) Bor tangan.	191
Gambar 5.9. Mesin Stamp Vertikal (Stamping Machine).	192
Gambar 5.10. Mesin <i>Computer Numerical Control</i> (CNC).....	194
Gambar 5.11. 3D Print Merk Prusa dan Morph.	194
Gambar 5.12. Lengan robotika pada pabrik perakitan kendaraan.....	195
Gambar 5.13. Pengemasan kaleng minuman pada <i>assembly line</i>	195
Gambar 5.14. Pemotongan plat aluminium dengan waterjet	196
Gambar 5.15. Pemanfaatan teknologi <i>drone</i> pada pertanian dapat meningkatkan efisiensi kecepatan kerja.	202

BAB 1

PENGANTAR TEKNIK MESIN

1.1 Pendahuluan

Definisi tentang Teknik Mesin adalah Jika memerlukan rekayasa tetapi tidak melibatkan elektron, maka reaksi kimia, susunan molekul, bentuk kehidupan, tidak sebuah struktur (bangunan/jembatan/bendungan) dan tidak terbang, seorang insinyur mesin akan mengurusnya, tapi jika melibatkan elektron, reaksi kimia, susunan molekul, bentuk kehidupan, berstruktur atau terbang, insinyur mesin mungkin akan menanganinya. Meskipun setiap anggota fakultas teknik di setiap departemen teknik akan mengklaim hal itu bidangnya merupakan disiplin ilmu teknik yang paling luas, dalam hal ini Teknik Mesin sebenarnya benar (saya klaim) karena bahan inti menembus semua sistem teknik (mekanika fluida, mekanika padat, perpindahan panas, sistem kontrol, dll.)(Heri Yudianto, 2021)

1.2 Pengertian Teknik Mesin

Teknik mesin adalah salah satu bidang teknik tertua (walaupun mungkin Teknik Sipil bahkan lebih tua) namun dalam 20 tahun terakhir telah mengalami transformasi yang luar biasa dari sejumlah perkembangan teknologi baru termasuk.

Desain Berbantuan Komputer (CAD). Rata-rata orang non-teknis mungkin berpikir demikian insinyur mesin duduk di depan meja menggambar cetak biru perangkat yang memiliki mur, baut, poros, roda gigi, bantalan, tuas, dll. Meskipun gambaran tersebut mungkin benar 100 tahun yang lalu, saat ini papan perancang telah lama digantikan oleh perangkat lunak CAD, yang memungkinkan sebagian untuk dibangun dan diuji secara virtual sebelum benda fisik apa pun diproduksi.

1. Simulasi. CAD memungkinkan tidak hanya mengukur dan memeriksa kesesuaian dan gangguan, tetapi juga bagian

virtual yang dihasilkan diuji secara struktural, termal, elektrik, aerodinamis, dll. Dan dimodifikasi seperlunya sebelum melakukan produksi.

2. Sensor dan aktuator. Saat ini bahkan produk konsumen umum seperti mobil pun memilikinya lusinan sensor untuk mengukur suhu, tekanan, laju aliran, kecepatan linier dan rotasi, dll. Sensor ini digunakan tidak hanya untuk memantau kesehatan dan kinerja perangkat, tetapi juga sebagai input ke mikrokontroler. Mikrokontroler pada gilirannya memerintahkan aktuator untuk menyesuaikan laju aliran (misalnya bahan bakar ke dalam mesin), timing (misalnya penyalaan bunga api), posisi (misalnya katup), dll.
3. Pencetakan 3D. “Manufaktur subtraktif” tradisional terdiri dari permulaan dengan blok atau pengecoran material dan pengeluaran material dengan cara pengeboran, penggilingan, penggilingan, dll. Bentuk yang bisa dibuat dengan cara ini terbatas dibandingkan dengan “manufaktur aditif” atau “3D” modern pencetakan” di mana struktur dibangun berlapis-lapis. Sama seperti simulasi CAD + yang telah menghasilkan cara baru dalam merancang sistem, pencetakan 3D telah menghasilkan cara baru dalam membuat prototipe dan dalam jumlah terbatas kasus, produksi skala penuh.
4. Kerjasama dengan bidang lain. Secara historis, perangkat mur-dan-baut seperti mobil dirancang hampir secara eksklusif oleh insinyur mesin. Kendaraan modern memiliki kelistrikan yang sangat besar dan sistem elektronik, sistem keselamatan (misalnya kantung udara, penahan kursi), baterai khusus (dalam kasus kendaraan hibrida atau listrik), dll., yang memerlukan kontribusi desain dari listrik, insinyur biomekanik dan kimia, masing-masing. Sangat penting bahwa mekanik modern insinyur dapat memahami dan mengakomodasi persyaratan yang dikenakan pada sistem dengan pertimbangan non-mekanis. (Purwo Subekti 2010).

Perubahan radikal dalam apa yang dilakukan para insinyur mesin dibandingkan beberapa waktu yang lalu menjadikan bidang ini menantang sekaligus mengasyikkan.

1.3 Kurikulum Teknik Mesin

Di hampir semua program Teknik Mesin yang terakreditasi, kursus-kursus berikut diperlukan:

1. Ilmu-ilmu dasar - matematika, kimia, fisika
2. Luas atau sebarannya (disebut “Pendidikan Umum” di USC)
3. Grafik komputer dan desain berbantuan komputer (CAD)
4. Rekayasa & instrumentasi eksperimental
5. Desain mekanis - mur, baut, roda gigi, las
6. Metode komputasi - mengubah persamaan matematika kontinu menjadi persamaan diskrit persamaan diselesaikan dengan komputer.

Inti “ilmu teknik”

1. Dinamika – pada dasarnya
$$F = ma$$
diterapkan pada banyak jenis sistem
2. Kekuatan dan sifat bahan
3. Mekanika fluida
4. Termodinamika
5. Perpindahan panas
6. Sistem kendali

Proyek desain “batu penjuru” senior

Selain itu, Anda dapat berpartisipasi dalam kegiatan “pengayaan” non-kredit seperti sarjana penelitian, kompetisi makalah mahasiswa sarjana di ASME (American Society of Mechanical Insinyur, perkumpulan profesional utama untuk insinyur mesin), mobil balap Formula SAE proyek, dll

Contoh industri yang mempekerjakan UM

Banyak industri mempekerjakan insinyur mesin; beberapa industri dan jenis sistem UK desain tercantum di bawah ini.

1. Otomotif
 - a. Pembakaran
 - b. Mesin, transmisi
 - c. Penangguhan
2. Dirgantara (dengan insinyur dirgantara)
 - a. Sistem kendali
 - b. Perpindahan panas pada turbin
 - c. Mekanika fluida (internal & eksternal)
3. Biomedis (dengan dokter)
 - a. Biomekanik – prostesis
 - b. Aliran dan transportasi in vivo
4. Komputer (dengan insinyur komputer)
 - a. Perpindahan panas
 - b. Pengemasan komponen & sistem
5. Konstruksi (dengan insinyur sipil)
 - a. Pemanasan, ventilasi, AC (HVAC)
 - b. Analisis stres
6. Pembangkit tenaga listrik (dengan insinyur listrik)
 - a. Siklus tenaga uap – panas dan kerja
 - b. Desain mekanis turbin, generator, ...
7. Petrokimia (dengan ahli kimia, insinyur perminyakan)
 - a. Pengeboran minyak - tegangan, aliran fluida, struktur
 - b. Desain kilang - perpipaan, bejana tekan
8. Robotika (dengan insinyur listrik)
 - a. Desain mekanis aktuator, sensor
 - b. Analisis stress

1.4 Satuan

Saya sering mengatakan bahwa ketika Anda dapat mengukur apa yang Anda bicarakan, dan mengungkapkannya dalam angka, Anda mengetahui sesuatu tentang hal itu; tetapi ketika Anda tidak dapat mengukurnya, ketika Anda tidak dapat mengungkapkannya dalam angka, pengetahuan Anda sangat sedikit dan jenis yang tidak memuaskan; ini mungkin merupakan awal dari pengetahuan, tetapi dalam pikiran Anda, Anda hampir tidak pernah maju ke tahap tersebut tahap sains, apa pun masalahnya. Menurut William Thomson (Lord Kelvin)

Semua sistem rekayasa memerlukan pengukuran untuk menentukan ukuran, berat, kecepatan, dll. Objek serta mengkarakterisasi kinerjanya. Memahami penerapan unit-unit ini adalah satu-satunya tujuan terpenting buku teks ini karena berlaku untuk semua bentuk teknik dan segala sesuatu yang dilakukan seseorang sebagai seorang insinyur. Memahami unit lebih dari sekedar kemampuan untuk mengkonversi dari kaki ke meter atau sebaliknya; menggabungkan dan mengkonversi unit dari sumber yang berbeda adalah topik yang menantang. Misalnya, jika insulasi bangunan ditentukan dalam satuan BTU inci perjam per kaki persegi per derajat Fahrenheit, bagaimana hal itu dapat diubah menjadi konduktivitas termal dalam satuan Watt per meter per derajat C? Atau bisakah diubah? Apakah kedua satuan tersebut mengukur hal yang sama atau tidak? (Misalnya, di fasilitas laboratorium mesin baru yang sedang dibangun untuk saya, aliran gas alam tidak mencukupi... jadi saya memberi tahu kontraktor bahwa saya memerlukan sistem yang mampu memasok minimum 50 kaki kubik per menit (cfm) gas alam dengan kecepatan 5 pon per inci persegi (psi). Miliknya tanggapannya adalah “berapa konversi antara cfm dan psi?” Tentu saja jawabannya ada tidak ada konversi; cfm adalah ukuran laju aliran dan psi adalah ukuran tekanan. Mungkin juga ada yang seperti itu menanyakan berapa konversi antara kilogram dan mil.) Para insinyur harus berjuang keras dengan hal ini kesalahpahaman setiap hari.

1.5 Unit Dasar

Insinyur di Amerika Serikat dibebani dengan dua sistem satuan dan pengukuran:

1. Bahasa Inggris atau USCS (*US Customary System*) L dan
2. Metrik atau SI (*Système International d'Unités*) J. Sistem mana pun mempunyai himpunan satuan dasar, yaitu satuan yang ditentukan berdasarkan suatu ukuran standar seperti jumlah panjang gelombang tertentu dari sumber cahaya tertentu. Basis ini unit meliputi: Panjang (meter (m), sentimeter (cm), milimeter (mm); kaki (kaki), inci (dalam), kilometer (km), mil (mi)).

- 1 m = 100 cm = 1000 mm = 3,281 kaki = 39,37 inci
- 1 km = 1000 m
- 1 mil = 5.280 kaki
- Massa (lbm, slug, kilogram); (1 kg = 2,205 lbm = 0,06853 slug) (lbm = "pon massa")
- Waktu (detik; singkatan standarnya adalah "s" bukan "detik") (satuan yang sama dalam USCS dan SI!)
- Arus listrik (muatan listrik dalam satuan coulomb [singkatan: 'coul'] adalah biasanya satuan dan satuan turunannya adalah arus = muatan/waktu) (1 coulomb = muatan pada 6.241506×10^{18} elektron) (1 ampere [singkatan: amp]= 1 coul/s)

Molekul sering kali dilaporkan sebagai satuan dasar, padahal sebenarnya tidak; itu saya kenyamanan untuk menghindari membawa faktor 1023 kemana-mana. Pilihan nomor partikel dalam satu mol partikel sepenuhnya sewenang-wenang; berdasarkan konvensi, bilangan Avogadro ditentukan dengan $N_A = 6,0221415 \times 10^{23}$, satuannya adalah partikel/mol (atau bisa dikatakan individu jenis apa pun, tidak terbatas hanya pada partikel, mis. atom, molekul, elektron atau siswa).

Konstanta gas ideal ($\hat{A}$) yang sudah sangat Anda kenal adalah konstanta Boltzmann yang dikalikan dengan bilangan Avogadro, yaitu:

$$R = kN_A = \left(1.38 \times 10^{-23} \frac{J}{particle\ K} \right) \left(6.02 \times 10^{23} \frac{particle}{mole} \right) = 8.314 \frac{J}{mole\ K} \frac{cal}{4.184J} = 1.987 \frac{cal}{mole\ K} \quad (\text{persamaan 1})$$

Suhu sering diartikan sebagai satuan dasar tetapi sekali lagi bukan, ini adalah satuan turunan, yaitu, yang dibuat dari kombinasi unit dasar. Suhu pada dasarnya adalah satuan energi dibagi Konstanta Boltzman. Secara khusus, energi kinetik rata-rata partikel gas ideal dalam keadaan 3-dimensi kotak adalah $1,5kT$, dimana k adalah konstanta Boltzman = $1,380622 \times 10^{-23}$ J/K (Joule/partikel)/K; setiap buku teks akan menyatakan satuan hanya sebagai J/K tetapi Anda akan melihat di bawah betapa bergunanya itu adalah memasukkan bagian "per

partikel" juga). Jadi, 1 Kelvin adalah suhu kinetiknya energi molekul gas ideal (dan hanya gas ideal, bukan bahan lainnya) adalah $1,5kT = 2,0709 \times 10^{-23}J$.

Mengapa pembahasan ini hanya berlaku untuk gas ideal? Berdasarkan definisi, partikel gas ideal hanya memiliki energi kinetik dan energi potensial yang dapat diabaikan karena adanya tarikan antar molekul; jika ada energi potensial, maka kita perlu mempertimbangkan total energi internal material (E, satuan Joule) yang merupakan jumlah energi kinetik dan potensial mikroskopis, dalam hal ini suhu untuk material apa pun (gas ideal atau bukan) didefinisikan sebagai:

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{V=const.}$$

(persamaan 2)

di mana U adalah energi internal material (satuan J), S adalah entropi material (satuan J/K) dan V adalah volume.

Satuan Turunan

Satuan turunan adalah satuan yang dihasilkan dari kombinasi satuan dasar; jumlahnya tak terhingga satuan turunan yang mungkin. Beberapa yang lebih penting/umum/berguna adalah:

1. Luas = panjang²
; 640 hektar = 1 mil²
, atau 1 hektar = 43.560 kaki²
2. Volume = panjang³
; 1 kaki³ = 7,481 galon = 28,317 cm³
; juga 1 liter = 1000 cm³ = 61,02 in³
3. Kecepatan = panjang/waktu
4. Percepatan = kecepatan/waktu = panjang/waktu² (standar percepatan gravitasi bumi =
 $g = 32,174 \text{ kaki/s}^2 = 9,806 \text{ m/s}^2$)
5. Gaya = massa * percepatan = massa*panjang/waktu²
o 1 kg m/s² = 1 Newton = 0,2248 pon gaya (pon gaya biasanya disingkat
lbf dan Newton N) (setara 1 lbf = 4,448 N)
6. Energi = gaya x panjang = massa x panjang²/waktu²
o 1kg m²/s² = 1 Joule (J)

- o $778 \text{ ft lbf} = 1 \text{ unit termal British (BTU)}$
- o $1055 \text{ J} = 1 \text{ BTU}$
- o $1 \text{ J} = 0,7376 \text{ kaki lbf}$
- o $1 \text{ kalori} = 4,184 \text{ J}$
- o $1 \text{ kalori makanan} = 1000 \text{ kalori}$
- 7. Daya (energi/waktu = massa x panjang²/waktu³)
 - o $1 \text{ J/s} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^3 = 1 \text{ Watt}$
 - o $746 \text{ W} = 550 \text{ ft lbf/detik} = 1 \text{ tenaga kuda}$
- 8. Kapasitas kalor = $\text{J/mole}^\circ\text{K}$ atau $\text{J/kg}^\circ\text{K}$ atau $\text{J/mole}^\circ\text{C}$ atau $\text{J/kg}^\circ\text{C}$ (lihat catatan di bawah Tekanan = gaya/luas)
 - o $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pascal}$
 - o $101325 \text{ Pascal} = 101325 \text{ N/m}^2 = 14,696 \text{ lbf/in}^2 = 1 \text{ atmosfer standar}$
- 9. Arus = muatan/waktu ($1 \text{ amp} = 1 \text{ coul/s}$)
- 10. Tegangan = energi/muatan ($1 \text{ Volt} = 1 \text{ J/coul}$)
- 11. Kapasitansi = ampere / (volt/s) ($1 \text{ farad} = 1 \text{ coul}^2/\text{J}$)
- 12. Induktansi = volt / (amps/s) ($1 \text{ Henry} = 1 \text{ J s}^2 / \text{coul}^2$)
- 13. Resistansi = volt/ampere ($1 \text{ ohm} = 1 \text{ volt/amp} = 1 \text{ Joule s} / \text{coul}^2$)
- 14. Torsi = gaya x panjang lengan tuas = massa x panjang²/time² – sama dengan energi tetapi tetap saja demikian biasanya melaporkan torsi dalam Nm (Newton meter), bukan Joule, untuk menghindari kebingungan.
- 15. Radian, derajat, putaran – semuanya merupakan besaran tak berdimensi, namun harus dikonversikan antara satu sama lain, yaitu $1 \text{ putaran} = 2\pi \text{ radian} = 360 \text{ derajat}$.

1.6 Pertimbangan Khusus

Sejauh ini masalah terbesar dengan unit USCS adalah massa dan kekuatan. Masalahnya adalah pound itu keduanya merupakan satuan massa DAN gaya. Ini dibedakan berdasarkan lbm untuk pound (massa) dan lbf untuk pon (kekuatan). Kita semua tahu bahwa $W = mg$ dimana W = berat, m = massa, g = percepatan gaya berat. Jadi

$$1 \text{ lbf} = 1 \text{ lbm} \times g = 32,174 \text{ lbm ft/s}^2 \quad (\text{Persamaan 3})$$

Kedengarannya oke, ya? Tapi tunggu dulu, sekarang kita punya faktor tambahan sebesar 32,174 yang beredar. Apakah itu juga benar itu.

$$1 \text{ lbf} = 1 \text{ lbm kaki/s}^2$$

yang dianalogikan dengan pernyataan satuan SI itu

$$1 \text{ Newton} = 1 \text{ kg m/s}^2 \quad (\text{Persamaan 4})$$

Tidak, 1 lbf tidak bisa sama dengan 1 lbm ft/s² karena 1 lbf sama dengan 32.174 lbm ft/sec²

Jadi berapa satuan massanya memuaskan hubungannya

$$1 \text{ lbf} = 1 \text{ (satuan massa) kaki/s}^2?$$

Satuan massa ini disebut “siput”, percaya atau tidak. Dengan menggunakan persamaan (2) terlihat bahwa:

$$1 \text{ slug} = 32,174 \text{ lbm} = 14,59 \text{ kg} \quad (\text{Persamaan 5})$$

Seringkali ketika melakukan konversi USCS, akan lebih mudah untuk memperkenalkan faktor konversi yang disebut gc; oleh menata ulang Persamaan 3 maka didapatkan :

$$g_c = \frac{32.174 \text{ lbm ft}}{\text{lbf s}^2} = 1 \quad (\text{Persamaan 6}).$$

Karena Persamaan 2 menunjukkan bahwa gc = 1, persamaan apa pun dapat dikalikan dan dibagi dengan gc sebanyak diperlukan untuk membuat unit-unit tersebut menjadi bentuk yang lebih kompak (contoh dari “mengapa tidak ada yang mengatakan itu?”).

Ingatlah bahwa konversi satuan apa pun hanyalah soal mengalikan atau membagi dengan 1,

Misalnya:

$$\frac{5280 \text{ ft}}{\text{mile}} = 1; \frac{1 \text{ kg m}}{\text{N s}^2} = 1; \frac{778 \text{ ft lbf}}{\text{BTU}} = 1; \text{ etc.}$$

1.7 Aplikasi Teknik Mesin Mekanika Fluida

Yang membedakan zat cair dengan zat padat adalah bahwa zat padat hanya mengalami deformasi dalam jumlah terbatas akibat suatu penerapan tegangan geser (kecuali jika pecah), sedangkan fluida terus berubah bentuk selama tegangan geser tersebut ada terapan. Hal ini membuat mekanika fluida jauh lebih rumit (setidaknya) dibandingkan mekanika benda padat.

Perhatikan bahwa dalam lingkungan ilmiah, istilah "fluida" dapat berarti gas atau cairan dalam bahasa sehari-hari "Cair" secara umum diartikan sebagai cairan. Kami akan menggunakan istilah "fluida" untuk diterapkan pada gas atau cairan dan nyatakan secara spesifik "gas" atau "cair" untuk konsep atau persamaan yang hanya berlaku pada salah satu konsep atau persamaan tersebut dari keduanya.

Mekanika fluida pada dasarnya adalah $\Sigma F = d(mv/dt)$ (Hukum 2 Newton, jumlah gaya sama dengan gaya laju perubahan momentum) yang diterapkan pada fluida. Umumnya ini dilakukan pada per satuan volume (V) dasar, maka Hukum 2 Newton menjadi $\Sigma(F/V) = d(rv/dt)$, dimana $r = m/V$ adalah massa jenis fluida.

Sejauh ini dua asumsi yang paling umum dibuat tentang kepadatan fluida adalah bahwa fluida tersebut adalah

1. Tidak dapat dimampatkan, yang berarti bahwa r adalah konstan; ini adalah asumsi yang baik untuk sebagian besar cairan karena kepadatannya tidak banyak berubah dalam rentang tekanan yang besar.
 2. Gas ideal, yaitu, zat yang $pV = n\hat{a}t$.
 3. Rumus ini berdasarkan jumlah mol n tidak terlalu berguna untuk keperluan teknik dibandingkan dengan rumus berbasis massa karena
 4. Jauh lebih mudah untuk mengukur massa daripada mol dan
 5. Mol tidak kekal selama reaksi kimia sedangkan massa kekal.
- Versi alternatif dari hukum gas ideal yang jauh lebih umum digunakan dalam teknik diperoleh dengan menghitung massa (m) dari $m = nM$, di mana M adalah massa molekul,

kemudian menerapkan definisi kepadatan $\rho = m/V$ dan menggabungkan untuk memperoleh:

$$P = \rho RT \quad (\text{hanya gas ideal}) \quad (\text{persamaan 7})$$

di mana $R = \hat{A}/M$ adalah konstanta gas berbasis massa (yang berbeda untuk setiap gas tergantung pada nilai M -nya sedangkan $\hat{A}$ sama untuk setiap gas).

1.7.1 Statika fluida

A. Tekanan hidrostatik

Mari kita lihat statika fluida terlebih dahulu, yaitu ketika $\Sigma F = 0$. Jika fluida tidak bergerak sama sekali, seperti dalam segelas air, maka fluida tersebut statis, yaitu, kecepatan nol di mana-mana, dan hanya memiliki tekanan hidrostatik. Bayangkan sebuah kolom fluida dengan tinggi z , luas penampang A , dan massa jenis ρ_f (satuan M/L^3 , yaitu massa fluida per satuan volume.)

Tabel 1.1 memberikan massa jenis beberapa cairan dan gas yang umum. Berat air adalah massa $\times g$ = massa jenis $\times$ volume $\times g$ = $\rho_f z A g$. Berat ini didistribusikan ke area A , jadi gaya per satuan area (tekanan hidrostatik) adalah $\rho_f z A g / A = \rho_f g z$. Ini ditambahkan ke tekanan $P(0)$ apa pun yang ada pada $z = 0$. Jadi tekanan hidrostatik $P(z)$ adalah

$$P(z) = P(0) - \rho_f g z \quad (\text{persamaan 8})$$

di mana z didefinisikan sebagai positif ke atas, yaitu kedalaman yang menurun. Hasil ini mengasumsikan bahwa kerapatan fluida ρ_f adalah konstan. Hal ini masuk akal untuk air dan hampir semua cairan, bahkan pada tekanan ribuan atm. Hal ini juga baik untuk gas jika z tidak terlalu besar, yaitu sedemikian rupa sehingga $\rho_f g z \ll P_0$.

Tabel 1.1. Beberapa sifat fluida umum pada suhu dan tekanan sekitar.

Fluid	Density (ρ , kg/m ³)	Dynamic viscosity (μ , kg/m s)	Kinematic viscosity ($\nu = \mu/\rho$, m ² /s)
Water	997.1	8.94×10^{-4}	8.97×10^{-7}
Air	1.18	1.77×10^{-5}	1.50×10^{-5}
Motor oil	917	0.260	2.84×10^{-4}
Mercury	13500	1.53×10^{-3}	1.13×10^{-7}

Menurut prinsip Archimedes, sebuah benda dengan volume V yang ditempatkan dalam cairan dengan massa jenis ρ akan memberikan gaya apung yang sama dengan berat cairan yang dipindahkan $= \rho_f g V$. Gaya total pada benda adalah selisih antara gaya Archimedes (apung) ini dan berat benda $= \rho_o g V$, di mana ρ_o adalah massa jenis rata-rata benda (hanya massa total/volume total). Jadi gaya total F yang bekerja pada benda adalah

$$F = (\rho_f - \rho_o) g V \quad (\text{persamaan 9})$$

di mana konvensi tanda menyatakan bahwa gaya tersebut positif (diarahkan ke atas) ketika massa jenis objek lebih kecil daripada massa jenis fluida (yaitu, objek mengapung ke atas). Uji fungsi: jika massa jenis objek dan fluida sama, objek tersebut "netral mengapung", dan tidak ada gaya total pada objek ($F = 0$).

B. Persamaan Bernoulli

Salah satu masalah yang paling umum dalam aliran fluida adalah menentukan hubungan antara kecepatan, tekanan, dan elevasi fluida yang mengalir dalam pipa atau saluran lainnya. Untuk melakukan ini, kita menerapkan konservasi energi pada fluida, yaitu energi yang terkandung oleh fluida pada satu titik dalam aliran sama dengan yang lain, tetapi energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Selain itu, lebih mudah untuk bekerja dengan daya (laju perubahan energi) daripada energi itu sendiri. Jika alirannya stabil sehingga tidak ada energi yang terakumulasi atau menghilang di dalam pipa, maka daya

(jumlah semua bentuk) harus konstan. Kursus ini secara umum tidak dimaksudkan untuk memberikan derivasi rumus yang akan Anda pelajari lebih rinci di kursus berikutnya, tetapi ada baiknya melakukannya untuk persamaan Bernoulli, sebagai contoh nilai dan pangkat satuan, dan konsep konservasi (misalnya, energi) yang diterapkan pada volume tetap yang disebut volume kontrol (metode analisis umum lainnya adalah menerapkan konservasi energi pada massa tetap yang disebut massa control).

Ada 3 jenis daya yang harus diperhatikan, dan jumlahnya harus dilestarikan. Dengan kata lain, kekekalan energi dapat dinyatakan sebagai: (Daya yang dibutuhkan untuk mendorong fluida ke dalam lubang masuk tabung - daya yang dikeluarkan di lubang keluar tabung) + (Daya kinetik fluida yang mengalir ke dalam tabung - daya kinetik fluida yang mengalir keluar tabung) + (Daya yang terkait dengan perubahan energi potensial gravitasi fluida) = 0

Ini adalah persamaan Bernoulli, yang hanya merupakan pernyataan tentang kekekalan aliran energi dengan empat asumsi penting: 1. Tidak dapat dimampatkan ($\rho = \text{konstan}$) 2. Tidak kental (tidak ada viskositas), jika tidak, kerja tambahan (dan dengan demikian penurunan tekanan tambahan $P_1 - P_2$) akan diperlukan untuk mendorong fluida antara lokasi 1 dan 2 3. Aliran tetap antara lokasi 1 dan 2, jika tidak, beberapa istilah tidak tetap (d/dt) akan ada 4. Kecepatan, tekanan, dan elevasi seragam di seluruh saluran masuk dan keluar, jika tidak, tidak akan ada nilai tunggal v_1 , P_1 atau z_1 , dst.

Uji fungsi: ditunjukkan bahwa untuk fluida statis ($v_1 = v_2 = 0$), $P(z) = P(0) - \rho g z$, atau $P(z) + \rho g z = P(0)$,

yang sama dengan persamaan Bernoulli untuk $z_2 = 0$.

Ingat kembali bahwa suku $\rho v^2/2$ disebut tekanan dinamis, yaitu peningkatan tekanan yang akan terjadi jika fluida diperlambat (pada z konstan) dari kecepatan v ke kecepatan nol.

Jika ada lebih dari satu saluran masuk atau keluar, kita masih harus menghemat energi, sehingga jumlah suku

Bernoulli harus sama pada saluran masuk dan keluar. Misalnya, jika ada dua saluran masuk (misalkan 1a dan 1b) dan dua saluran keluar (misalkan 2a dan 2b) maka:

$$\left(P_{1a} + \frac{1}{2}\rho v_{1a}^2 + \rho g z_{1a}\right) + \left(P_{1b} + \frac{1}{2}\rho v_{1b}^2 + \rho g z_{1b}\right) = \left(P_{2a} + \frac{1}{2}\rho v_{2a}^2 + \rho g z_{2a}\right) + \left(P_{2b} + \frac{1}{2}\rho v_{2b}^2 + \rho g z_{2b}\right)$$

Perhatikan bahwa persamaan Bernoulli mengasumsikan bahwa kerapatan (ρ) adalah konstan. Sekilas, hal ini mungkin menunjukkan bahwa persamaan ini tidak dapat digunakan untuk udara atau gas lain yang dapat dikompresi. Sebenarnya, persamaan Bernoulli dapat digunakan untuk gas jika bilangan Mach (rasio kecepatan terhadap kecepatan suara) secara signifikan.

kurang dari 1. Hal ini berlaku untuk sebagian besar situasi aliran umum, misalnya, untuk semua tujuan praktis, udara yang mengalir di atas mobil dapat dianggap memiliki kerapatan konstan.

Asumsi kepadatan konstan, aliran tetap, dan sifat konstan pada saluran masuk dan keluar cukup masuk akal dalam banyak keadaan. Menurut saya, keterbatasan paling signifikan dari persamaan Bernoulli adalah bahwa kerugian gesekan (viskositas) tidak dipertimbangkan. Bisakah kita menambahkan suku lain ke persamaan Bernoulli untuk memperhitungkan viskositas? Tidak, karena viskositas bersifat disipatif dan menyebabkan kerugian pada daya total (jumlah dari ketiga suku). Ke mana daya mengalir? Menjadi energi termal fluida (misalnya, menjadi lebih hangat). Selain itu, jumlah daya yang hilang bergantung pada lintasan, yaitu tabung yang lebih panjang atau lebih sempit akan memiliki lebih banyak kerugian, sedangkan ketiga suku di atas tidak bergantung pada panjang atau diameter tabung. Tentu saja, viskositas dapat dimasukkan ke dalam analisis aliran fluida, tetapi jauh lebih sulit dan tidak dapat dilakukan dengan persamaan sederhana seperti Bernoulli yang hanya bergantung pada keadaan awal dan

akhir (1 dan 2 dalam notasi kami) dan sama sekali tidak bergantung pada lintasan antara keadaan 1 dan 2.

C. Konservasi massa

Bagaimana cara menentukan kecepatan v ? Untuk aliran tetap dalam pipa, saluran atau saluran, laju aliran massa (dalam kg/s) harus sama di semua tempat dalam sistem aliran. Laju aliran massa ini merupakan hasil kali massa jenis fluida (ρ), kecepatan (v) dan luas penampang (A) pipa atau saluran tempat fluida mengalir, yaitu,

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho V)}{dt} = \rho \frac{dV}{dt} = \rho \frac{d(Ax)}{dt} = \rho \frac{dx}{dt} A = \rho v A$$

$$\Rightarrow \dot{m} = \rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

(persamaan 10)

Dimana lagi-lagi V adalah volume fluida dan x adalah posisi fluida. Dalam kasus persamaan Bernoulli, kita telah mengasumsikan bahwa densitasnya konstan, jadi untuk kasus ini (yaitu, cairan, serta gas pada bilangan Mach rendah) kita dapat menyederhanakannya menjadi:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

perhatikan bahwa vA memiliki satuan (panjang/waktu)(panjang)² = panjang³/waktu = volume/waktu, yaitu laju aliran volumetrik, biasanya diberi simbol Q . Jadi, untuk aliran tetap fluida tak termampatkan $Q_1 = Q_2$. Jika ada lebih dari 1 saluran masuk atau saluran keluar maka jumlah aliran massa di saluran masuk harus sama dengan aliran di saluran keluar, yaitu:

$$\rho_{1a} v_{1a} A_{1a} + \rho_{1b} v_{1b} A_{1b} = \rho_{2a} v_{2a} A_{2a} + \rho_{2b} v_{2b} A_{2b}$$

atau untuk aliran tak termampatkan ($\rho = \text{konstan}$)

$$v_{1a} A_{1a} + v_{1b} A_{1b} = v_{2a} A_{2a} + v_{2b} A_{2b} \text{ or } Q_{1a} + Q_{1b} = Q_{2a} + Q_{2b}$$

Kita dapat menggabungkan kekekalan massa (Persamaan 50) dengan kekekalan energi (Bernoulli, Persamaan 9), untuk menentukan keadaan fluida di outlet (lokasi "2") dengan sifat-sifatnya di inlet (lokasi "1").

D. Efek Kekentalan

Definisi viskositas

Persamaan Bernoulli hanya berlaku jika tidak ada viskositas (yaitu alirannya tidak kental). Fluida menahan gerakan, atau lebih khusus menahan gradien kecepatan, melalui viskositas (μ), yang didefinisikan oleh hubungan (disebut Hukum Viskositas Newton)

$$\tau_{xz} = \mu \frac{\partial v_x}{\partial y}$$

(persamaan 11)

di mana τ_{xz} adalah tegangan geser pada bidang x-z, v_x adalah komponen kecepatan pada arah x, dan $\partial v_x / \partial y$ adalah gradien kecepatan-x pada arah y.

Catatan tambahan: dalam persamaan di atas, kami telah menggunakan turunan parsial v_x terhadap y ($\partial v_x / \partial y$) bukan turunan total v_x terhadap y (dv_x / dy). Turunan parsial (yang dilambangkan dengan " ∂ " keriting dibandingkan dengan "d" lurus dari turunan total) adalah turunan dari fungsi dua atau lebih variabel, yang memperlakukan semua kecuali satu variabel sebagai konstanta. Misalnya jika $f(x, y, z) = x^2 y^3 - z^4$, maka $\partial f / \partial x = 2xy^3$, $\partial f / \partial y = 3x^2 y^2$ dan $\partial f / \partial z = -4z^3$. Dalam kasus ini yang dimaksud adalah tegangan geser pada x.

bidang z akibat efek viskos hanya bergantung pada bagaimana v_x berubah dalam arah y, bukan bagaimana v_x berubah dalam arah x atau z.

Jenis viskositas (μ) ini disebut viskositas dinamis. Karena τ_{xz} memiliki satuan gaya/luas = (ML/T²)/L², v_x memiliki satuan L/T dan y memiliki satuan L, viskositas μ memiliki satuan M/LT, misalnya kg/m s. Satuan ini tidak memiliki nama khusus, tetapi 1 g/cm s = 0,1 kg/m s = 1 Poise. Satuan centipoise = 0,01 Poise = 0,001 kg/m s sering digunakan

karena viskositas dinamis air pada suhu sekitar hampir tepat 1 centipoise.

Jenis viskositas lainnya adalah viskositas kinematik, yang merupakan viskositas dinamis dibagi dengan densitas:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{persamaan 12})$$

yang memiliki satuan $(M/LT)/(M/L^3) = L^2/T$, misalnya m^2/s . (Perhatikan bahwa simbol “v” (huruf Romawi ‘vee’) untuk kecepatan dan “n” (huruf Yunani ‘nu’) untuk viskositas kinematik serupa, hati-hati!) Sekali lagi, satuan ini tidak memiliki nama khusus tetapi $1 \text{ cm}^2/s = 10^{-4} \text{ m}^2/s = 1 \text{ Stoke}$, dan sekali lagi $1 \text{ centistoke} = 0,01 \text{ Stoke}$, yang hampir sama dengan viskositas kinematik air pada suhu sekitar. Satuan viskositas kinematik, L^2/T , sama dengan koefisien difusi, misalnya, sifat yang menggambarkan seberapa cepat setetes tinta akan menyebar dalam gelas kimia berisi air, sehingga interpretasi favorit tentang n adalah bahwa itu adalah difusivitas momentum. Hal ini menggambarkan seberapa cepat atau lambatnya momentum fluida dipertukarkan dengan benda padat yang melewati fluida (atau fluida yang melewati benda padat, seperti dalam kasus aliran dalam pipa).

E. Bilangan Reynold

Seberapa pentingkah viskositas dalam aliran tertentu? Hal itu bergantung pada kuantitas tak berdimensi yang disebut bilangan Reynolds (Re):

$$\text{Re} = \frac{\rho v l}{\mu} = \frac{v l}{\nu} \quad (\text{persamaan 13})$$

di mana l adalah skala panjang karakteristik aliran yang harus ditentukan. Dalam kasus sayap, l biasanya dipilih sebagai panjang sayap dalam arah aliran (yang disebut chord sayap.) Untuk aliran dalam pipa, l adalah diameter dalam pipa (d); dalam kasus ini, bilangan Reynolds akan ditulis sebagai Re_d untuk menunjukkan bahwa skala panjang yang digunakan adalah diameter d. Untuk aliran di sekitar

silinder atau bola, l adalah diameter luar (d) silinder atau bola. Juga, kecepatan fluida v berubah saat fluida mendekati objek, jadi v dipilih sebagai nilai jauh dari objek (biasanya disebut "kecepatan aliran bebas.") Untuk aliran di dalam pipa, v adalah kecepatan rata-rata fluida, yaitu laju aliran volume (galon per menit, $m^3/detik$) dibagi dengan luas penampang tabung.

Katekismus standar mekanika fluida menyatakan bahwa "bilangan Reynolds adalah rasio gaya inersia terhadap gaya viskos" tetapi ini tidak masuk akal. Pertama-tama tidak ada yang namanya "gaya inersia" dalam mekanika. Kedua, rvL bukanlah satuan gaya, begitu pula μ . Berikut interpretasi saya tentang Re . Tulis ulang Re sebagai:

$$Re = \frac{\rho v \lambda}{\mu} = \frac{\rho v^2}{\mu v / \lambda} \sim \frac{\text{Dynamic pressure}}{\text{Shear stress due to viscosity}} \quad \text{or}$$

$$Re = \frac{v \lambda}{\nu} = \frac{\lambda^2 / \nu}{\lambda / v} \sim \frac{\text{Viscous diffusion time scale}}{\text{Flow time scale}}$$

Penafsiran pertama mencatat bahwa $rv^2/2$ adalah tekanan dinamis yang disebutkan di atas dalam konteks persamaan Bernoulli dan gradien kecepatan $\partial v / \partial y$ sebanding dengan v/l , sehingga tegangan geser $\tau \sim \mu v / l$. Penafsiran kedua (yang merupakan favorit pribadi saya) mencatat bahwa skala waktu untuk semua jenis proses difusi adalah l^2/D di mana D adalah koefisien difusi untuk proses tersebut (difusivitas momentum n dalam kasus ini), dan skala waktu bagi fluida untuk bergerak sejauh l adalah l/v . Jadi, penafsiran kedua menyatakan bahwa bilangan Reynolds adalah rasio waktu bagi momentum (atau kurangnya momentum, seperti pada dinding stasioner dengan fluida yang bergerak melewatinya) untuk berdifusi melintasi jarak l dengan waktu bagi fluida untuk bergerak sejauh l .

Mengapa bilangan Reynolds bermanfaat? Selain menentukan seberapa penting viskositas dalam aliran tertentu, bilangan ini memungkinkan seseorang untuk menggunakan penskalaan. Misalnya, anggaplah Anda ingin

menentukan koefisien hambatan CD (bilangan tak berdimensi lainnya, yang akan dibahas ulang sebentar lagi) pada mobil yang panjangnya (L) 5 meter yang melaju pada kecepatan 30 m/detik (sekitar 67 mil/jam) dan Anda tidak memiliki terowongan angin yang cukup besar untuk menempatkan mobil sungguhan di dalamnya, tetapi Anda memiliki saluran air yang cukup besar untuk model mobil skala 1/5 (L = 1 meter). Viskositas kinematik udara pada suhu dan tekanan sekitar sekitar $1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{detik}$ dan viskositas air sekitar $1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$. Kemudian dengan memilih kecepatan air di saluran air untuk mendapatkan bilangan Reynolds yang sama, Anda dapat memperoleh pengukuran CD yang valid:

$$\text{Re} = \frac{v\lambda}{\nu} = \frac{v_{\text{air}}\lambda_{\text{air}}}{\nu_{\text{air}}} = \frac{v_{\text{water}}\lambda_{\text{water}}}{\nu_{\text{water}}} \Rightarrow \frac{(30 \text{ m/s})(5\text{m})}{1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = \frac{v_{\text{water}}(1 \text{ m})}{1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \Rightarrow v_{\text{water}} = 10 \text{ m/s}$$

Jadi model sepanjang 5 meter di udara yang bergerak pada kecepatan 30 m/s akan memiliki perilaku yang sama dengan model sepanjang 1 meter di air yang bergerak pada kecepatan 10 m/s. Ada keuntungan lain dalam penggunaan air, misalnya, penggunaan molekul pewarna fluoresensi yang ditambahkan ke air yang memudahkan visualisasi aliran menggunakan selemba cahaya laser.

DAFTAR PUSTAKA

- Hartono, Kamus Praktis Bahasa Indonesia (Jakarta: Rineka Cipta, 1992), h. 161.
- Heri Yudianto, Agung Widyastara, Fendy Wijarwanto, 2021 “dasar-dasar Teknik Mesin. Kementrian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi. Direktorat jenderal pendidikan Vokasi. Direktorat Sekolah menengah Kejuruan 2021
- Purwo Subekti 2010, Pengantar Teknik Mesin. Trianto, 2010. “Desain Pengembangan Pembelajaran Tematik”
- Post a comment, 2022. Mengenal lebih dekat apa itu Jurusan Teknik mesin.
- Wina Sanjaya, Strategi Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan (Jakarta: Kencana 2006), hal. 125)

BAB 2

PRINSIP PRINSIP DESAIN MESIN

2.1 Pendahuluan

Prinsip-prinsip fundamental dalam desain mesin meliputi sejumlah aspek yang krusial. Proses mendesain mesin merupakan kegiatan yang rumit dan melibatkan berbagai elemen yang saling berkaitan. Dalam hal ini, pemahaman terhadap prinsip-prinsip desain mesin menjadi hal yang esensial.

Kegiatan ini tidak hanya berfokus pada perhitungan teknis, tetapi juga mempertimbangkan faktor-faktor seperti estetika, kenyamanan pengguna, dan interaksi antara manusia dengan mesin. Aspek teknis mencakup pemilihan bahan yang sesuai, analisis daya tahan, serta pemodelan kinerja. Selain itu, desain mesin harus memikirkan siklus hidup produk dari tahap perancangan hingga pemeliharaan dan pembuangan, guna memastikan keberlanjutan.

Desain yang efektif juga harus mematuhi peraturan dan standar industri yang relevan, termasuk perhatian terhadap aspek keselamatan dan lingkungan. Memiliki pemahaman yang mendalam tentang mekanika, dinamika, dan termodinamika sangat penting untuk menciptakan desain yang efisien dan andal. Oleh karena itu, para insinyur perlu menguasai berbagai disiplin ilmu untuk mengintegrasikan semua elemen ini dengan baik.

Di era teknologi yang terus berkembang, pentingnya inovasi dalam desain mesin semakin meningkat. Pendekatan berbasis data, seperti penggunaan analisis big data dan machine learning, dapat memberikan dukungan dalam pengambilan keputusan desain yang lebih tepat. Selain itu, kerjasama antar disiplin, seperti teknik, desain produk, dan ilmu material, semakin penting untuk menciptakan solusi yang menyeluruh.

Desain mesin juga harus mampu beradaptasi dengan kebutuhan pasar dan perubahan preferensi konsumen, sehingga

proses desain harus fleksibel. Dengan mempertimbangkan masukan dari pengguna akhir, insinyur dapat menemukan area yang perlu diperbaiki dan mengoptimalkan desain sesuai harapan.

Prinsip-prinsip dasar dalam desain mesin tidak hanya berfungsi sebagai pedoman teknis, tetapi juga mendorong inovasi dan kreativitas. Dengan menggabungkan teori dan praktik serta memperhatikan berbagai faktor eksternal, desain mesin dapat menghasilkan produk yang tidak hanya memenuhi standar kinerja tinggi, tetapi juga berkontribusi pada kemajuan teknologi dan peningkatan kualitas hidup masyarakat.

2.2 Prinsip Desain Mesin

2.2.1 Tujuan dan Fungsi Mesin

Langkah pertama dalam desain mesin adalah memahami tujuan yang ingin dicapai. Setiap mesin akan melaksanakan fungsi tertentu, dan identifikasi fungsi ini sangat penting. Diperlukan evaluasi apa yang diharapkan dari mesin, termasuk spesifikasi teknis yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan tersebut.

Analisis fungsional merupakan proses untuk menilai bagaimana mesin akan beroperasi dan interaksi pengguna dengan mesin. Hal ini mencakup penentuan karakteristik yang harus ada pada mesin agar dapat berfungsi secara optimal. Dengan pemahaman yang jelas mengenai tujuan dan fungsi, desain dapat diarahkan untuk memenuhi ekspektasi pengguna secara lebih efektif.

2.2.2 Keandalan dan Keamanan

Keandalan adalah kunci untuk memastikan mesin beroperasi secara stabil dan aman. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan adalah:

- 1. Pemilihan material:** Memilih bahan yang tepat untuk menahan beban dan kondisi kerja yang dihadapi.
- 2. Analisis beban:** Melakukan perhitungan untuk memastikan bahwa komponen mesin dapat menahan tekanan dan penggunaan yang diharapkan.

3. **Pengujian:** Melakukan uji coba untuk mendeteksi potensi kegagalan sebelum mesin digunakan secara luas.
4. **Keamanan:** Merancang mesin dengan fitur yang melindungi pengguna dari kecelakaan dan kerusakan.

2.2.3 Efisiensi Energi

Efisiensi energi dalam desain mesin berfokus pada penggunaan energi yang optimal. Desain yang efisien tidak hanya mengurangi biaya operasional tetapi juga berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan. Dalam hal ini, pemilihan komponen yang hemat energi dan teknologi terbaru sangat penting.

Untuk mencapai efisiensi energi, insinyur dapat menerapkan berbagai solusi, seperti sistem penggerak yang lebih efisien atau mekanisme yang meminimalkan konsumsi energi. Dengan pendekatan yang tepat, mesin dapat beroperasi dengan kinerja maksimal sambil menggunakan energi yang minimal.

2.2.4 Keberlanjutan dan Dampak Lingkungan

Keberlanjutan menjadi semakin penting dalam desain mesin. Perlu mempertimbangkan siklus hidup mesin, dari tahap produksi hingga akhir penggunaan. Desain yang memungkinkan penggunaan ulang atau daur ulang komponen akan membantu mengurangi limbah dan dampak negatif terhadap lingkungan.

Pemilihan material yang ramah lingkungan juga merupakan bagian dari keberlanjutan. Menggunakan bahan-bahan yang dapat diperbarui atau yang memiliki dampak lingkungan yang rendah sangat dianjurkan. Dengan demikian, proses produksi dapat dilakukan dengan cara yang lebih bertanggung jawab terhadap lingkungan.

2.2.5 Kolaborasi dalam Desain

Perancangan mesin sering kali melibatkan kolaborasi antara berbagai disiplin ilmu. Kerja sama antar tim sangat penting untuk mencapai hasil yang optimal. Insinyur, desainer, dan ahli lainnya harus bekerja sama dalam merumuskan solusi yang inovatif dan efektif.

Komunikasi yang baik antar anggota tim dan dengan pihak lain, termasuk pengguna akhir, sangat penting. Pertukaran informasi dan umpan balik membantu memastikan bahwa semua perspektif dipertimbangkan dalam proses perancangan, yang pada akhirnya meningkatkan kualitas produk akhir.



Gambar 2.1. Kolaborasi Dalam Desain
(Sumber : teknik-mesin.com)

2.2.6 Pengujian dan Validasi

Pengujian merupakan tahap krusial dalam perancangan mesin. Setelah proses desain selesai, mesin harus diuji untuk memastikan bahwa semua fitur berfungsi dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi. Ini meliputi pengujian dalam berbagai kondisi untuk mengevaluasi performa dan keandalannya.

Setelah pengujian dilakukan, hasilnya harus dievaluasi untuk memastikan bahwa mesin memenuhi standar keselamatan dan performa. Validasi ini penting untuk

mengidentifikasi potensi masalah sebelum mesin diproduksi secara massal.

2.2.7 Inovasi dan Teknologi



Gambar 2.2. Inovasi Dan Teknologi
(Sumber : teknik-mesin.com)

Pemanfaatan teknologi terkini mengikuti perkembangan teknologi dalam mendesain mesin adalah suatu keharusan. Penggunaan alat dan metode modern, seperti perangkat lunak simulasi dan pemodelan 3D, dapat mempercepat proses desain dan meningkatkan akurasi hasil.

Inovasi juga mencakup adopsi teknologi baru yang dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas mesin. Dengan terus berinovasi, insinyur dapat menciptakan solusi yang lebih baik dan lebih efisien, yang akan memberikan keunggulan kompetitif di pasar.

DAFTAR PUSTAKA

- <https://teknik-mesin.com/perancangan-mesin-prinsip-dan-teknik-terbaik/>
- Hurst, Ken. 2006. *Prinsip – Prinsip Perancangan Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Norton, Robert L. (2011). *Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
- Shigley, Joseph E., & Mischke, Charles R. (2001). *Mechanical Engineering Design*. 7th ed. New York: McGraw-Hill.
- Gere, James M., & Timoshenko, Stephen P. (1997). *Mechanics of Materials*. 4th ed. Boston: PWS Publishing.
- Budynas, Richard G., & Nisbett, J. Keith. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 10th ed. New York: McGraw-Hill.
- Hibbeler, Russell C. (2016). *Mechanics of Materials*. 10th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Anderson, D. (2009). *Introduction to Engineering Design*. New York: Wiley.
- Pahl, G., & Beitz, W. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach*. 3rd ed. London: Springer.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). *Product Design and Development*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
- Hodge, B. G., & Joshi, S. (2003). *Engineering Design: An Introduction*. New York: CRC Press.
- Cross, N. (2008). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. 4th ed. Chichester: Wiley.
- Boothroyd, G., & Dewhurst, P. (2002). *Product Design for Manufacture and Assembly*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker.

BAB 3

MEKANIKA DAN DINAMIKA MESIN

3.1 Mekanika dan Dinamika Mesin

Ilmu mekanika dan dinamika mesin memiliki akar yang panjang dalam sejarah perkembangan teknologi. Konsep-konsep dasar mekanika sudah mulai dikembangkan sejak zaman kuno oleh para ilmuwan seperti *Archimedes* dan diteruskan oleh ilmuwan seperti *Galileo Galilei*, *Isaac Newton*, dan *Leonhard Euler*. Hukum gerak *newton*, misalnya, menjadi dasar analisis banyak sistem mekanis modern. Pada abad ke-19 hingga awal abad ke-20, perkembangan industri dan revolusi industri menciptakan kebutuhan untuk pemahaman yang lebih mendalam tentang dinamika mesin, terutama dalam merancang mesin-mesin berat seperti pada mesin uap, mesin pembakaran dalam, serta mesin pesawat terbang dan kendaraan. Dinamika suatu mesin mulai berkembang dengan lebih sistematis dan diterapkan pada mesin-mesin kompleks (Nivandi Supriagi, Tyiagita Mulyadi Hidayat and Alfian Dimas Ahsanul Rizki Ahmad, 2021).

Di abad ke-21, mekanika dan dinamika mesin terus berkembang dengan bantuan simulasi komputer dan analisis numerik. Simulasi komputer dengan teknologi komputer memungkinkan simulasi gerakan mekanis yang sangat kompleks dalam waktu singkat. Dengan menggunakan metode elemen hingga dan dinamika fluida komputasi, ahli mesin dapat mensimulasikan dan menguji kinerja mesin sebelum diproduksi. Analisis numerik merupakan ilmu tentang dinamika pada skala nano dan mikro mulai berkembang, terutama dalam pembuatan perangkat seperti sensor *mikroelektromekanis* yang digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik modern.

Mekanika dan dinamika mesin di era Industri 4.0 mengalami perkembangan yang signifikan seiring dengan adopsi teknologi-teknologi canggih yang memungkinkan efisiensi, kecepatan, dan presisi dalam proses industri. Industri

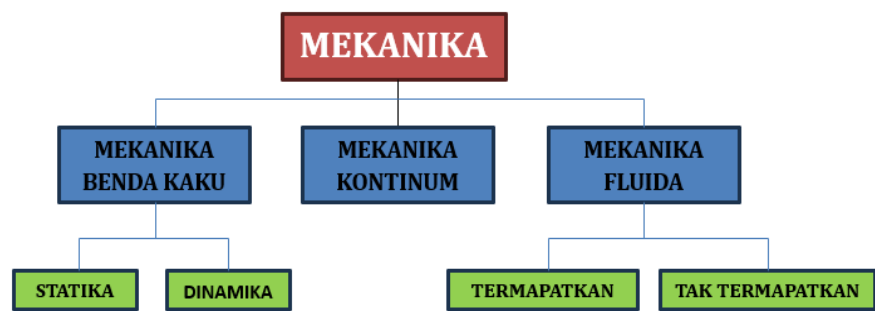
4.0 dikenal sebagai revolusi industri keempat yang ditandai dengan integrasi teknologi digital, kecerdasan buatan (*AI*), *Internet of Things (IoT)*, big data, dan otomasi yang semakin masif. Sistem mekanik yang sebelumnya bekerja secara manual atau dengan automasi sederhana kini diintegrasikan dengan teknologi-teknologi yang canggih. *Internet of Things* memungkinkan mesin-mesin industri saling terhubung melalui internet. Data *real-time* yang dikumpulkan dari sensor di setiap mesin dapat dipantau dan dianalisis untuk meningkatkan suatu efisiensi operasional, mengidentifikasi potensi kerusakan, dan melakukan perawatan secara prediktif (*predictive maintenance*). Kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin (*Machine Learning*) pada mesin-mesin modern dapat mengoptimalkan kinerjanya secara otomatis berdasarkan data yang dikumpulkan. Kecerdasan buatan dapat menganalisis pola-pola operasi dan memberikan rekomendasi untuk perbaikan atau bahkan secara otomatis menyesuaikan parameter mesin untuk mencapai kinerja optimal.

Perkembangan alat-alat berbasis komputer seperti *Computer-Aided Design (CAD)* dan *Computer-Aided Manufacturing (CAM)* menurut (Ristadi, Ngadiyono and Surono, 2021) telah mengubah cara desain mekanika mesin dibuat dan diimplementasikan. Kini, perancang dapat membuat simulasi dinamis dari sistem mekanik yang kompleks dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi sebelum sistem tersebut diproduksi. Mekanika dan dinamika mesin di era Industri 4.0 memanfaatkan *big data* untuk menciptakan suatu pemeliharaan *prediktif* yang jauh lebih efisien. Data yang dikumpulkan dari sensor-sensor yang dipasang pada mesin diolah dan dianalisis untuk memprediksi kapan sebuah mesin mungkin mengalami kegagalan. Dengan demikian, perbaikan bisa dilakukan sebelum kerusakan besar terjadi, menghindari *downtime* yang mahal dan meningkatkan durabilitas pada suatu mesin. Secara keseluruhan, perkembangan mekanika dan dinamika mesin di era Industri 4.0 sangat terkait dengan integrasi teknologi digital dan otomatisasi. Mesin menjadi lebih cerdas, lebih terhubung, dan lebih mampu mengelola secara diri sendiri dengan sedikit intervensi manusia. Perkembangan ini tidak hanya pada

meningkatkan efisiensi dan produktivitas, tetapi juga membuka peluang baru dalam desain dan pengembangan mesin-mesin masa depan yang lebih kompleks dan efisien (Susanto, Mahendra and Andriyani, 2024).

3.2 Konsep Dasar Mekanika Dalam Mesin

Mekanika teknik merupakan suatu cabang dari ilmu teknik yang mempelajari perilaku benda di bawah pengaruh gaya atau tekanan. Tujuannya adalah untuk memahami bagaimana gaya dan momen mempengaruhi gerak, keseimbangan, dan deformasi suatu benda, dan bagaimana benda tersebut dapat didesain serta diperbaiki agar mampu menahan beban yang dihadapi. Mekanika teknik merupakan bagian penting dari banyak disiplin ilmu teknik seperti teknik sipil, teknik mesin, teknik aeronautika, dan teknik material. Ilmu mekanika memiliki peran yang sangat penting dalam sistem analisis kerekayasaan karena menjadi fondasi utama dalam memahami, merancang, dan menganalisis perilaku komponen-komponen teknik dan struktur yang digunakan dalam berbagai bidang rekayasa. Ilmu mekanika pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga kelompok utama berdasarkan sifat materi pembangun bendanya, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.1. Kelompok Ilmu Mekanika

3.1.1 Mekanika Benda Kaku

Mekanika Benda Kaku (*Rigid Body Mechanics*) adalah cabang dari mekanika yang mempelajari perilaku benda yang dianggap tidak mengalami deformasi (perubahan bentuk) ketika

gaya bekerja padanya. Dalam analisis mekanika benda kaku, benda dianggap sepenuhnya kaku, artinya jarak antara dua titik di dalam benda tidak pernah berubah, bahkan di bawah pengaruh gaya. Meskipun ini merupakan asumsi ideal, konsep ini sangat berguna dalam banyak aplikasi teknik karena banyak benda teknik, seperti mesin dan struktur bangunan, dapat dianggap sebagai benda kaku dalam perhitungan praktis. Mekanika benda kaku dibagi menjadi **statika** dan **dinamika**, yang masing-masing mempelajari benda dalam keadaan diam atau bergerak. **Statika** berfokus pada benda kaku yang seimbang, sedangkan **dinamika** mempelajari gerakan benda akibat pengaruh gaya. Keduanya sangat penting dalam rekayasa untuk merancang dan menganalisis struktur, mesin, dan sistem yang tidak mengalami deformasi, memastikan bahwa mereka aman, stabil, dan berfungsi sesuai kebutuhan.

A. Statika

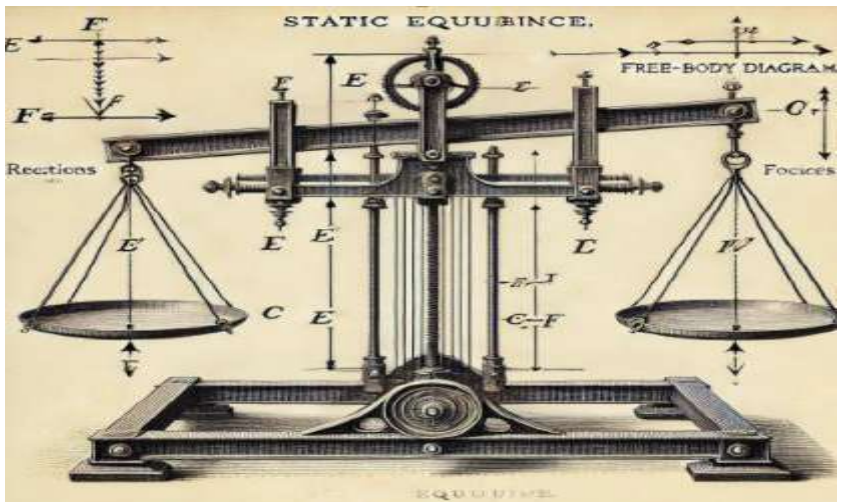
Statika Mekanika Benda Kaku adalah cabang dari mekanika yang mempelajari benda kaku dalam keadaan setimbang, artinya benda tidak mengalami gerak atau percepatan ketika gaya-gaya bekerja padanya. Dalam statika, asumsi dasar yang digunakan adalah bahwa benda bersifat kaku, tidak mengalami deformasi (perubahan bentuk) akibat beban, dan berada dalam kondisi kesetimbangan. Statika benda kaku merupakan landasan penting dalam desain struktur dan mesin karena banyak sistem fisik yang dapat dianalisis menggunakan prinsip-prinsip statis (Andriawan, 2023). Statika adalah bagian dari mekanika benda kaku yang mempelajari benda dalam keadaan seimbang. Artinya, gaya-gaya yang bekerja pada benda kaku ini akan selalu saling menyeimbangkan sehingga benda tidak bergerak atau bergerak dengan kecepatan konstan. Keseimbangan gaya merupakan benda kaku dikatakan dalam keseimbangan statis jika total gaya yang bekerja padanya dalam semua arah sama dengan nol. Ini berlaku baik untuk benda yang diam maupun benda yang bergerak dengan kecepatan konstan. Persamaannya adalah:

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0$$

Dimana,

F_x , F_y dan F_z adalah komponen gaya pada sumbu x, y, dan z.

Dengan prinsip statika, dapat memastikan bahwa titik berat sistem berada pada posisi yang tepat sehingga mencegah ketidakseimbangan yang dapat mempengaruhi kinerja atau akurasi alat. Penerapan keseimbangan gaya pada mesin-mesin presisi atau peralatan pengukuran, penting untuk menjaga keseimbangan benda atau bagian dari mesin. Misalnya, dalam desain timbangan atau komponen presisi tinggi, statika digunakan untuk memastikan distribusi gaya yang seimbang sehingga tidak terjadi pergeseran atau rotasi yang tidak diinginkan.



Gambar 3.2. Keseimbangan Gaya Statika

Gambar di atas menjelaskan tentang keseimbangan statis pada desain timbangan. Balok horizontal pada timbangan didukung di titik *pivot* tengah, dengan dua platform di kedua sisi. Berat yang ditempatkan pada masing-masing platform menghasilkan gaya yang bekerja ke bawah, dan panah-panah menunjukkan gaya reaksi di titik *pivot*. Diagram

bebas memperlihatkan keseimbangan gaya dan momen untuk memastikan bahwa balok tetap horizontal, yang menggambarkan prinsip keseimbangan statis.

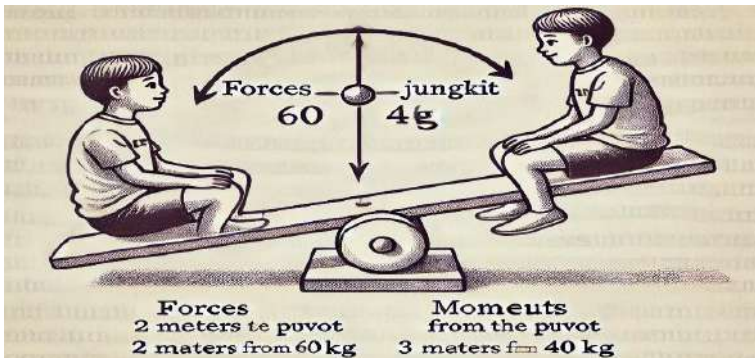
Statika keseimbangan momen adalah bagian penting dari statika yang membahas tentang bagaimana sebuah benda atau sistem tidak mengalami rotasi dan berputar saat dipengaruhi oleh gaya. Momen adalah efek rotasi yang dihasilkan oleh gaya yang bekerja pada benda terhadap titik acuan tertentu, yang sering disebut sebagai sumbu rotasi. Dalam analisis keseimbangan momen, enam persamaan keseimbangan digunakan, yaitu tiga untuk gaya translasi dan tiga untuk momen rotasi. Persamaannya adalah:

$$\sum M_x = 0, \sum M_y = 0, \sum M_z = 0$$

Dimana,

M_x , M_y dan M_z adalah komponen gaya pada sumbu x, y, dan z.

Sebuah benda akan berada dalam keseimbangan rotasi jika jumlah momen total yang bekerja pada benda terhadap suatu titik adalah nol. Artinya, semua momen yang menyebabkan rotasi searah jarum jam (momen negatif) harus diimbangi oleh momen yang menyebabkan rotasi berlawanan arah, sehingga tidak ada gerakan rotasi yang dihasilkan.



Gambar 3.3. Keseimbangan Momen Statika

Gambar ilustrasi di atas menunjukkan keseimbangan momen pada jungkat-jungkit, di mana dua orang duduk pada posisi yang berbeda, dengan gaya yang berbeda pula. Gambar ini akan menunjukkan bagaimana momen yang dihasilkan seimbang.

B. Dinamika

Dinamika mekanika benda kaku memberikan fondasi penting untuk memahami dan merancang sistem mekanis dalam berbagai bidang teknik dan sains. **Dinamika benda kaku** adalah cabang dari mekanika yang mempelajari gerak benda yang tidak mengalami deformasi atau perubahan bentuk ketika gaya bekerja padanya. Benda kaku ini memiliki dua jenis gerakan utama yaitu **translasi** (gerak lurus) dan **rotasi** (gerak melingkar). Dinamika benda kaku mencakup hukum-hukum fisika yang mengatur gerak benda kaku akibat pengaruh gaya eksternal dan torsi (momen gaya). Gerak translasi pada benda kaku mengalami gerak translasi ketika seluruh bagian benda bergerak sejajar, dengan setiap titik benda menempuh jarak yang sama. Misalnya, ketika sebuah mobil bergerak maju, seluruh mobil berpindah dalam satu arah tanpa berputar. Pada gerak translasi, orientasi benda tidak berubah, dan seluruh bagian benda berpindah sejajar tanpa mengalami rotasi. Dalam gerak translasi, tidak ada perubahan sudut (rotasi), sehingga semua titik pada benda memiliki lintasan yang identik. Gerak translasi diatur oleh hukum-hukum Newton, terutama hukum kedua Newton, yang menyatakan bahwa hubungan antara gaya, massa, dan percepatan benda. Rumus-rumus dasar yang digunakan dalam gerak translasi, yaitu:

$$F = m \cdot a$$

Dimana,

F adalah gaya total yang bekerja pada benda (N).

m adalah massa benda (kg).

a adalah percepatan benda (m/s^2).

Kecepatan benda dalam gerak translasi berubah seiring waktu jika ada percepatan. Hubungan antara kecepatan, percepatan, dan waktu diberikan oleh persamaan:

$$v = v_0 + a \cdot t$$

Dimana,

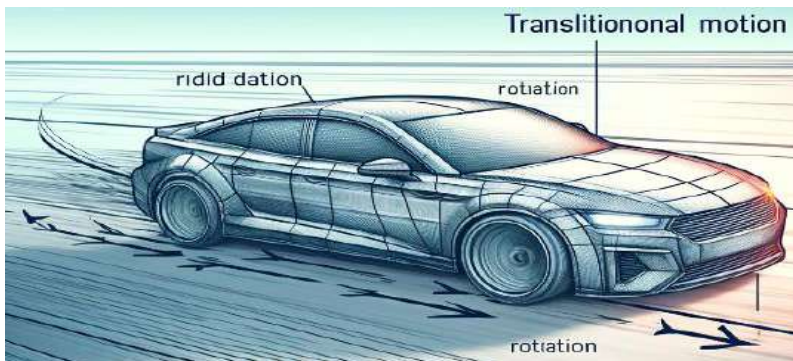
v adalah kecepatan akhir (m/s).

v_0 adalah kecepatan awal (m/s).

a adalah percepatan (m/s^2).

t adalah waktu (s).

Gerak translasi banyak diterapkan dalam berbagai bidang, baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam sistem mekanis. contoh penerapannya Kendaraan yang melaju di jalan. Ketika sebuah mobil bergerak lurus di jalan, seluruh bagian mobil berpindah dengan kecepatan yang sama (Rizky *et al.*, 2022). Dalam hal ini, mobil mengalami gerak translasi lurus tanpa rotasi. Setiap titik pada mobil berpindah dengan jarak yang sama dan dalam waktu yang sama.



Gambar 3.4. Gerak Translasi Dinamika

Gambar di atas menunjukkan sebuah mobil yang bergerak lurus di jalan, menggambarkan gerak translasi pada benda kaku. Dalam gerak ini, mobil berpindah ke depan dengan seluruh bagiannya bergerak secara sejajar dan seragam, tanpa terjadi perubahan orientasi dan konsep gerak translasi pada benda kaku, di mana setiap bagian dari mobil

bergerak maju dengan kecepatan yang sama, menggambarkan dinamika translasi lurus.

Rotasi pada benda kaku adalah gerakan di mana semua titik pada benda bergerak mengelilingi suatu sumbu tetap. Sumbu ini bisa berada di dalam atau di luar benda, tergantung pada situasinya. Dalam gerak rotasi, setiap titik pada benda kaku memiliki lintasan melingkar dengan jari-jari tertentu, tetapi benda secara keseluruhan tidak mengalami perubahan bentuk atau orientasi relatif antar bagiannya. Rotasi pada benda kaku banyak ditemui dalam kehidupan sehari-hari, seperti pada roda yang berputar, baling-baling pada kipas, atau gerakan planet yang berputar mengelilingi porosnya. Sumbu rotasi adalah garis imajiner yang menjadi pusat perputaran benda. Semua titik pada benda akan berputar mengelilingi sumbu ini. Jika sumbu rotasi tetap (tidak bergerak), maka memiliki rotasi murni. Persamaannya adalah:

$$\omega = \omega_0 + \alpha \cdot t$$

Dimana,

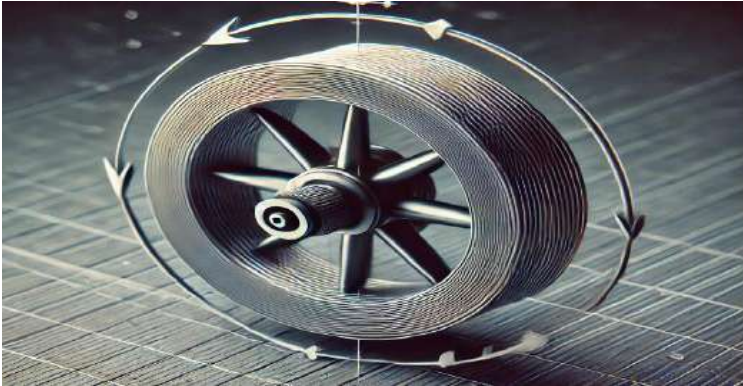
ω adalah kecepatan sudut akhir (rad/s).

ω_0 adalah kecepatan sudut awal (rad/s).

α adalah percepatan sudut (rad/s^2).

t adalah waktu (s).

Sebuah roda yang berputar di sekitar porosnya adalah contoh klasik gerak rotasi. Ketika gaya diberikan pada tepi roda, torsi yang dihasilkan menyebabkan roda berputar. Kecepatan sudut roda dan percepatan sudutnya tergantung pada torsi dan momen inersia roda.



Gambar 3.5. Gerak Rotasi Dinamika

Gambar di atas adalah ilustrasi sebuah roda yang berputar di sekitar sumbu tetapnya, menggambarkan gerak rotasi pada benda kaku. Setiap titik pada roda mengikuti lintasan melingkar di sekitar sumbu pusat, menunjukkan konsep dasar rotasi. Gambar ini menampilkan bagaimana roda berputar dengan arah rotasi yang ditandai oleh panah di sepanjang keliling roda dan gerak rotasi bekerja pada benda kaku, dengan setiap titik bergerak di lintasan melingkar.

3.1.2 Mekanika Kontinum

Mekanika kontinum adalah suatu cabang dari mekanika yang mempelajari perilaku benda padat dan fluida (gas dan cairan) dengan mengabaikan struktur molekul benda tersebut. Dalam pendekatan ini, benda dianggap sebagai medium kontinu, artinya setiap titik pada benda dapat didefinisikan dengan parameter-parameter seperti tegangan, regangan, dan kecepatan tanpa memperhatikan sifat mikroskopis. Hal ini dapat disimpulkan bahwa mekanika kontinum menggunakan asumsi bahwa materi yang sedang dianalisis terus menerus tersebar tanpa adanya ruang kosong atau diskontinuitas dalam skala makro.

Pada material science mekanika kontinum digunakan untuk memprediksi bagaimana material akan bereaksi terhadap tekanan, suhu, dan deformasi. Hal ini penting dalam desain material komposit, polimer, dan logam (Sinaga and Saidah,

2023). *Hukum Hooke* (untuk deformasi elastis) menyatakan bahwa dalam batas elastisitas, tegangan sebanding dengan regangan. Persamaannya adalah:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

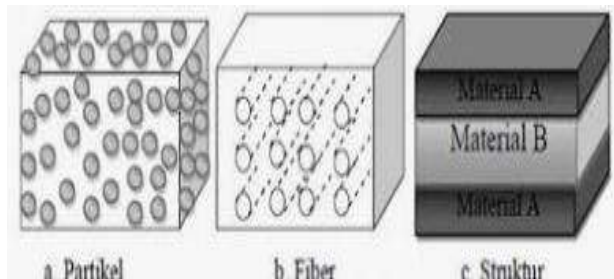
Dimana,

σ adalah tegangan (N/m^2).

E adalah modulus elastisitas atau modulus Young (Pa).

ε adalah regangan (*strain*).

Pada komposit dengan serat penguat seperti serat karbon atau serat aramid memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi karena ikatan molekul yang kuat pada fase penguat. Molekul-molekul dalam fase penguat tersusun sedemikian rupa sehingga memberikan kekakuan tinggi pada komposit, membuatnya sulit untuk mengalami deformasi elastis, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.6. Mekanika Kontinum Pada Partikel Komposit
(Sumber: <http://digilib.unila.ac.id/20678/15/BAB%20II.pdf>)

3.1.3 Mekanika Fluida

Mekanika fluida adalah cabang dari mekanika yang mempelajari perilaku cairan (liquid) dan gas (gas) dalam keadaan diam (statik) dan bergerak (dinamik). Mekanika fluida mencakup analisis gaya yang bekerja pada fluida, serta bagaimana fluida tersebut berinteraksi dengan benda yang ada di sekitarnya. Konsep dasar dalam mekanika fluida mencakup tekanan, aliran, dan sifat-sifat fluida (Asiva Noor Rachmayani,

2024). Tekanan adalah gaya per satuan luas yang diterapkan oleh fluida. Tekanan dalam fluida statis dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{F}{A}$$

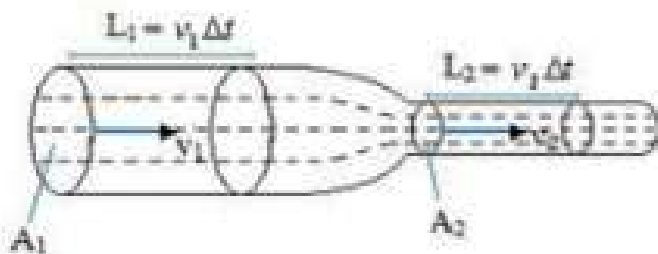
Dimana,

P adalah tekanan (*Pascal, Pa*).

F adalah gaya yang bekerja (*N*).

A adalah luas penampang (m^2).

Hukum Pascal menyatakan bahwa perubahan tekanan yang diterapkan pada fluida dalam ruang tertutup akan diteruskan secara merata ke seluruh bagian fluida, dapat dijelaskan bahwa bagaimana sistem hidrolik bekerja. Aliran fluida dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu aliran laminar adalah aliran yang teratur dan terprediksi, di mana partikel fluida bergerak dalam jalur yang paralel. aliran turbulen adalah aliran yang tidak teratur, di mana partikel fluida bergerak dalam arah yang berbeda dan sering kali terjadi pada kecepatan tinggi (Irfan and Supriyatna, 2024).



Gambar 3.7. Aliran Fluida Dalam Pipa

(Sumber: <https://fluidadinamis.weebly.com/persamaan-kontinuitas.html>)

Aliran fluida dalam pipa adalah salah satu topik penting dalam mekanika fluida, yang mempelajari perilaku fluida saat mengalir melalui saluran. Pemahaman tentang aliran ini sangat krusial dalam berbagai aplikasi teknik, termasuk sistem perpipaan untuk air, gas, minyak, dan bahan kimia. Berikut

adalah penjelasan yang lebih luas tentang aliran fluida dalam pipa. Aliran fluida adalah pergerakan partikel-partikel dalam suatu fluida (baik cair maupun gas) yang bergerak dari satu lokasi ke lokasi lain. Ketika fluida mengalir melalui pipa, interaksi antara fluida dan dinding pipa serta antara partikel-partikel fluida itu sendiri sangat mempengaruhi sifat dan pola aliran.

A. Mekanika Fluida Termampatkan

Mekanika fluida termampatkan (*compressible fluid mechanics*) adalah cabang dari mekanika fluida yang mempelajari perilaku fluida (gas atau cairan) yang mengalami perubahan signifikan dalam densitasnya (massa jenis) akibat variasi tekanan dan suhu. Dalam kondisi termampatkan, perubahan densitas memiliki dampak besar pada sifat aliran fluida, dan analisis fluida dalam kondisi ini menjadi lebih kompleks dibandingkan dengan fluida yang tidak termampatkan (Wardany Kusumasari, 2022). Fluida seperti gas (udara, nitrogen, dan sebagainya) mengalami perubahan signifikan dalam densitas ketika terjadi variasi tekanan dan suhu. Fenomena ini sangat penting dalam berbagai aplikasi industri, terutama pada kecepatan aliran yang tinggi, seperti dalam aliran gas di mesin jet, kompresor, dan aliran di sekitar sayap pesawat terbang.

Karakteristik utama dari fluida termampatkan adalah kemampuan fluida tersebut untuk mengalami perubahan volume dan densitas di bawah pengaruh tekanan. Fenomena-fenomena yang signifikan dalam fluida termampatkan antara lain, **Perubahan densitas** dalam aliran gas dengan tekanan tinggi atau aliran berkecepatan tinggi (misalnya, aliran *sonik* atau *supersonik*), perubahan tekanan dapat mengakibatkan perubahan yang signifikan dalam densitas fluida. **Gelombang kejut** pada kecepatan tinggi (lebih tinggi dari kecepatan suara atau *supersonik*), perbedaan tekanan yang ekstrem dapat memicu terbentuknya gelombang kejut, di mana terjadi perubahan tekanan, densitas, dan suhu secara tiba-tiba. **Kecepatan suara** dalam fluida termampatkan, kecepatan aliran sering dibandingkan dengan kecepatan suara di dalam fluida.

Angka Mach adalah rasio antara kecepatan aliran dan kecepatan suara di dalam fluida tersebut, dapat membantu mengklasifikasikan aliran menjadi subsonik, sonik, dan supersonik. **Efek termodinamika** fluida termampatkan juga dipengaruhi oleh hukum termodinamika, karena variasi tekanan sering diiringi dengan perubahan energi internal dan suhu fluida. Persamaan kontinuitas menggambarkan konservasi massa dalam aliran fluida termampatkan. Dalam aliran satu dimensi, persamaan kontinuitas dapat ditulis sebagai:

$$\frac{d(\rho Au)}{dx} = 0$$

Dimana,
 ρ adalah densitas fluida,
 A adalah luas penampang aliran,
 u adalah kecepatan aliran.

B. Mekanika Fluida Tak Termampatkan

Mekanika fluida tak termampatkan (*incompressible fluid mechanics*) adalah cabang dari mekanika fluida yang mempelajari perilaku fluida dengan asumsi bahwa densitas fluida tidak berubah secara signifikan di bawah pengaruh tekanan. Ini biasanya diterapkan untuk fluida seperti air dan cairan lain, serta gas pada aliran dengan kecepatan rendah. Dalam mekanika fluida tak termampatkan, analisis menjadi lebih sederhana dibandingkan dengan fluida termampatkan karena kita dapat mengabaikan perubahan densitas fluida yang densitasnya dianggap konstan, artinya volume atau massa jenis tidak berubah meskipun ada perubahan tekanan atau gaya (Dahlan *et al.*, 2019). Cairan seperti air sering kali diasumsikan sebagai fluida tak termampatkan, sementara gas hanya dianggap tak termampatkan dalam kondisi aliran lambat. **Fluida tak termampatkan ideal** dalam banyak kasus, fluida dianggap sebagai fluida ideal (*ideal fluid*) yang tak termampatkan dan tanpa viskositas, ini adalah asumsi teoritis yang memudahkan analisis. **Fluida nyata tak termampatkan** dalam realitas, fluida memiliki

viskositas, tetapi dalam banyak kasus seperti aliran air pada kecepatan rendah, pengaruh perubahan densitas dapat diabaikan. Persamaan kontinuitas untuk fluida tak termampatkan didasarkan pada prinsip bahwa massa fluida yang mengalir melalui suatu titik harus tetap konstan, karena densitas dianggap konstan.

$$\frac{d}{dx}(\rho Au) = 0$$

Dimana,

ρ adalah densitas fluida,

A adalah luas penampang aliran,

u adalah kecepatan aliran.

3.3 Analisis Gaya, Momen, Dan Kekuatan Dalam Mesin

Gaya, momen, dan kekuatan adalah konsep fundamental dalam mekanika yang sangat penting dalam rekayasa mesin. Memahami ketiga konsep ini dapat membantu kita menganalisis dan merancang berbagai sistem mekanis. elemen kunci dalam desain dan analisis mesin. Memahami bagaimana ketiga konsep ini berinteraksi sangat penting untuk merancang sistem mekanis yang aman dan efisien. Setiap ahli mesin dan teknisi harus memiliki pemahaman yang baik tentang prinsip-prinsip ini untuk menghindari kegagalan dalam komponen mesin dan struktur.

3.3.1 Analisis Gaya Dalam Mesin

Analisis gaya dalam mesin merupakan salah satu aspek penting dalam rekayasa mekanik dan desain teknik. Ini melibatkan penentuan dan evaluasi gaya yang bekerja pada komponen atau sistem mesin untuk memastikan bahwa mereka dapat beroperasi dengan aman dan efisien. proses yang krusial dalam rekayasa untuk memastikan bahwa desain dapat memenuhi kriteria kinerja dan keselamatan. Dengan pemahaman yang baik tentang gaya, momen, dan interaksinya, ahli mesin dapat merancang mesin dan struktur yang efisien dan dapat diandalkan. Mengidentifikasi, menghitung, dan

mengevaluasi gaya yang bekerja pada elemen-elemen dalam suatu sistem mekanis, ini penting karena Menjamin keamanan dan keandalan desain, memastikan bahwa material yang digunakan dapat menahan gaya yang diterapkan tanpa mengalami kegagalan, dan mengoptimalkan desain untuk efisiensi dan kinerja.

Gaya adalah interaksi yang dapat mengubah keadaan gerak suatu objek. Dalam mesin, gaya dapat berasal dari berbagai sumber, seperti gaya eksternal dan gaya internal. Analisis gaya dapat melibatkan berbagai jenis gaya, antara lain gaya gravitasi merupakan gaya yang menarik objek ke arah pusat bumi. Gaya gesekan merupakan gaya yang bertindak berlawanan arah dengan gerakan relatif antara dua permukaan. Gaya *Tension* merupakan gaya yang terjadi dalam tali atau kabel yang ditarik. Gaya tekan dan tarik merupakan gaya yang menyebabkan material mengalami deformasi.

3.3.2 Analisis Momen Dalam Mesin

Analisis momen dalam mesin adalah aspek penting dalam rekayasa mekanik yang berkaitan dengan studi gaya dan torsi yang bekerja pada elemen struktural. Momen, yang sering disebut sebagai torsi, dapat menyebabkan rotasi atau perubahan posisi pada komponen mesin. Pemahaman yang baik tentang analisis momen sangat penting dalam desain dan evaluasi berbagai sistem mekanis, termasuk mesin, struktur, dan alat. proses penting dalam rekayasa yang memastikan bahwa desain dapat memenuhi kriteria kinerja dan keselamatan. Dengan pemahaman yang baik tentang prinsip-prinsip momen dan interaksinya, ahli mesin dapat merancang komponen dan sistem yang efisien dan dapat diandalkan. Kecenderungan suatu gaya untuk menyebabkan rotasi suatu objek seputar titik pivot atau sumbu. Momen diukur dalam satuan *Newton-meter (Nm)* dalam Sistem Internasional (*SI*) dengan rumus.

$$M = F \cdot d$$

Dimana,

M adalah momen (Nm)

F adalah gaya (N)

d adalah jarak dari sumbu rotasi (m)

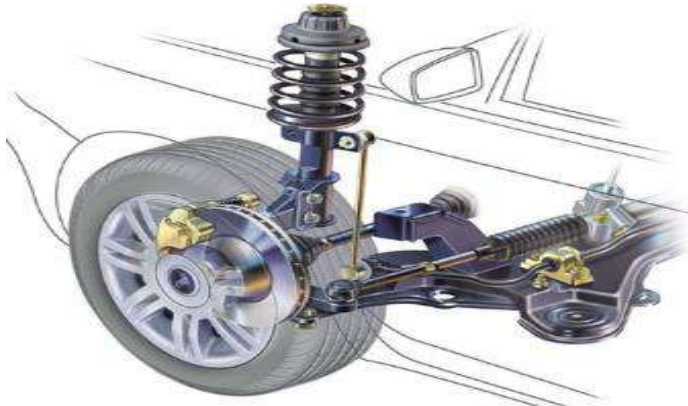
Arah momen dapat ditentukan menggunakan aturan tangan kanan; jika gaya berputar searah jarum jam, momen dianggap negatif, sedangkan jika berlawanan arah jarum jam, momen dianggap positif. Momen inersia adalah ukuran distribusi massa suatu objek seputar sumbu rotasi dan mempengaruhi bagaimana objek berputar saat dikenakan gaya dan persamaan momen digunakan untuk menentukan respons sistem terhadap gaya dan momen yang diterapkan. Analisis momen digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan teknik sebagai contoh dalam desain mobil, analisis momen diperlukan untuk komponen seperti poros penggerak dan suspensi untuk memastikan performa dan keamanan.

3.3.3 Analisis Kekuatan Dalam Mesin

Analisis kekuatan dalam mesin adalah proses penting dalam rekayasa yang bertujuan untuk menentukan kemampuan material dan struktur untuk menahan beban dan gaya yang diterapkan selama operasi. Analisis ini sangat penting dalam desain dan pengembangan mesin, komponen, dan sistem, memastikan bahwa mereka dapat beroperasi dengan aman, efisien, dan dapat diandalkan. Kekuatan mengacu pada kemampuan material untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan atau deformasi permanen. Kekuatan ini biasanya diukur dalam satuan tekanan, seperti *Pascal* (Pa) atau Newton per meter persegi (N/m^2). Kekuatan material dapat bervariasi tergantung pada jenis dan kondisi material. Dalam industri otomotif dan penerbangan, analisis kekuatan sangat penting untuk memastikan bahwa komponen seperti rangka pesawat dan bodi mobil dapat menahan beban dan tekanan selama operasi. Desain komponen mesin seperti gear, poros, dan bantalan, analisis kekuatan memastikan bahwa komponen dapat menahan gaya dan momen yang diterapkan.

3.4 Prinsip-Prinsip Dinamika Dalam Perencanaan Dan Pengembangan Mesin

Prinsip-prinsip dinamika dalam suatu perencanaan dan pengembangan mesin adalah dasar untuk memahami bagaimana gaya, gerak, energi, dan momentum mempengaruhi kinerja mesin. Analisis dinamika sangat penting dalam mendesain mesin yang efisien, aman, dan tahan lama. Prinsip-prinsip ini mencakup hukum gerak newton, teori energi, dinamika benda tegar, vibrasi, dan sistem kontrol yang mempengaruhi mesin dalam berbagai kondisi operasional. Prinsip-prinsip ini secara khusus berfokus pada bagaimana komponen mesin bergerak di bawah pengaruh gaya eksternal maupun internal. Prinsip-prinsip dinamika ini sangat penting dalam mendesain mesin yang efektif dan efisien, karena setiap mesin yang bergerak terlibat dalam aspek-aspek dinamika. Dalam perencanaan mesin, getaran adalah faktor penting yang harus dikelola. Getaran yang tidak terkendali bisa menyebabkan kerusakan pada komponen mesin dan menurunkan umur pakainya. Prinsip-prinsip dinamika getaran, seperti frekuensi natural dan resonansi, digunakan untuk menghindari situasi di mana getaran dapat merusak sistem. Contoh penerapannya dalam desain mesin jet atau turbin angin, penting untuk menghitung frekuensi natural dari baling-baling atau bilah turbin agar tidak beresonansi dengan frekuensi kerja, yang dapat menyebabkan kerusakan akibat getaran yang berlebihan. Kinetika mencakup studi gaya dan momen yang bekerja pada benda selama bergerak. Ini termasuk gaya inersia, gaya eksternal, dan gaya gesekan yang harus diperhitungkan dalam perancangan. Dalam desain mesin, kinetika membantu dalam perhitungan kekuatan yang harus dimiliki komponen, serta bagaimana gaya-gaya tersebut mempengaruhi performa dan keandalan sistem. Contoh penerapannya pada perancangan mesin mobil, kinetika digunakan untuk menghitung gaya-gaya yang bekerja pada piston saat bergerak naik-turun di dalam silinder mesin. Desain piston dan poros engkol harus dapat menangani gaya inersia yang besar pada kecepatan tinggi tanpa mengalami kerusakan.



Gambar 3.8. Sistem Suspensi Pada Mobil

(Sumber: <https://www.merdeka.com/otomotif/tips-otomotif-mengenal-macpherson-strut-sistem-suspensi-sejuta-umat-untuk-segala-mobil-33259-mvk.html>)

Gambar di atas adalah sistem suspensi yaitu aplikasi nyata dari dinamika, di mana kinetika dan gaya-gaya yang bekerja pada roda kendaraan dihitung untuk menjaga kenyamanan dan kestabilan kendaraan. Desain suspensi memanfaatkan pegas dan damper untuk menyerap getaran dan gaya yang berasal dari permukaan jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriawan, M.R. (2023) 'Analisis Pengaruh Jarak Antar Lubang dan Tebal Plat terhadap Konsentrasi Tegangan pada Plat Beban Tarik Menggunakan Simulasi Statika Struktural', 7.
- Asiva Noor Rachmayani (2024) 'Konsep Dasar Mekanika Fluida Dan Karakteristiknya', p. 6.
- Dahlan, U.A. *et al.* (2019) 'Pemodelan Persamaan Navier-Stokes untuk Aliran Fluida Tidak Termampatkan', 6(1), pp. 22–39.
- Irfan, M. and Supriyatna, D. (2024) 'Konsep Dasar Mekanika Fluida', *Jurnal Multidisiplin Saintek*, 3(2), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.3785/kohe.v3i2.2919><https://ejournal.warunayama.org/index.php/kohe/article/view/2919>.
- Nivandi Supriagi, N.S., Tyiagita Mulyadi Hidayat, T.M.H. and Alfian Dimas Ahsanul Rizki Ahmad, A.D.A.R.A. (2021) 'Pendidikan Manufaktur Berbasis Gamifikasi Untuk Meningkatkan Inovasi Di Era Industri 4.0', *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), pp. 14–21. Available at: <https://doi.org/10.34306/adimas.v1i1.230>.
- Ristadi, F.A., Ngadiyono, Y. and Surono, S. (2021) 'Perubahan Budaya Kerja Industri Dengan Model-Based Definition', *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 6(2), pp. 112–123. Available at: <https://doi.org/10.21831/dinamika.v6i2.44131>.
- Rizky, A. *et al.* (2022) 'Perancangan Mobil Listrik Menggunakan Motor DC Brushed 36 Volt 450 Watt', 11(1), pp. 10–20.
- Sinaga, M. and Saidah, A. (2023) 'Pengujian Kuat Tarik Dan Uji Lengkung Baja Tulangan Sirip 280 Pada Sni 2052 : 2017 Abstract Area). Seiring dengan berkembangnya of a teknologi material is maka of saat pada ini mesin uji tarik Pengujian tarik merupakan salah satu elektronik untuk memudahkan'.
- Susanto, A., Mahendra, M.T. and Andriyani, R.P. (2024) 'Analisa sifat mekanik material logam melalui pemodelan dan

simulasi uji tarik berdasarkan metode elemen hingga', *Dinamika Teknik Mesin*, 14(1), p. 106. Available at: <https://doi.org/10.29303/dtm.v14i1.824>.

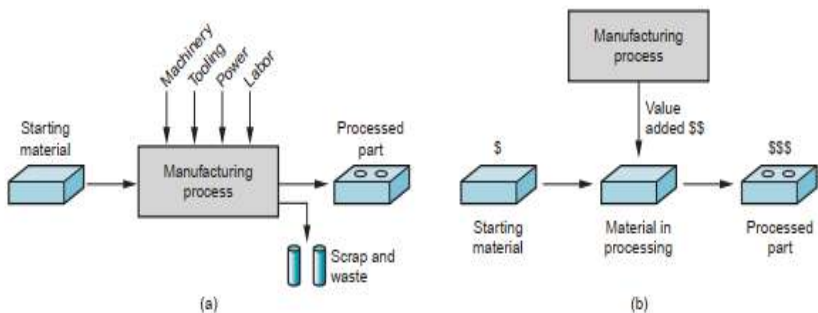
Wardany Kusumasari (2022) 'Penyelesaian Sistem Persamaan Stokes Pada Fluida Termampatkan Yang Disertai Tegangan Permukaan Menggunakan Partial Fourier Transform', 14(2), pp. 215–226.

BAB 4

MATERIAL DAN PROSES MANUFAKTUR

4.1 Pendahuluan

Material manufaktur adalah bahan baku atau bahan setengah jadi yang digunakan dalam proses produksi untuk menciptakan produk akhir. Pemilihan material yang tepat sangat krusial karena akan mempengaruhi kualitas, daya tahan serta biaya produksi. Proses manufaktur adalah rangkaian kegiatan yang mengubah bahan baku menjadi produk jadi. Proses ini melibatkan berbagai teknik dan teknologi, mulai dari yang sederhana hingga yang sangat kompleks.



Gambar 4.1. Definisi manufaktur: (a) sebagai proses teknis, dan (b) sebagai proses ekonomi.

Pemilihan material serta penentuan proses manufaktur yang paling efisien dan efektif sehingga menghasilkan produk yang berkualitas. Pemilihan material sangat berpengaruh pada proses manufaktur yaitu

4.1.1 Sifat Material

Sifat material adalah karakteristik yang dimiliki pada suatu bahan atau material. Sifat material mempengaruhi proses

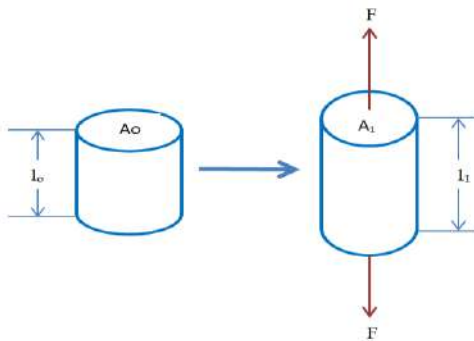
produksi seperti pengerjaan permesinan, pengelasan dan pengecoran.

Kekuatan (*strength*)

Kekuatan adalah kemampuan suatu material untuk menahan gaya atau beban tanpa mengalami kerusakan atau deformasi permanen. Kekuatan ini dapat diukur dalam berbagai cara, tergantung pada jenis beban yang diberikan, seperti

1. Kekuatan tarik

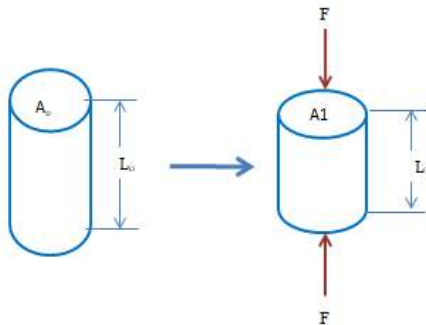
Kekuatan tarik adalah kemampuan material untuk menahan gaya tarik sebelum putus.



Gambar 4.2. Sifat mekanik material dengan pembebanan pengujian tarik

2. Kekuatan tekan

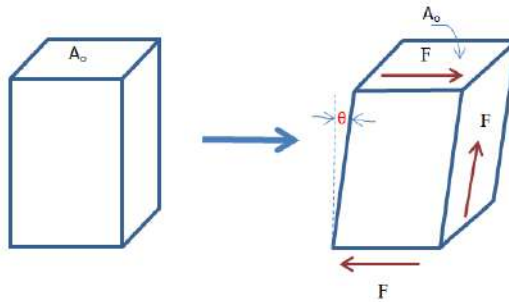
Kekuatan tekan yaitu kemampuan material untuk menahan gaya tekan sebelum hancur.



Gambar 4.3. Sifat mekanik material dengan pembebanan pengujian tekan

3. Kekuatan geser

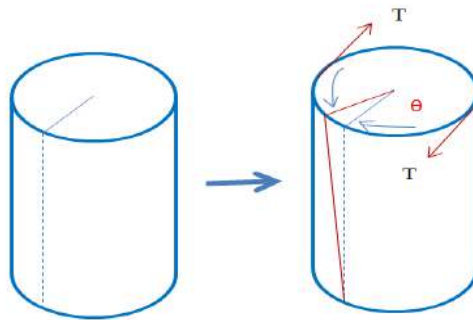
Kekuatan geser merupakan kemampuan material untuk menahan gaya geser sebelum patah.



Gambar 4.4. Sifat mekanik material dengan pembebanan pengujian geser

4. Kekuatan torsi

Kekuatan torsi menunjukkan kemampuan material untuk menahan gerak rotasi /berputar.sebelum patah.

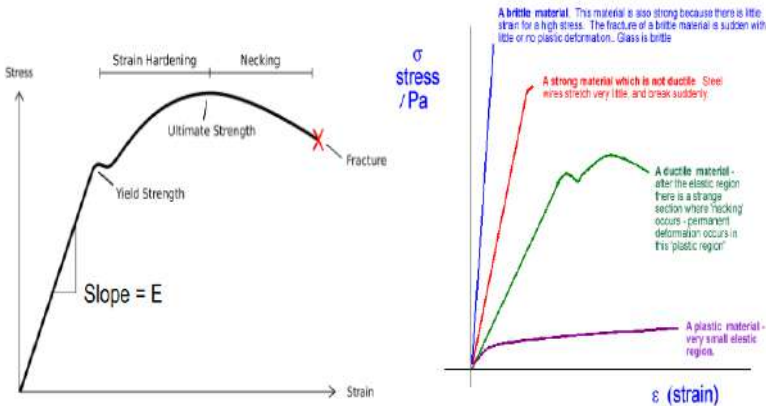


Gambar 4.5. Sifat mekanik material dengan pembebanan pengujian torsi

Kekerasan (*hardness*)

Kekerasan merupakan kemampuan suatu material untuk menahan penetrasi oleh benda lain. Material yang keras sulit untuk digores, dipotong, atau ditembus. Kekerasan biasanya diukur dengan skala tertentu, seperti skala Mohs atau skala

Rockwell. misalnya berlian adalah material yang sangat keras, sedangkan karet sangat lunak.



Gambar 4.6. Hubungan tegangan-regangan yang khas: kiri: bahan ulet; kanan: perbandingan berbagai jenis bahan.

Sumber: wikipedia.com, cyberphysics.co.uk

Keuletan (*ductility*)

Keuletan yaitu kemampuan suatu material untuk mengalami deformasi plastis (permanen) sebelum patah. Material yang ulet dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk tanpa mudah retak misalnya tembaga sangat ulet, sehingga dapat ditarik menjadi kawat yang tipis.

Titik Leleh (*melting point*)

Titik leleh adalah suhu di mana suatu material berubah wujud dari padat menjadi cair. Setiap material memiliki titik leleh yang berbeda-beda contoh besi memiliki titik leleh lebih tinggi daripada tembaga.

Tabel 4.1. *Yield strength* dan *tensile strength* untuk logam tertentu

<i>Metal</i>	<i>Yield Strength</i>		<i>Tensile Strength</i>	
	<i>MPa</i>	<i>Lb/in²</i>	<i>MPa</i>	<i>Lb/in²</i>
<i>Aluminum, annealed</i>	28	4,000	69	10,000
<i>Aluminum, CW^a</i>	105	15,000	125	18,000
<i>Aluminum alloys^a</i>	175	25,000	350	50,000
<i>Cast iron^a</i>	275	40,000	275	40,000
<i>Copper, annealed</i>	70	10,000	205	30,000
<i>Copper alloys^a</i>	205	30,000	410	60,000
<i>Magnesium alloys^a</i>	175	25,000	275	40,000
<i>Nickel, annealed</i>	150	22,000	450	65,000
<i>Steel, low C^a</i>	175	25,000	300	45,000
<i>Steel, high C^a</i>	400	60,000	600	90,000
<i>Steel, alloy^a</i>	500	75,000	700	100,000
<i>Steel, stainless^a</i>	275	40,000	650	95,000
<i>Titanium, pure</i>	350	50,000	515	75,000
<i>Titanium alloy</i>	800	120,000	900	130,000

4.1.2 Bentuk Akhir

Bentuk akhir manufaktur mengacu pada kondisi atau tampilan akhir suatu produk setelah melalui seluruh proses produksi. Ini adalah hasil akhir dari serangkaian proses transformasi bahan baku menjadi produk jadi yang siap digunakan.

1. Kompleksitas

Kompleksitas bentuk akhir merujuk pada tingkat kerumitan geometri suatu produk. Semakin kompleks bentuknya, semakin banyak proses yang diperlukan untuk membuatnya, dan semakin besar kemungkinan terjadinya kesalahan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kompleksitas bentuk akhir adalah jumlah permukaan, radius

kelengkungan, toleransi bentuk dan jenis material yang digunakan

2. Toleransi

Toleransi bentuk akhir adalah batas penyimpangan yang diizinkan dari bentuk ideal suatu komponen. Toleransi ini sangat penting untuk memastikan bahwa komponen dapat berfungsi dengan baik dan dapat dirakit dengan komponen lainnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi toleransi bentuk akhir adalah fungsi komponen, proses manufaktur, jenis material yang digunakan serta peralatan yang memiliki akurasi yang tinggi.

4.1.3 Volume Produksi

Yang dimaksud dengan volume produksi adalah jumlah total produk yang dihasilkan dalam suatu periode waktu tertentu, biasanya diukur dalam satuan seperti unit, ton, atau liter. Ini merupakan indikator penting bagi perusahaan untuk mengukur kinerja produksi, merencanakan produksi masa depan, dan mengelola persediaan.

1. Massal

Volume produk massal merujuk pada produksi sejumlah besar produk yang identik dalam satu waktu. Proses ini sangat efisien dan mengandalkan lini produksi yang terstandarisasi untuk menghasilkan produk dalam jumlah banyak dengan biaya per unit yang rendah. Ciri-ciri produksi massal yaitu mempunyai standarisasi yang dibakukan untuk spesifikasi yang sama persis, proses produksi dioptimalkan untuk menghasilkan produk dengan jumlah besar dengan cepat serta biaya produksi per unit cenderung lebih rendah karena adanya skala ekonomi

2. Skala kecil (*custom*)

Produk custom atau produk kustomisasi adalah produk yang dirancang dan diproduksi sesuai dengan spesifikasi atau permintaan khusus dari pelanggan. Ciri-ciri produk custom adalah berbentuk unik, proses produksi lebih fleksible untuk mengakomodasi berbagai permintaan serta biaya produksi cenderung lebih tinggi karena melibatkan proses desain dan produksi yang lebih kompleks.

4.1.4 Pengaruh Yang Menentukan Proses Manufaktur Dalam Pemilihan Material

Pembiayaan

Pembiayaan untuk aspek pemilihan material yang perlu dipertimbangkan pada proses manufaktur meliputi :

1. Biaya bahan baku
Harga bahan baku yang berbeda-beda akan sangat mempengaruhi biaya produksi secara keseluruhan. Material dengan sifat yang lebih baik umumnya memiliki harga yang lebih tinggi.
2. Biaya proses
Proses pengolahan material yang berbeda membutuhkan peralatan dan energi yang berbeda pula. Material yang mudah dibentuk dan dikerjakan akan mengurangi biaya produksi.
3. Biaya perawatan
Beberapa material membutuhkan perawatan khusus atau lebih sering diganti, sehingga akan meningkatkan biaya perawatan jangka panjang.

Waktu Pengerjaan

Waktu pengerjaan merujuk pada durasi atau lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu tugas atau proses produksi. Perihal ini bisa diartikan sebagai waktu yang diperlukan dari awal hingga akhir suatu pekerjaan, mulai dari persiapan hingga produk akhir siap digunakan.

1. Kecepatan proses
Beberapa material lebih mudah dibentuk dan dikerjakan dibandingkan dengan yang lain. Material yang mudah dibentuk akan mempercepat waktu produksi.
2. Waktu pengeringan atau pengerasan
Beberapa material membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengering atau mengeras, sehingga dapat memperlambat proses produksi.

Kualitas Produk

Kualitas produk adalah tolok ukur keberhasilan sebuah produk dalam memenuhi standar yang telah ditetapkan, baik itu

standar yang ditetapkan oleh perusahaan sendiri, industri, maupun oleh konsumen.

1. Sifat mekanik

Yang meliputi sifat mekanik adalah kekuatan, keuletan, kekerasan, dan sifat mekanik lainnya dari material akan sangat mempengaruhi kualitas produk akhir. Material yang memiliki sifat mekanik yang sesuai akan menghasilkan produk yang lebih tahan lama dan dapat diandalkan.

2. Tampilan

Untuk tampilan mencakup warna, tekstur, dan kilap material akan mempengaruhi tampilan produk akhir.

3. Ketahanan

Yang termasuk ketahanan yaitu ketahanan terhadap korosi, suhu ekstrem, dan faktor lingkungan lainnya akan menentukan umur pakai produk.

Ketersediaan Peralatan

Ketersediaan peralatan adalah faktor kunci dalam keberhasilan suatu perusahaan manufaktur. Dengan menjaga ketersediaan peralatan, perusahaan dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan meningkatkan kualitas produk.

1. Peralatan khusus

Beberapa material membutuhkan peralatan khusus untuk diproses. Ketersediaan peralatan ini akan mempengaruhi pilihan material.

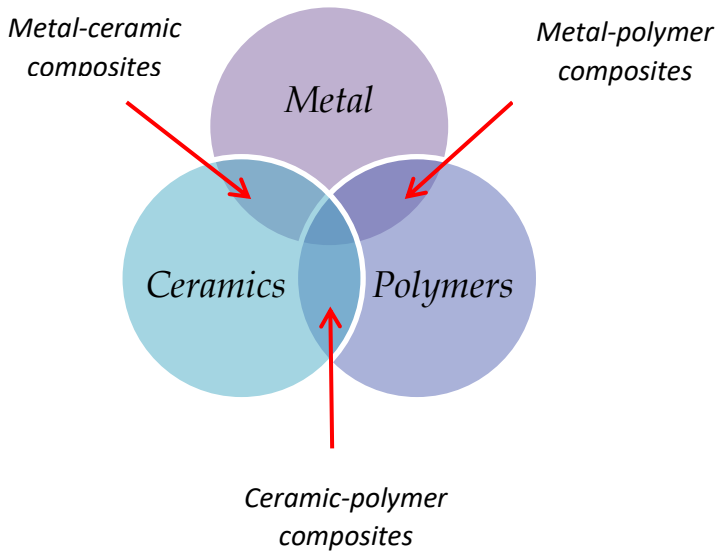
2. Kapasitas peralatan

Kapasitas peralatan juga perlu dipertimbangkan untuk memastikan dapat memproses volume produksi yang diinginkan.

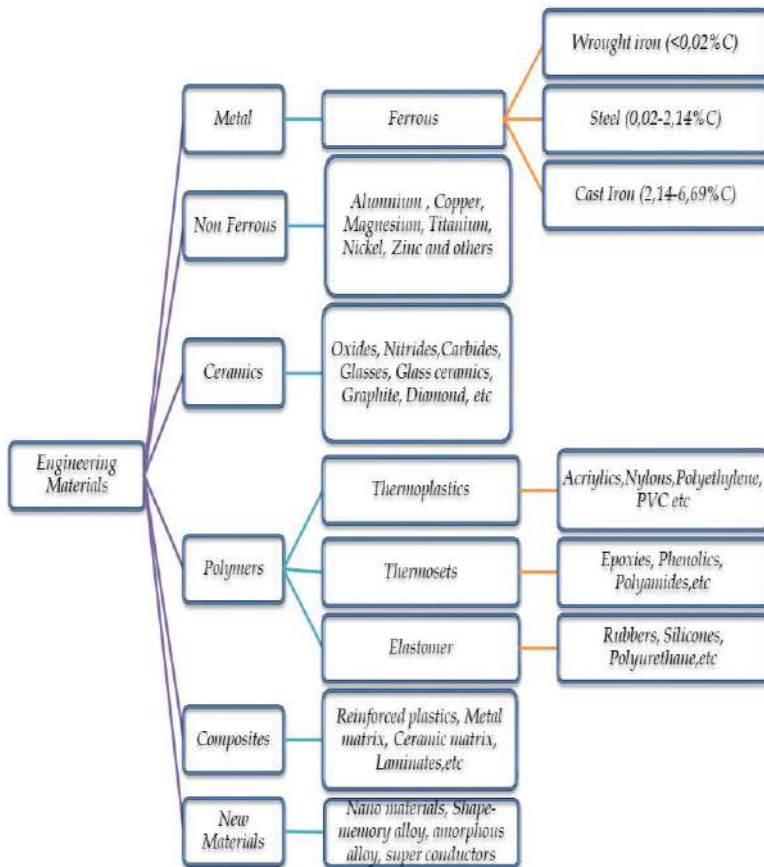
4.2 Material

Material yang digunakan untuk proses permesinan dapat diklasifikasikan berdasarkan kandungan unsur kimianya. Setiap jenis material memiliki sifat-sifat fisik dan mekanik yang berbeda sehingga diperlukan pemilihan proses permesinan yang sesuai dengan karakteristik materialnya.

Klasifikasi material yang digunakan pada proses permesinan yaitu :



Gambar 4.7. Spesifikasi material teknik yang umum digunakan



Gambar 4.8. Spesifikasi material berdasarkan proses pembuatan di bidang manufacture

4.2.1 Material logam (*metals*)

Logam (bahasa Yunani: *Metallon*) berbentuk dasar paduan (*alloys*) yang merupakan gabungan dua atau lebih unsur logam pembentuk.

Sifat logam mengkilap, penghantar panas dan listrik yang baik, dapat ditempa/diregangkan pada suhu kamar berwujud padat kecuali raksa dan memiliki titik didih dan titik leleh tinggi.

Jenis logam dapat dibedakan menjadi dua kriteria yaitu :

1. Logam Besi (*ferrous metals*)

Secara komersial $\frac{3}{4}$ dari keseluruhan jumlah jenis bahan logam dipergunakan paling banyak digunakan di dunia industri manufaktur. Berdasarkan jumlah kandungan unsur paduan karbon (C) maka logam besi (Fe) dapat dibedakan menjadi berikut :

a. Besi tempa (*wrought iron*, $< 0.02\% \text{C}$)

Fasa besi tempa berupa ferit (Fe-alpha) dimana terdapat sisa terak silikat (silikon oksida) masih terperangkap dengan berbentuk mirip dengan fiber yang bersifat ulet dan cukup kuat.

Jenis besi yang dihasilkan melalui proses pemanasan dan penempaan berulang kali. Besi tempa memiliki kandungan karbon yang rendah. Contoh komposisi dari besi tempa adalah sebagai berikut :

- 1) Carbon 0,05%
- 2) Mangan : 0,045%
- 3) Silicon: 0,101%
- 4) Phospor: 0,068%
- 5) Sulfur (belerang) : 0,009%
- 6) Terak : 1,97%



Gambar 4.9. Pembuatan peralatan pertanian dengan menggunakan metode penempaan

Besi tempa dapat diaplikasikan pada konstruksi kereta api, kapal laut, industri minyak, arsitektur, perlengkapan pertanian dan lain-lain. Besi tempa

diproduksi dengan menggunakan dapur aduk atau convertor.

- b. Besi cor/besi tuang (*cast iron*, 2.14~4.16%C)
Digunakan utk pengecoran(umumnya *sand casting*).
Paduannya umumnya selain karbon mengandung 0,5-3% *Silicon*, *Manganese*, *Belerang (Sulfur)*, dan Phosphorus.



Gambar 4.10. Pengecoran Logam
Sumber

<https://www.dwikaryalogam.com/news/proses-pengecoran-logam>

- c. Baja (Steel, 0.02~2.11 %C)
Baja merupakan material yang mempunyai komposisi utama besi (iron) dengan kandungan Fe>90%, carbon sebagai unsur paduan utama serta elemen lainnya seperti *manganese, chromium, nickel*, dan *molybdenum*.

Baja dikelompokkan menjadi dua (2) yaitu

- 1) Baja karbon (*carbon steel*)

Baja karbon merupakan material yang berisikan campuran unsur besi (Fe), carbon (C) serta unsur lainnya misalnya Si dan Mangan. Kekuatan, sifat kekerasan baja karbon tergantung pada jumlah unsur karbon yang ada pada besi tersebut. Baja berkadar karbon rendah akan lebih fleksibel dan *ductile* tetap dengan penambahan karbon akan menyebabkan baja lebih kuat (*strength*), keras

(*hard*). Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis yaitu sebagai berikut :

- Baja Carbon Rendah (*Low Carbon Steel*)
Kandungan kadar carbon sebesar 0,05-0,35% sehingga mengakibatkan sifat baja berkekuatan dan kekerasan rendah dan dapat dimanfaatkan untuk plat, *body* kendaraan, tangki penyimpanan dan lain-lain.
- Baja Carbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)
Mempunyai kadar 0,35- 0,50% Carbon. Kekerasan dan kekuatan dapat dengan penambahan karbon tanpa menggunakan metode *heat treatment (quenching)* dimana harga baja carbon sedang lebih mahal daripada baja carbon rendah. Jenis baja Carbon sedang digunakan pada poros engkol (*crank shaft*), roda gigi, poros, konstruksi kapal laut, jembatan dan lain-lain.
- Baja Carbon Tinggi (*High Carbon Steel*)
Kandungan Kadar 0,5%-1,75% Carbon mempunyai kekerasan dan kekuatan yang dapat ditingkatkan dengan menggunakan *heat treatment (quenching)* tetapi kemungkinan besar terjadi distorsi dan retak setelah diquenching apabila dibandingkan dengan baja karbon sedang. Baja carbon tinggi dapat diaplikasikan pada pembuatan *punch, dies, cutting tool* dan *rail road-wheel*.

2) Baja paduan (*Alloy Steel*)

Definisi baja paduan yaitu jenis baja yang mengandung unsur tambahan selain besi (Fe), carbon (C). Unsur tambahan ini disebut elemen paduan, ditambahkan dalam jumlah tertentu untuk memberikan sifat khusus pada baja maka dengan kata lain baja paduan adalah baja yang “diperkuat” dengan unsur-unsur lain untuk meningkatkan

kinerja dan ketahanannya. Unsur paduan umum yang digunakan yaitu

- Mangan (Mn) yang berfungsi meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus.
- Nikel (Ni) untuk meningkatkan keuletan, ketangguhan dan ketahanan terhadap korosi.
- Chromium (Cr) digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan oksidasi pada suhu tinggi
- Molibdenum (Mo) berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, keuletan serta ketahanan terhadap suhu tinggi.
- Vanadium (V) berguna meningkatkan kekuatan serta keuletan pada suhu tinggi
- Silikon (Si) digunakan untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan terhadap korosi.

Contoh penggunaan baja paduan yaitu sebagai berikut :

1. Baja tahan karat (*Stainless steel*)

Jenis paduan baja tahan karat ini mempunyai sifat tahan korosi dikarenakan memiliki kandungan unsur Chromium cukup tinggi (minimal 10,5%) bereaksi dengan oksigen di udara membentuk lapisan tipis oksida kromium yang sangat padat dan melindungi lapisan baja dari korosi. Baja tahan karat ini dapat digunakan untuk perangkat elektronik, otomotif, peralatan bedah, tangki penyimpanan, perpipaan, *mixer*, *conveyor belt* dan konstruksi .

2. Baja perkakas

Baja perkakas merupakan jenis baja khusus yang dirancang memiliki kekerasan, kekuatan dan ketahanan aus yang sangat tinggi. Baja perkakas mengandung unsur paduan chromium, vanadium, tungsten serta molibdenun. Baja perkakas digunakan untuk membuat berbagai macam alat potong misalnya mata bor, pahat, pisau grais, mata gerinda, cetakan misal cetakan

injeksi plastik, cetakan logam, die casting dan lain-lain.

3. Baja pegas

Baja pegas mengandung sejumlah besar karbon dengan unsur paduan seperti silikon, mangan dan chromium. Jenis baja pegas khusus dirancang dengan memiliki sifat elastisitas yang sangat baik. Baja pegas mampu kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi atau lenturan berulang-ulang. Komponen yang memiliki sifat elastis berfungsi sebagai pegas pada kendaraan dan peralatan mekanik lainnya.

4. Baja paduan tinggi

Jenis baja paduan tinggi mengandung lebih dari 10% unsur paduan selain besi dan karbon adalah chromium, nikel, molibdenum, vanadium dan tungsten ditambahkan dalam jumlah yang signifikan untuk memberikan sifat-sifat khusus yang jauh melampaui baja karbon biasa. Baja paduan tinggi dapat diaplikasikan di dunia industri penerbangan misal komponen mesin jet, perpipaaa, tangki pada dunia petrokimia, pembangkit listrik misalnya turbin uap, boiler dan komponen yang beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi dan lain-lain.

2. Logam Non Besi (*non ferrous metals*)

Logam non besi merupakan logam murni dan paduannya. Ciri-ciri logam non besi adalah daya hantar listrik yang baik, memiliki daya tahan terhadap korosi yang tinggi serta dapat berubah bentuk secara mudah. Dalam pemilihan material jenis non besi perlu ditimbang dari segi kekuatan, berat jenis, harga bahan baku, kemudahan dalam pemberian bentuk.

Yang termasuk kategori non logam *aluminum, tembaga (copper), timah, nickel, seng, titan* dan lain-lain.

Tabel 4.2. Sifat Material Non Ferrous

Logam	Berat Jenis (kg/m ³)	Titik Cair (°C)
Aluminium	2643	660
Tembaga	8906	1080
Kuningan (Brass)	8570	-
Perunggu (Bronze)	8314	-
Timah hitam	11309	325
Magnesium	1746	650
Nikel	8730	1450
Seng	7144	785
Tin (Timah Tin)	7208	232
Titanium	4517	1800

4.2.3 Material Keramik (*ceramics*)

Bahan keramik merupakan senyawa anorganik yang terdiri dari logam atau semi logam serta non logam yang diikat oleh ikatan ion atau kovalen. Sifat keramik memiliki sifat tahan panas, keras dan kimia, tahan korosi dan isolator. Komponen penyusun keramik adalah

1. Oksida
Senyawa yang mengandung oksigen seperti alumina (Al_2O_3) dan silika (SiO_2)
2. Karbida
Senyawa yang mengandung karbon seperti silikon karbida (SiC)
3. Nitrida
Kandungan senyawa yang mengandung nitrogen seperti silikon nitrida (Si_3N_4)
4. Boron
Senyawa yang mengandung unsur Boron

Keramik dikelompokkan menjadi:

1. Keramik Tradisional

- a. Tanah liat/lempung (*clay*), tersedia sangat banyak yang terdiri dari partikel halus aluminum silicates berair, digunakan untuk membuat batu bata,ubin, serta kerajinan.
- b. Silica, bahan dasar untuk hampir semua produk kaca (*glass*).
- c. Paduan alumina dan silicon,bahanpenggosok (*abrasive*) untuk *grinding*.

2. Keramik Modern

- a. Alumina, merupakan produk yang telah ditingkatkan sifatnya dengan menggunakan berbagai cara proses modern.
- b. *Carbides* yaitu *metal carbides*, seperti *tungsten carbide*, *titanium carbide* dan banyak digunakan untuk bahan pahat potong.
- c. *Nitrides* adalah metal dan semi-metal *nitrides* misalnya *titanium nitride* dan *boron nitride* digunakan sebagai bahan pahat potong dan batu grinda

Tabel 4.3. Sifat Mekanik dan Fisik Material Keramik

Material	Hardness (Vickers)	Elastic modulus (E)		Specific Gravity	Melting Temperature	
		Gpa	(lb/in ²)		°C	°F
Keramik tradisional						
a. Bata tanah liat (<i>brick-fire clay</i>)	NA	95	14 x 10 ⁶	2,3	NA	NA
b. Semen, Portland (Cement, Portland)	NA	50	7 x 10 ⁶	2,4	NA	NA
c. Silicon-carbide (SiC)	2600 HV	460	68 x 10 ⁶	3,2	27,007 ^a	48,927 ^a
Keramik modern						
a. <i>Alumina</i> (Al ₂ O ₃)	2200 HV	345	50 x 10 ⁶	3,8	2054	3729
b. <i>Cubic boron nitride</i> (CBN)	6000 HV	NA	NA	2,3	30,007 ^a	54,307 ^a

Material	Hardness (Vickers)	Elastic modulus (E)		Specific Gravity	Melting Temperature	
		Gpa	(lb/in ²)		°C	°F
c. Titanium Carbide (TiC)	3200 HV	300	45 x 10 ⁶	4,9	3250	5880
d. Tungsten Carbide (WC)	2600 HV	700	100 x 10 ⁶	15,6	2870	5198
Glass						
Silica glass (SiO ₂)	500 HV	69	10 x 10 ⁶	2,2	7 ^b	7 ^b
NA = Not available or not applicable						

4.2.4 Material polimer (polymers)

Polymer merupakan senyawa yang terbentuk dari pengulangan (poly) unit struktural dengan dinamakan mers, sehingga terbentuk molekul yang sangat besar(polymers).



Gambar 4.11. Pembentukan polimer

Polymer biasanya terdiri dari unsur karbon ditambah dengan satu atau lebih unsur seperti *hidrogen*, *nitrogen*, *oksigen*, dan *khlor* (*chlorine*).

Polymer dibagi menjadi tiga kategori:

1. *Thermoplastic polymers*

Jenis thermoplast dapat dilakukan pemanasan dan pendinginan berulang kali tanpa merusak/mempengaruhi struktur molekulnya. Pada plastik type thermoplastik terdapat dua struktur yaitu crystal plastic dan non crystal plastic, adapun perbedaan dari karakteristik kedua struktur tersebut adalah

Tabel 4.4. Perbedaan Bentuk Struktur Crystal dan Non Crystal Plastik

Crystal Plastic	Non Crystal Plastic
Orientasi rantai molekul saat kondisi padat membentuk crystal dengan teratur dan terarah	Susunan crystalnya tidak beraturan pada saat berbentuk padat
Tidak mudah untuk mendapatkan kepresisian dimensi	Lebih mudah mendapatkan kepresisian dimensi dibanding crystal plastic
Rasio penyusutan pada saat mencetak lebih besar daripada plastik jenis non cristal	Rasio penyusutannya lebih kecil daripada plastik jenis crystal

Tabel 4.5. Klasifikasi Jenis Plastik Thermoplastic Resin

<i>Thermoplasti c resin</i>	<i>General purpose plastic</i>	Crystal resin	Polyethylene (PE) Polypropylene (PP) Polyethylene therephalate (PET)
		Non Crystal resin	Polystyrene (PS) Poly Methyl Methacrylate (PMMA) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

Tabel 4.5. Klasifikasi Jenis Plastik Thermoplastic Resin

	<i>Engineering plastic</i>	<i>General purpose engineering plastic</i>	Crystal resin	Polyamide (PA) Polyacetal (POM) Polybutylene terephthalate (PBT) GF reinforced polyethylene terephthalate (GF-PET)
			Non Crystal resin	Polycarbonate (PC) Modified polyphenylene ether (m-PPE)
		<i>Special engineering plastic</i>	Crystal resin	Polyether ether ketone (PEEK) Liquid crystal polymer (LCP) Polyphenylene Sulfide (PPS)
			Non Crystal resin	Polyamide imide (PAI) Polyether imide (PEI) Polyether sulfone (PES) Polysulfone (PSF) Polyarylate (PAR)

Tabel 4.6. Ketahanan Suhu Pada Bentuk Struktur Polimer
Crystal dan Non Crystal

Bentuk Struktur	Material	Suhu Leleh (°C)	Suhu Cylinder (°C)	Suhu Mengeras (°C)	Suhu Mold (°C)
Crystal	Polyethylene (PE)	110-141	200-300	100-200	15-75
	Polypropylen(PP)	168-188	200-300	100-200	15-90
	Polyamide (PA)	215-265	220-350	145-170	20-90
Non Crystal	Polyvinylchloride (PVC)	87-212	140-210	87	35-65
	Polystyrene (PS)	100-240	170-310	100	20-60
	Polycarbonate (PC)	150-250	270-380	150	85-125
	Acrylonitrile Butadienestyrene (ABS)	80-255	200-300	80-125	40-85

2. *Thermosetting polymers:*

Plastik dengan type thermosetting apabila dipanaskan maka type plastik ini akan melunak (tidak meleleh) ke dalam pencetakan, dikeraskan dengan reaksi kimia (polimerisasi) oleh temperatur pencetakan (mold). Ketika sudah mengeras maka tidak akan melunak meskipun dipanaskan kembali.

Yang termasuk kelompok ini: *phenolics*, *amino resins*, dan *epoxis*. Dalam penggunaannya epoxy (EP) digunakan pada tanki bahan kimia, pipa, container, plat dasar IC ,material cat serta coating, untuk type phenol (PF) dapat diaplikasikan pada komponen elektronik, otomotif, semua jenis komponen *switch* dan *oil cap*.

Berikut tabel 4.7. tentang ketahanan suhu pada material resin thermosetting dan thermoplast.

Tabel 4.7. Ketahanan Suhu Pada Material Resin Thermosetting Dan Thermoplast

	Nama resin	Grade	Symbol	Tahan Suhu Panas (°C)
Penggunaan resin secara umum	Polyamide	Nylon 6	PA6	80-140
	Polypropyhlene	Umum	PP	100-140
	Polyethylene	High density	HDPE	90-110
	Acrylnitril Butadien Styrol	-	ABS	70-100
Plastik yang digunakan pada dunia keteknikan	Polycarbonate	-	PC	120-130
Resin thermosetting	Epoxy		EP	150-200
	Phenol		PF	150-180

3. Elastomers:

Elastomer merupakan jenis polimer yang mampu mengalami deformasi elastis yang relatif bertekanan rendah, beberapa elastomer dapat menahan perpanjangan 500\$ atau lebih serta masih dapat kembali pada bentuk awalnya. Secara umum sifat-sifat elastomer yaitu kekuatan tarik yang cukup baik, tahan terhadap bahan kimia misalnya minyak, pelarut dan asam, elastomer merupakan isolator yang baik untuk listrik dan panas, tahan terhadap perubahan suhu ekstrem dan paparan sinar UV, mempunyai daya lentur yang sangat fleksible dan dapat dibentuk menjadi berbagai macam produk dan mempunya sifat viskoelastisitas yaitu kombinasi sifat elastis dan viskos yang berarti pada saat proses deformasi dapat kembali ke bentuk semula tetapi juga mengalami sedikit deformasi permanen. Nama populer dari elastomer adalah karet. Terdapat dua kategori karet yaitu :

a. Karet alami

Karet alami terutama terdiri dari polysoprene (C_5H_8) dan berasal dari lateks yang terdapat di pohon karet (*Hevea brasiliensis*) yang tumbuh di iklim tropis. Lateks adalah emulsi cairan polysoprene dengan zat aditif

lainnya kemudian di ekstrasi untuk menghilangkan air dengan metode koagulasi, pengeringan dan penyemprotan.

Karet alami (sebelum di proses vulkanisir) bersifat lengket pada cuaca panas tetapi kaku serta rapuh dalam cuaca dingin. Dengan menggunakan proses vulkanisir secara tradisional , karet alam dicampur dengan belerang serta material lainnya kemudian dipanaskan sehingga produk yang dihasilkan dinamakan elastomer. Sifat elastomer adalah kekuatan tarik tinggi, tahan aus, tahan lelah dan mempunyai kapasitas untuk memulihkan bentuk setelah deformasi. Kelemahan elastomer ketika terkena sinar matahari, oksigen, ozon serta minyak akan mudah rusak. Karet alam terbesar digunakan dalam dunia otomatis yaitu ban dimana dengan penambahan bahan additif yaitu karbon hitam diman berfungsi meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap robekan dan abrasi.

Tabel 4.8. Sifat dan karakter karet alami vulkanisir

Jenis polymer	Polysoprene (C ₅ H ₈) _n
Symbol	NR
<i>Modulus of elasticity</i>	18 MPa (2610 lb/in ²) at 300% elongation
<i>Tensile strength</i>	25 MPa (3625 lb/in ²)
<i>Elongation</i>	700% at failure
<i>Specific gravity</i>	0.93
<i>High temperature limit</i>	80°C (176°F)
<i>Low temperature limit</i>	-50°C (-58°F)

- b. Elastomer sintetik
Dihasilkan dari proses polimerisasi seperti halnya material termoplastik dan thermosetting. Bahan sintetis yang paling penting adalah karet stirena butadiena (SBR), kopolimer butadiena (C₄H₆) dan stirena (C₈H₈). Bahan baku utama karet sintetis adalah minyak bumi.

Karet Butadiene

Polybutadiena (BR) adalah sebuah polimer yang dihasilkan melalui proses polimerisasi monomer butadiena. Untuk pembuatan polybutadiene dengan polimerisasi secara umum dengan menggunakan metode radikal bebas dikarenakan sederhana dan biaya yang relatif rendah, polimerisasi metode anionik menghasilkan polimer dengan distribusi berat molekul yang sempit dan sifat mekanik yang lebih baik serta polimerisasi kationik merupakan metode kurang umum yang digunakan. Sifat-sifat polybutadiene meliputi tahan abrasi yang baik, adhesi yang kuat, tahan terhadap suhu yang baik dan mempunyai elastisitas tinggi. Polybutadiene digunakan di dunia industri terutama dalam pembuatan ban dan komponen otomatis, di bidang plastik misalnya pembuatan pipa, selang, perekat dan pelapis.

Tabel 4.9. Sifat dan karakteristik rubber sintetik
(a) butadiene rubber

<i>Polymer</i>	Polybutadiene (C ₄ H ₆) _n
<i>Tensile strength</i>	15 MPa (2175 lb/in ²)
<i>Elongation</i>	500% at failure
<i>Specific gravity</i>	0.93
<i>High temperature limit</i>	100°C (212°F)
<i>Low temperature limit</i>	-50°C (-58°F)

Karet Butyl

Karet butyl merupakan kopolimer dari poliisobutilena (98%–99%) dan poliisoprena (1%–2%). Melalui pengerjaan secara vulkanisir sehingga dapat menghasilkan karet berpermeabilitas udara yang sangat rendah serta dapat diterapkan pada produksi pembuatan ban dalam, pelapis dalam tubeless ban, dan perlengkapan olah raga.

Tabel 4.10. Sifat dan karakteristik rubber sintetik (b) karet butyl

<i>Polymer</i>	Copolymer of isobutylene (C_4H_8) _n and isoprene (C_5H_8) _n
<i>Symbol</i>	PIB
<i>Modulus of elasticity</i>	7 MPa (1015 lb/in ²) at 300% elongation
<i>Tensile strength</i>	20 MPa (2900 lb/in ²)
<i>Elongation</i>	700%
<i>Specific gravity</i>	0.92
<i>High temperature limit</i>	110°C (230°F)
<i>Low temperature limit</i>	-50°C (-58°F)

Karet Chloroprene (Neoprene)

Karet Chloroprene merupakan adalah salah satu karet sintetis pertama dikembangkan (awal tahun 1930an). Pada umumnya Neoprene memiliki tujuan khusus sesuai kebutuhan industri yang ada kristal material karet Chloroprene memiliki sifat mekanik yang baik. Sifat-sifat karet Chloroprene (CR) meliputi lebih tahan terhadap minyak, cuaca, ozon, panas, dan api (kandungan bahan klorin pada karet ini dapat padam sendiri ketika terjadi kebakaran) dibandingkan NR, namun secara harga material karet Chloroprene agak lebih mahal. Karet Chloroprene digunakan pada pembuatan selang bahan bakar (dan suku cadang otomotif lainnya), ban berjalan, dan gasket, tetapi tidak termasuk ban.

Tabel 4.11. Sifat dan karakteristik rubber sintetik (c) chloroprene rubber (neoprene)

<i>Polymer</i>	Polychloroprene (C_4H_5Cl) _n
<i>Symbol</i>	CR
<i>Modulus of elasticity</i>	7 MPa (1015 lb/in ²) at 300% elongation
<i>Tensile strength</i>	25 MPa (3625 lb/in ²)
<i>Elongation</i>	500% at failure

Tabel 4.11. Sifat dan karakteristik rubber sintetik (c)
chloroprene rubber (neoprene)

<i>Specific gravity</i>	1.23
<i>High temperature limit</i>	120°C (248°F)
<i>Low temperature limit</i>	-20°C (-4°F)

Karet Ethylene-Propylene -diene rubber

Polimerisasi *ethylene* dan *propylene* berukuran kecil dengan proporsi (3%–8%) monomer diena menghasilkan polimerisasi ethylene-propylene-diena (EPDM), yang digunakan di bidang industri otomotif isolasi kawat, kabel selain ban.

Tabel 4.12. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (D)
Chloroprene Rubber (Neoprene)

<i>Representative polymer</i>	<i>Terpolymer of ethylene (C₂H₄), propylene (C₃H₆), and a diene monomer (3%–8%) for cross-linking</i>
<i>Symbol</i>	EPDM
<i>Tensile strength</i>	15 MPa (2175 lb/in ²)
<i>Elongation</i>	300% at failure
<i>Specific gravity</i>	0.86
<i>High temperature limit</i>	150°C (302°F)
<i>Low temperature limit</i>	-50°C (-58°F)

Karet Isoprena

Material isoprena dapat dipolimerisasi untuk mensintesis bahan kimia yang setara dengan karet alam. Poly isoprena sintetis (tidak divulkanisasi) bersifat lebih lembut, lebih mudah dibentuk jika dibandingkan dengan material karet alam mentah. Karakteristik bahan sintetis hampir sama dengan bahan alami

selain di dunia otomotif yaitu ban kendaraan untuk bahan karet isoprena ini dapat digunakan menjadi produk konveyo dan senyawa mendempul.

Tabel 4.13. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (E)
Isoprene Rubber (Synthetic)

<i>Polymer</i>	Polyisoprene (C ₅ H ₈) _n
<i>Symbol</i>	IR
<i>Modulus of elasticity</i>	17 MPa (2465 lb/in ²) at 300% <i>elongation</i>
<i>Tensile strength</i>	25 MPa (3625 lb/in ²)
<i>Elongation</i>	500% <i>at failure</i>
<i>Specific gravity</i>	0.93
<i>High temperature limit</i>	80°C (176°F)
<i>Low temperature limit</i>	-50C (-58F)

Karet Nitril

Kopolimer butadiena (50%–75%) dan akrilonitril (25%–50%) yang dapat divulkanisasi. Nama teknik karet nitril adalah karet butadiena-akrilonitril mempunyai sifat mekanik yaitu kekuatan dan ketahanan terhadap abrasi, minyak, bensin, dan air dapat diaplikasikan untuk produk selang dan segel bensin.

Tabel 4.14. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (F)
Nitril Rubber

<i>Polymer</i>	Copolymer of butadiene (C ₄ H ₆) and acrylonitrile (C ₃ H ₃ N)
<i>Symbol</i>	NBR
<i>Modulus of elasticity</i>	10 MPa (1450 lb/in ²) at 300% <i>elongation</i>
<i>Tensile strength</i>	30 MPa (4350 lb/in ²)
<i>Elongation</i>	500% <i>at failure</i>
<i>Specific gravity</i>	1.00 (<i>without fillers</i>)
<i>High temperature limit:</i>	120°C (248°F)
<i>Low temperature limit:</i>	-50°C (-58°F)

Polyurethanes

Bentuk struktur elastomer yang *minimum cross link* yaitu jenis termoseting polyurethanes secara umum diproduksi berbentuk busa yang fleksibel. Secara umum jenis polyurethane bentuk busa digunakan sebagai bahan bantalan untuk furnitur,jok mobil dan lain-lain. Namun contoh penggunaan polyurethanes tanpa busa dicetak misalnya sol sepatu, bumper mobil dan lain-lain, bentuk cross link elastomer disesuaikan dengan kebutuhan dalam pencapaian produk yang diinginkan. Elastomer tanpa cross-link adalah elastomer termoplastik dapat dicetak dengan proses injeksi serta metode pencetakan lainnya.

Tabel 4.15. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik
(G) Polyurethane

<i>Polymer</i>	Polyurethane (chemistry varies)
<i>Symbol</i>	PUR
<i>Modulus of elasticity</i>	10 MPa (1450 lb/in ²) at 300% elongation
<i>Tensile strength</i>	60 MPa (8700 lb/in ²)
<i>Elongation</i>	700% at failure
<i>Specific gravity</i>	1.25
<i>High temperature limit:</i>	100°C (212°F)
<i>Low temperature limit:</i>	-50°C (-58°F)

Silikon

Berdasarkan derajat cross-link elastomer sehingga terbentuk silikon dimana mempunyai range kisaran suhu yang lebar. Silikon tidak tahan minyak, sifat kimia secara umum misalnya polidimetilsiloksan.. Dalam meningkatkan sifat mekanik elastomer silikon pada umumnya ditambahkan bubuk silika halus. Jenis karet elastomer silikon digunakan untuk pembuatan gasket, isolasi kawat, kabel, perangkat prostetik, dan alas mendempul.

Tabel 4.16. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (G)
Karet Silikon

<i>Representative polymer</i>	<i>Polydimethylsiloxane (SiO(CH₃)₂)_n</i>
<i>Symbol</i>	VMQ
<i>Tensile strength</i>	10 MPa (1450 lb/in ²)
<i>Elongation</i>	700% at failure
<i>Specific gravity</i>	0.98
<i>High temperature limit</i>	230°C (446°F)
<i>Low temperature limit</i>	-50°C (-58°F)

Styrene-Butadiene Rubber

SBR merupakan kopolimer acak dari stirena (sekitar 25%) dan butadiena (sekitar 75%). Secara umum produksi SBR berbiaya rendah, tahan terhadap abrasi, dan keseragaman yang lebih baik dari NR. Apabila SBR diperkuat dengan material karbon hitam dan divulkanisi maka karakteristik dan penerapannya hampir sama dengan jenis karet alam. Sifat karet alam jika dibandingkan dengan jenis SBR hampir sama sifat mekaniknya, kecuali ketahanan aus, lebih rendah daripada NR, tetapi ketahanannya terhadap penuaan panas, ozon, cuaca, dan minyak lebih unggul. Penggunaan jenis SBR digunakan untuk produk ban otomotif, isolasi kawat dan kabel.

Tabel 4.17. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik (H)
Karet Styrene-Butadiene

<i>Polymer</i>	<i>Copolymer of styrene (C₈H₈) and butadiene (C₄H₆)</i>
<i>Symbol</i>	SBR
<i>Modulus of elasticity</i>	17 MPa (2465 lb/in ²) at 300% elongation
<i>Tensile strength</i>	20 MPa (2900 lb/in ²) reinforced
<i>Specific gravity</i>	0.94
<i>High temperature limit</i>	110°C (230°F)
<i>Low temperature limit</i>	-50°C (-58°F)

Elastomer Termoplastik

TPE merupakan elastomer yang tidak memiliki bentuk struktur cross-link serta termoplastik termasuk *stirena-butadiene-styrene* (SBS).

Tabel 4.18. Sifat Dan Karakteristik Rubber Sintetik
(I) Thermoplastic Elastomer (TPE)

Representative polymer	Styrene-butadiene-styrene block copolymer
Symbol	SBS (also YSBR)
Tensile strength	14 MPa (2030 lb/in ²)
Elongation	400%
Specific gravity	1.0
High temperature limit	65°C (149°F)
Low temperature limit	-50°C (-58°F)

Bentuk struktur dan sifat kimia material pada tabel diatas yang melibatkan dua bahan yang tidak kompatibel sehingga membentuk fase yang berbeda dengan sifat suhu ruangan yang berbeda. Nilai suhu thermoplastik elastomer yang lebih rendah jika dibandingkan dengan batas suhu elastomer ikatan silang konvensional sehingga mempengaruhi kekuatan dan ketahanan mulur material. Penggunaan jenis material thermoplastic elastomer yaitu tabung ekstrusi, pelapis kawat, komponen cetakan untuk otomotif namun TPE tidak cocok untuk ban.

4.2.5 Material Komposit (*composites*)

Material komposit adalah bahan yang terdiri dari dua atau lebih fase (phases) dengan diproses secara terpisah dan kemudian diikat (*bonded*) menjadi satu untuk menghasilkan sifat lebih superior dibandingkan aslinya. Komposit merupakan campuran non homogen dari tiga jenis material dasar lainnya. Kata “fase” merujuk pada kumpulan homogen suatu material, misalnya kumpulan dari butiran logam dengan struktur unit sel identik.

Struktur umum komposit berupa partikel atau serat dari fase pertama bercampur dengan fase kedua, disebut matrix.

Sistem klasifikasi material komposit berdasarkan fase matriks dapat dibedakan menjadi berikut :

1. *Metal Matrix Composites* (MMCs)
MMC meliputi campuran dari keramik dan logam seperti *cemented carbide* dan *cemented* lainnya contohnya aluminium atau magnesium yang diperkuat dengan serat yang kaku dan sangat kaku
2. *Ceramic Matrix Composites* (CMC)
Yang termasuk CMC adalah aluminium oksida dan silikon karbida dengan ditamahi serat yang bersifat lebih baik dan dapat diaplikasikan pada suhu yang tinggi.
3. *Polymer Matrix Composite* (PMC)
Pada umumnya resin termoset diaplikasikan dalam proses pembuatan PMC. Epoksi serta poliester dengan serat penguatan, fenolik dicampur dengan bubuk. Untuk metode pencetakan sifat senyawa thermoplastik diperkuat dengan bubuk fenolik.

Tabel 4.19. Kemungkinan Kombinasi Material Komposit Dua Komponen.

Fase Material tambahan (sekunder)	Fase Utama/ Primer (Matrix)		
	Metal (logam)	Ceramic	Polymer
Metal (logam)	<i>Powder metal parts infiltrated with a second metal</i>	NA	<i>Plastic molding compounds Steel-belted radial tires</i>
Ceramic	<i>Cermets^a Fiber-reinforced metals</i>	<i>SiC whisker-reinforced Al₂O₃</i>	<i>Plastic molding compounds Fiberglass-reinforced plastic</i>
Polymer	<i>Powder metal</i>	NA	<i>Plastic molding</i>

	<i>parts impregnated with polymer</i>		<i>compounds Kevlar- reinforced epoxy</i>
Elements (C,B)	<i>Fiber-reinforced metals</i>	<i>NA</i>	<i>Rubber with carbon blackB or C fiber- reinforced plastic</i>

NA = not applicable currently.

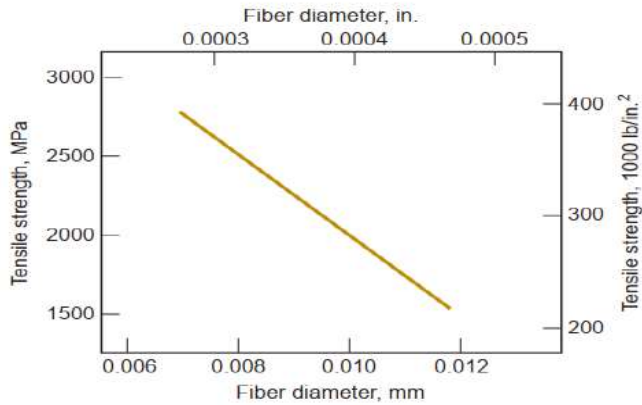
^aCermets include cemented carbides.

Material matriks yang terdapat dalam bahan komposit terdapat beberapa fungsi yaitu material matrik terbuat dari bahan komposit semua, material matriks tertanam pada bahan komposit serta matrik dapat berbagi beban dengan elemen sekunder. Bentuk matrik yang terdapat dalam bahan komposit yaitu serat , partikel dan serpihan.



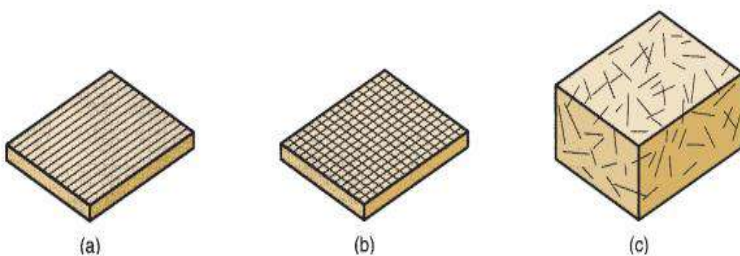
Gambar 4.12. (a) serat (b) partikel (c) serpihan matrik
sumber Mikell P. Groover, 2007, Fundamentals of
Modern Manufacturing Materials, Processes and
Systems

Pada serat matrik merupakan filamen bahan penguat dengan bentuk permukaannya lingkaran dengan diameter 0,0025 mm (0,0001 in) – 0,13 mm (0,005 inchi). Serat memiliki panjang tertentu serta dapat yang terputus-putus berdiameter 0,001 mm (0,00004 in) denggan panjang (L/D 100).



Gambar 4.13. Hubungan antara kekuatan tarik dan diameter untuk serat karbon sumber Mikell P. Groover, 2007, Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems

Orientasi serat dalam komponen komposit terdapat tiga bentuk yaitu kekuatan dan kekakuan maksimal material komposit dengan menggunakan satu dimensi ditunjukkan pada gambar (a). Pada gambar (b) menunjukkan permukaan datar dengan alur tenun dua dimensi serta (c) serat tidak beraturan (acak) 3 dimensi bersifat isotropik.



Gambar 4.14. Serat yang terdapat dalam bahan komposit: (a) satu dimensi, serat kontinu; (b) planar, kontinu serat dalam bentuk dari kain tenun; dan (c) acak, serat terputus-putus sumber Mikell P. Groover, 2007, Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems

Material yang diperkuat dengan serat logam, keramik, polimer, karbon dan boron. Penggunaan serat komersial dominan digunakan di komposit polimer serta penggunaan serat di material logam dan keramik semakin berkembang sesuai dengan perkembangan teknologi material.

Tabel 4.20. Karakter bahan serat yang digunakan sebagai penguat komposit

Fiber Material	Diameter		Tensile Strength		Elastic Modulus	
	mm	mils ^a	MPa	lb/in ²	GPa	lb/in ²
Metal: Steel	0.13	5.0	1000	150,000	206	30 x 10 ⁶
Metal: Tungsten	0.013	0.5	4000	580,000	407	59 x 10 ⁶
Ceramic: Al ₂ O ₃	0.02	0.8	1900	275,000	380	55 x 10 ⁶
Ceramic: SiC	0.13	5.0	3275	475,000	400	58 x 10 ⁶
Ceramic: E-glass	0.01	0.4	3450	500,000	73	10 x 10 ⁶
Ceramic: S-glass	0.01	0.4	4480	650,000	86	12 x 10 ⁶
Polymer: Kevlar	0.013	0.5	3450	500,000	130	19 x 10 ⁶
Element: Carbon	0.01	0.4	2750	400,000	240	35 x 10 ⁶
Element: Boron	0.14	5.5	3100	450,000	393	57 x 10 ⁶

^a1 mil = 0.001 in.

1. Kaca

Serat kaca sering digunakan sebagai penguat pada material. Material plastik yang diperkuat dengan serat kaca dinamakan dengan fiberglass (GFRP). Terdapat 2 jenis serat kaca yang digunakan yaitu jenis serat E-glass yang bersifat kuat, biaya rendah dengan modulusnya lebih rendah daripada serat lainnya serta serat s-glass lebih kaku, gaya tarik tertinggi jika dibandingkan dengan serat lainnya dan harganya lebih mahal daripada E-glass.

2. Karbon
Serat C pada umumnya merupakan dari material grafit serta karbon amorf. Serat karbon mempunyai nilai modulus tinggi, kepadatan dan ekspansi termal rendah.
3. Boron
Serat boron memiliki modulus elastisitas sangat tinggi serta berharga mahal sering digunakan dibidang dirgantara.
4. Kevlar 49
Merupakan serat polimer berbentuk aramid kristalin termasuk jenis plastik poliamide serta berat jebisnya rendah.
5. Ceramic
Silikon Carbida (SiC) serta aluminium oksida (Al_2O_3) merupakan serat penguat utama pada keramik. Dua senyawa serat penguat ini memiliki modulus elastisitas tinggi sehingga cocok sebagai penguat logam dengan kepadatan dan modulus rendah contohnya aluminium dan magnesium.
6. Logam
Filamen baja berserat kontinue, terputus-putus digunakan sebagai serat penguat dalam plastik.

Secara garis besar keuntungan penggunaan komposit dikarenakan mempunyai karakteristik berkekuatan tinggi, bobot ringan, korosi dan tahan kimia, isolasi yang baik, dapat didesain dengan fleksible dan dapat diproduksi dalam berbagai bentuk. Setelah mempelajari komposisi material komposit maka teknologi material komposit dapat diaplikasikan di bidang industri otomotif yaitu teknologi body kendaraan dan interior, industri penerbangan adalah bagian badan dan sayap pesawat, bidang energi misalnya pada konstruksi turbin dan panel surya, bidang medis misalnya implan dan peralatan medis serta dibidang militer misalnya rompi anti peluru dan kendaraan militer.

4.2.6 Material Modern

Untuk pemenuhan kebutuhan yang menggunakan teknologi tinggi maka diperlukan material modern. Pada konteks ini teknologi tinggi merupakan perangkat atau peralatan yang pengoperasiannya relatif rumit dan canggih misalnya peralatan elektronik misal ponsel, laptop, sistem serat optik, baterai, pesawat terbang. Material modern yaitu material yang sudah ada misal logam, keramik, polimer ditingkatkan kapasitasnya misalnya dari segi kekuatan, tahan korosi dan lain-lain misalnya semikonduktor, biomaterial yang dapat diaplikasikan pada layar kristal cair (LCD), penyimpanan informasi magnetik dan laser.

Semikonduktor

Sifat listrik material semikonduktor pada posisi di antara sifat konduktor listrik misalnya logam, paduan logam dan isolator misalnya keramik dan polimer. Karakteristik listrik material semikonduktor ini sangat sensitif terhadap pergerakan atom penyusunnya serta konsentrasi atom dapat dikontrol aliran listriknya apabila berada di area yang sangat kecil. Aplikasi penggunaan material semikonduktor pada bidang elektronik misalnya pembuatan transistor, dioda IC, mikroprosesor dan berbagai sensor, bidang energi yaitu sel surya, LED dan komponen pembangkit listrik tenaga surya, bidang komunikasi adalah perangkat komunikasi misalnya ponsel, modem, router serta bidang otomotif misalnya sensor dan komponen elektronik.

Biomaterial

Definisi biomaterial merupakan material sintetik dalam pembuatan alat kesehatan serta dalam penggunaannya dapat berinteraksi, biocompatible dengan sistem biologi misalnya jaringan dan cairan di dalam tubuh makhluk hidup. Biomaterial dapat menjadi material dalam pembuatan *surgical implants and devices* untuk menggantikan bagian atau fungsi organ tubuh secara aman serta ekonomis. Jenis material logam, keramik hingga komposit dapat digunakan sebagai biomaterial.

Tabel 4.21. Jenis biomaterial serta aplikasinya

Material	Keunggulan	Kelemahan	Aplikasi
Logam: stainless steel, paduan titanium, paduan kobalt-khrom, dsb.	Kuat, tangguh, ulet	Non bioaktif	Implan ortopedik, implan gigi, sendi buatan, ring jantung (stent), dsb.
Keramik: zirconia, alumina, bioglass, hidroksiapatit, dsb	Bioaktif, inert,	Getas	Implan ortopedik dan gigi
Polimer: nilon, polilaktid, polietilen, polyester, dsb.	Bioaktif, elastis	Kurang kuat	Graft pembuluh darah, benang jahit, soket sendi buatan, dsb.
Komposit: amalgam, semen tulang diperkuat fiber, dsb	Dibuat khusus	Relatif sukar dibuat	Semen tulang, resin gigi, dsb

Perkembangan pembuatan biomaterial saat ini meliputi penggantian sendi, katup jantung, cangkok pembuluh darah, restorasi gigi dan pembuatan jaringan organ baru.

Smart Materials

Smart material merupakan material yang sangat modern, maju, dengan menggunakan teknologi yang tinggi. Kata “*smart*” memberikan arti bahwa material ini mampu mengetahui,

merespon perubahan di lingkungannya serta menindaklanjuti perubahan sesuai standar yang sudah ditetapkan sebelumnya. Konsep “*smart*” material ini dikembangkan menjadi sistem material yang terbaru dengan konsep teknologi yang modern dan canggih.

Yang termasuk komponen smart material mencakup beberapa jenis sensor (mendeteksi sinyal input), aktuator yang berfungsi responsif, adaptif. Berdasarkan fungsi maka aktuator yaitu mengubah bentuk, posisi, frekuensi alami atau berkarakter mekanis sebagai respons terhadap perubahan suhu, medan listrik dan medan magnet.

Pada umumnya produk aktuator menggunakan empat jenis material yaitu :

1. *Shape-memory alloys*

Material *shape-memory alloys* merupakan logam yang sudah mengalami deformasi kemudian kembali ke bentuk semula saat terjadi perubahan suhu.

2. *Piezoelectric ceramics*

Respon *piezoelectric ceramics* terhadap medan listrik (*voltage*) yaitu dengan perubahan mengembang atau menyusut dari dimensinya.

3. *Magnetostrictive materials*

Jenis *magnetostrictive materials* mempunyai sifat mirip dengan material *piezoelectric ceramics* tetapi terdapat pengecualian yaitu *magnetostrictive materials* bersifat responsif terhadap medan magnet

4. *Electrorheological/magnetorheological fluids*

Ketika berada di medan listrik dan medan magnet maka jenis *electrorheological/magnetorheological fluids* akan mengalami perubahan viskositas.

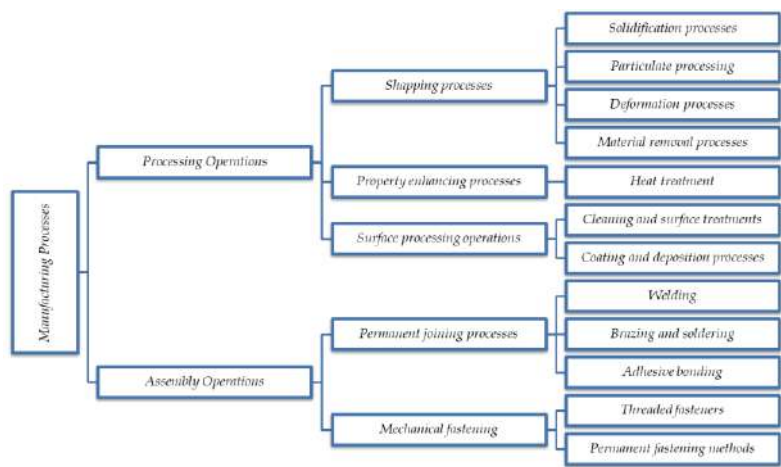
Secara garis besar dalam pembuatan sensor meliputi serat optik, piezoelectric serta sistem mikroeletromekanis (MEMS). Contoh aplikasi penggunaan smart materials adalah penggunaan sensor piezoelektrik pada *blade* rotor helikopter sehingga dapat memantau tekanan dan deformasi *blade*, sinyal umpan balik dari sensor ini dimasukkan ke dalam perangkat

adaptif dengan dikendalikan pada komputer sehingga dapat meredam kebisingan kokpit aerodinamis helikopter.

Nanomaterials

Material nanomaterials terdiri dari empat jenis dasar yaitu logam, keramik, polimer atau komposit. Adanya pengembangan mikroskop memungkinkan adanya pengamatan atom serta molekul individual sehingga menimbulkan inovasi dalam merancang, membangun sebuah struktur baru dalam penyusunan atom. Kemampuan penyusunan atom dapat dibentuk dari sisi sifat mekanik, listrik, magnetik serta sifat-sifat lainnya yang disesuaikan dengan kebutuhan. Contoh penggunaan nanomaterials yaitu *catalytic converters* untuk mobil, *particles of carbon black* untuk penguat ban mobil, *magnetic nanosize grains* dalam penggunaan *hard disk drive* dan *magnetic particles* yang berfungsi dalam penyimpanan data pada pita magnetik. Dalam pembentukan nanomaterials berdasarkan pada ukuran yang kecil dengan rentang 1- 100 nanometer dengan memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat besar sehingga dapat menyebabkan reaktivitas kimia yang tinggi. Keamanan pada pemakaian nanomaterials relatif belum ada penelitian lebih dalam sehingga apabila material nanomaterials diserap kedalam tubuh dapat berpotensi pada resiko kesehatan misalnya kanker paru-paru, kerusakan DNA.

4.3 Proses Manufaktur



Gambar 4.15. Spesifikasi proses manufaktur

4.3.1 Proses Pengoperasian Manufaktur (*Processing Operations*)

Dalam pelaksanaan kegiatan manufaktur membutuhkan energi dalam mengubah bentuk benda kerja, sifat fisik atau penampilan permukaan benda kerja untuk menambah nilai mutu material. Jenis energi yang digunakan yaitu energi mekanik, energi listrik dan energi kimiawi. Penggunaan energi dapat dikendalikan dengan menggunakan kontrol manual dimana sumber daya manusia melakukan pengawasan serta pengendalian setiap tahapan proses manufaktur atau otomatisasi pada mesin produksi yang digunakan.

Proses Pembentukan

Pada proses pembentukan sebuah benda kerja menggunakan berbagai metode yang sesuai dengan tujuan akhir geometri produk yang sesuai dengan kebutuhan industri .Sebagian besar metode yang digunakan memerlukan energi panas atau gaya mekanis atau kombinasi antara energi panas dan gaya mekanis agar mendapatkan performa perubahan geometri material benda kerja.

1. ***Solidification Processes***, dimana material mempunyai bentuk asal berupa cairan atau semi fluida kemudian dipanaskan. Setelah proses pemanasan kemudian didinginkan pada skala waktu tertentu sehingga mengeras membentuk bagian/geometri produk. Namun terdapat juga material asal yang dipanaskan pada suhu tertentu terjadi perubahan bentuk yaitu menjadi cairan atau semifluida sehingga material tersebut bersifat plastis. Metode pemanasan dapat digunakan pada material logam, gelas keramik, dan plastik yang dipanaskan pada suhu cukup tinggi sehingga dapat mengubah bentuknya menjadi cairan. Dalam bentuk cairan maka material tersebut dapat dituangkan atau dipaksa mengalir ke dalam rongga cetakan dan dibiarkan memadat memenuhi rongga cetakan. Metode tersebut dinamakan proses pengecoran atau pencetakan. Pengecoran digunakan untuk logam, sedangkan pencetakan/*moulding* digunakan untuk plastik.

Berikut yang termasuk *pada solidification processes*,

A. Proses Pengecoran

Proses pengecoran adalah suatu metode pembuatan benda padat dengan cara menuangkan logam cair ke dalam cetakan (mold) yang memiliki bentuk negatif dari benda yang diinginkan. Setelah logam mendingin dan mengeras, cetakan dibuka dan benda hasil cetakan (*casting*) dikeluarkan.

Tahapan umum dalam proses pengecoran:

1) Pembuatan model

Membuat model tiga dimensi dari benda yang akan dicetak. Model ini bisa terbuat dari kayu, logam, atau bahan lain yang tahan panas.

2) Pembuatan cetakan

Membuat cetakan dengan bahan seperti pasir, logam, atau keramik. Cetakan ini memiliki rongga yang sesuai dengan bentuk negatif dari model.

3) Pencairan logam

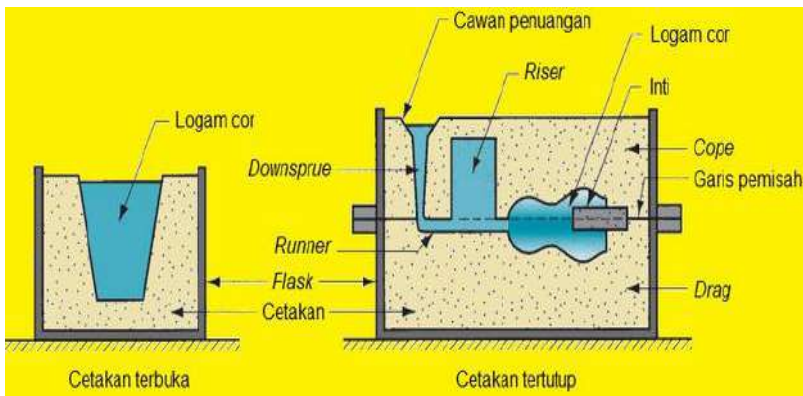
Memanaskan logam hingga mencapai titik lelehnya menggunakan tungku peleburan.

- 4) Penuangan logam cair
Menuangkan logam cair ke dalam rongga cetakan secara hati-hati.
- 5) Pendinginan dan pengerasan
Membiarkan logam cair mendingin dan mengeras di dalam cetakan.
- 6) Pembuangan cetakan
Membuka cetakan dan mengeluarkan benda hasil cetakan.
- 7) Pembersihan dan finishing
Membersihkan benda hasil cetakan dari sisa-sisa cetakan dan melakukan finishing seperti pemotongan, penggerindaan, atau pelapisan.

Jenis-jenis pengecoran:

1) Pengecoran pasir

Merupakan metode pengecoran yang paling umum, menggunakan campuran pasir sebagai bahan utama dan bahan pengikat untuk membuat cetakan yang akan diisi dengan logam cair, setelah logam mengeras, cetakan dibuka dan benda logam dengan bentuk yang diinginkan.



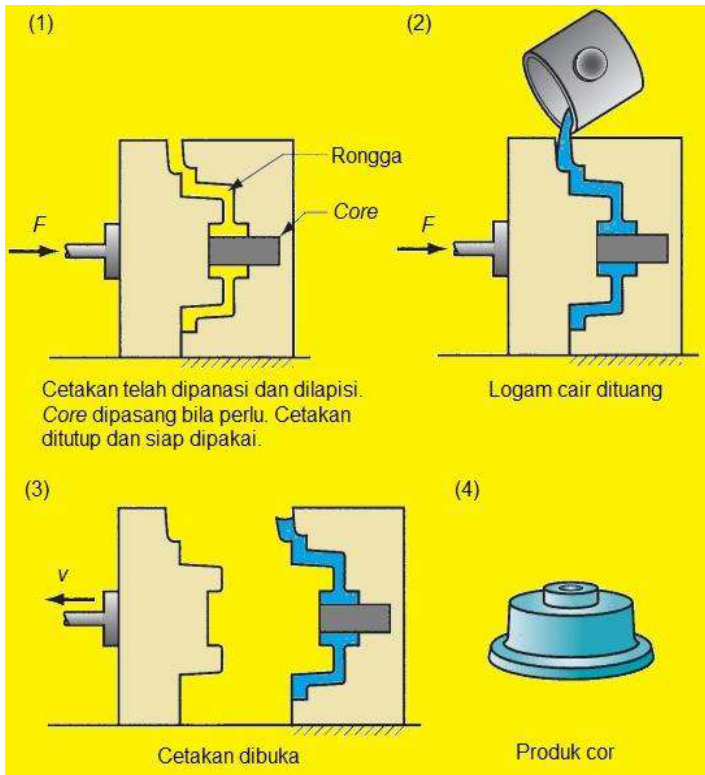
Gambar 4.16. Cetakan Pasir.

(Sumber: Groover, Mikell P., 2010, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems, 4th ed.)

Metode pengecoran pasir mempunyai keunggulan yaitu dapat digunakan untuk membuat berbagai bentuk benda, dari yang sederhana hingga yang kompleks, bahan baku (pasir) mudah didapatkan dan relatif murah serta dapat digunakan untuk produksi dalam skala besar. Untuk kekurangan dari metode pengecoran pasir adalah toleransi dimensi hasil cetakan cenderung lebih besar dibandingkan dengan metode pengecoran lainnya, permukaan benda hasil cetakan umumnya tidak sehalus metode pengecoran investasi serta prosesnya pembentukannya relatif lebih lama dibandingkan dengan metode pengecoran modern seperti die casting. Adapun contoh produk yang menggunakan pengecoran pasir yaitu di bidang otomotif pada pembuatan blok mesin, kepala silinder, dan komponen lainnya, bidang konstruksi yaitu pembuatan pipa, fitting, dan komponen bangunan lainnya serta mesin-mesin misalnya rumah pompa, rangka mesin, dan komponen lainnya.

2) Pengecoran logam

Sebuah proses pembuatan benda logam dengan cara menuangkan logam cair ke dalam cetakan (*mold*) berasal dari baja atau besi cor dari benda yang diinginkan. Setelah logam mendingin dan mengeras, cetakan dibuka dan benda hasil cetakan (*casting*) dikeluarkan. Jenis logam yang dicor pada umumnya adalah aluminium, magnesium, paduan tembaga, dan besi tuang.



Gambar 4.17. Pengecoran logam

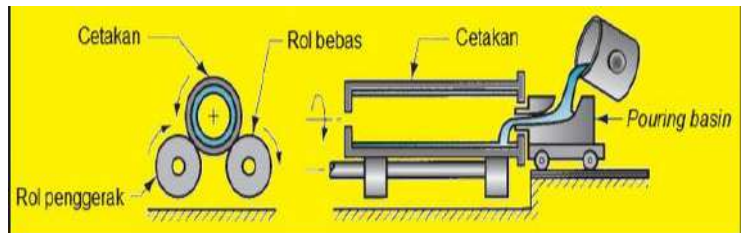
(Sumber: Groover, Mikell P., 2010, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems, 4th ed.)

Keuntungan pengecoran logam menghasilkan berbagai bentuk benda yang kompleks, dapat digunakan untuk berbagai jenis logam serta cocok untuk produksi dalam jumlah besar. Kekurangan pengecoran logam yaitu biaya peralatan dan prosesnya bisa cukup tinggi, toleransi dimensi mungkin tidak seakurat proses *machining* serta prosesnya membutuhkan waktu yang relatif lama. Pengecoran logam memiliki banyak aplikasi dalam berbagai industri misalnya bidang otomotif dalam pembuatan komponen mesin, roda, dan bodi

kendaraan, bidang konstruksi pembuatan pipa, *fitting*, dan komponen bangunan lainnya, bidang penerbangan misalnya pembuatan komponen mesin pesawat dan di bidang medis untuk pemembuatan implan dan alat bedah.

3) Pengecoran *centrifugal*

Pengecoran sentrifugal adalah sebuah metode pembuatan benda logam dengan memanfaatkan gaya sentrifugal untuk memadatkan logam cair di dalam cetakan yang berputar. Proses ini menghasilkan benda cor dengan struktur yang lebih padat, homogen, dan memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan metode pengecoran konvensional.



Gambar 4.18. *True Centrifugal Casting*

(Sumber: Groover, Mikell P., 2010, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems, 4th ed.)

Prinsip kerja pengecoran sentrifugal mempunyai beberapa tahapan yaitu sebagai berikut :

- a. Cetakan berputar
Cetakan yang digunakand dalam proses ini dirancang khusus untuk berputar pada kecepatan tinggi.
- b. Logam cair dituangkan:
Logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang sedang berputar.

- c. Gaya sentrifugal
Gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran cetakan akan mendorong logam cair menempel pada dinding cetakan.
- d. Pendinginan dan pengerasan
Logam cair akan mendingin dan mengeras secara merata, membentuk struktur yang padat dan homogen.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengecoran sentrifugal adalah sebagai berikut :

- a. Kecepatan putaran
Kecepatan putaran cetakan akan mempengaruhi gaya sentrifugal dan struktur logam hasil cor.
- b. Viskositas logam cair
Viskositas yang tinggi dapat menghambat aliran logam cair dan mempengaruhi kualitas hasil cor.
- c. Suhu logam cair
Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mempengaruhi sifat mekanik logam hasil cor.
- d. Desain cetakan
Desain cetakan yang tepat sangat penting untuk mendapatkan hasil cor yang sesuai dengan spesifikasi.

Jenis-jenis pengecoran sentrifugal

- a. Pengecoran sentrifugal vertikal
Cetakan berputar pada sumbu vertikal.
- b. Pengecoran sentrifugal horizontal
Cetakan berputar pada sumbu horizontal.

Keuntungan pengecoran sentrifugal adalah sebagai berikut :

- a. Struktur padat
Gaya sentrifugal memaksa pori-pori dan ketidaksempurnaan pada logam untuk bergerak

ke pusat cetakan, sehingga menghasilkan struktur yang lebih padat.

- b. Homogenitas
Komposisi kimia dan struktur mikro logam menjadi lebih seragam.
- c. Sifat mekanik yang baik
Kekuatan tarik, kekerasan, dan ketahanan terhadap korosi pada benda cor umumnya lebih baik.
- d. Dinding dalam yang halus
Dinding dalam benda cor cenderung lebih halus dan presisi.
- e. Cocok untuk bentuk silinder
Sangat cocok untuk membuat benda dengan bentuk silinder atau tabung.
Pengecoran sentrifugal banyak digunakan untuk membuat berbagai jenis produk, seperti pipa misalnya pipa besi, pipa baja, dan pipa berdinding tipis, linier silinder untuk mesin. rotor turbin, pompa, dan kompresor, bushing untuk bantalan. serta roller untuk berbagai aplikasi industri.

4) Pengecoran investment

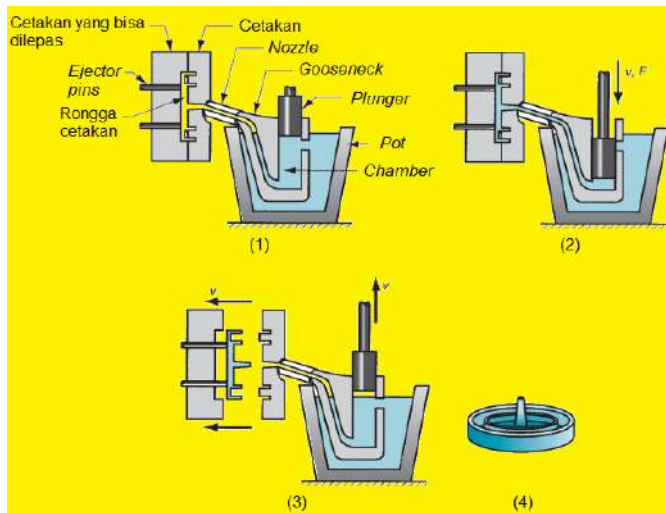
Menggunakan cetakan yang terbuat dari lilin yang kemudian dilapisi dengan bahan tahan api. Pengecoran investasi menghasilkan benda dengan tingkat presisi dan detail yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode pengecoran pasir atau cetakan logam. Selain itu, pengecoran investasi juga lebih fleksibel dalam menghasilkan bentuk yang kompleks, kepresisian tinggi dengan permukaan produk halus. Jenis pengecoran investment dapat diaplikasikan di bidang aerospace yaitu membuat komponen mesin jet, turbin, dan suku cadang pesawat lainnya, bidang medis dalam pembuatan implan, alat bedah, dan gigi palsu serta

bidang otomotif: pada pembuatan komponen mesin yang kompleks dan ornamen dekoratif.

5) Pengecoran *die casting*

Pengecoran *die casting* adalah sebuah proses manufaktur di mana logam cair dipaksa masuk ke dalam cetakan logam (*die*) dengan tekanan dalam proses *die casting* berkisar antara:

- a. *Low pressure die casting*:
Tekanan antara 2,5 - 5 bar.
- b. *High pressure die casting*:
Tekanan dapat mencapai 200 bar atau lebih.
Cetakan ini dirancang secara khusus untuk menghasilkan komponen dengan bentuk dan dimensi yang sangat presisi. Proses ini sering digunakan untuk membuat komponen logam kecil hingga sedang dengan toleransi yang ketat.



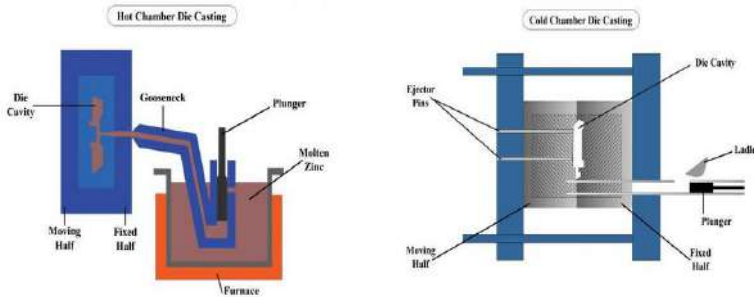
Gambar 4.19. Tahapan *die casting*
(Sumber: Groover, Mikell P., 2010, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems, 4th ed.)

Secara umum, proses *die casting* melibatkan beberapa tahap berikut:

- a. Pembuatan cetakan (*die*)
Cetakan dibuat dari baja yang sangat keras dan tahan panas. Desain cetakan sangat penting untuk memastikan kualitas produk akhir.
- b. Pencairan logam
Logam yang akan dicetak, seperti aluminium, seng, atau magnesium, dicairkan dalam tungku.
- c. Injeksi logam cair
Logam cair yang panas disuntikkan ke dalam rongga cetakan dengan tekanan yang sangat tinggi.
- d. Pendinginan:
Logam cair mendingin dan mengeras di dalam cetakan, mengambil bentuk cetakan.
- e. Pembukaan cetakan:
Cetakan dibuka dan komponen yang telah terbentuk dikeluarkan.
- f. *Finishing*
Komponen yang dihasilkan biasanya sudah memiliki permukaan yang halus, namun apabila diperlukan kehalusan tertentu maka masih membutuhkan proses finishing seperti pemotongan atau penggerindaan.

Proses pencetakan *die casting* terdiri dari dua jenis yaitu :

- a. *Hot Chamber Die Casting*
Logam cair disimpan dalam ruang pemanas yang terhubung langsung dengan cetakan. Cocok untuk logam dengan titik leleh rendah.



Gambar 4.20. *Hot dan Cold Chamber Die Casting.*

Sumber <https://www.wilisindomas.com/english-die-casting-die-casting-process-overview/>

b. *Cold Chamber Die Casting*

Logam cair diambil dari tungku dan disuntikkan ke dalam ruang penahan sebelum dimasukkan ke dalam cetakan. Cocok untuk berbagai jenis logam.

Tekanan dalam proses die casting sangat bervariasi dan tergantung pada beberapa faktor, seperti:

a. Jenis logam

Logam yang memiliki viskositas tinggi akan membutuhkan tekanan yang lebih besar untuk mengisi cetakan.

b. Ukuran dan kompleksitas komponen

Komponen yang lebih besar dan memiliki detail yang rumit umumnya memerlukan tekanan yang lebih tinggi.

c. Desain cetakan:

Desain cetakan yang kompleks dengan banyak rongga kecil juga membutuhkan tekanan yang lebih tinggi.

d. Jenis mesin *die casting*

Mesin *die casting* yang berbeda memiliki kapasitas tekanan yang berbeda.

Keunggulan *die casting* adalah:

- a. Komponen yang dihasilkan memiliki kepresisian tinggi dimana dimensi yang dihasilkan sangat akurat dan konsisten.
- b. Permukaan komponen umumnya halus dan tidak memerlukan banyak finishing.
- c. Sangat cocok untuk produksi dalam jumlah besar.
- d. Dapat menghasilkan komponen dengan detail yang sangat rumit./kompleks.
- e. Komponen yang dihasilkan umumnya memiliki kekuatan dan kekerasan yang tinggi.

Die casting banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti untuk bidang otomotif yaitu padapembuatan komponen mesin, bodi kendaraan, dan aksesoris, bidang elektronik untuk pembuatan casing peralatan elektronik, konektor, dan komponen kecil lainnya selain itu komponen hardware misalnya pada pembuatan kunci, engsel, dan komponen perangkat keras lainnya serta di bidang medis yaitu pada pembuatan peralatan medis seperti pompa insulin dan instrumen bedah.

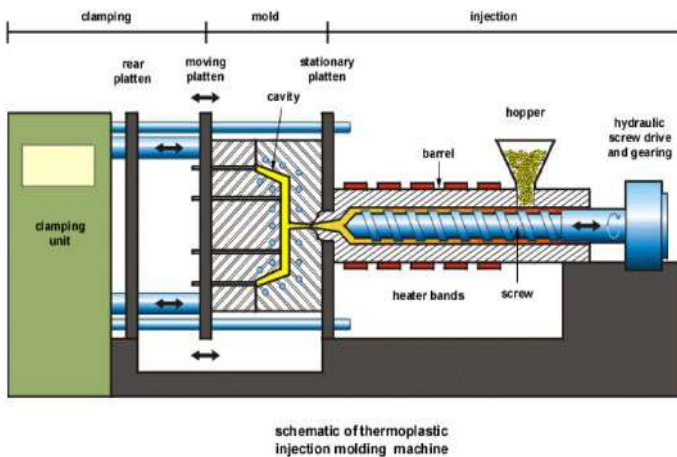
B. Proses moulding plastik

Proses moulding adalah sebuah proses manufaktur di mana bahan plastik dibentuk menjadi produk akhir dengan menggunakan cetakan (**mold**). Cetakan ini memiliki rongga yang sesuai dengan bentuk dan ukuran produk yang diinginkan. Proses ini sangat penting dalam industri manufaktur karena memungkinkan produksi massal produk plastik dengan tingkat akurasi dan konsistensi yang tinggi. Secara umum proses moulding plastik terdapat beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

- a. Pembuatan cetakan

Cetakan biasanya terbuat dari baja yang telah dikeraskan dan dipresisi tinggi. Desain cetakan sangat penting untuk memastikan kualitas produk akhir.

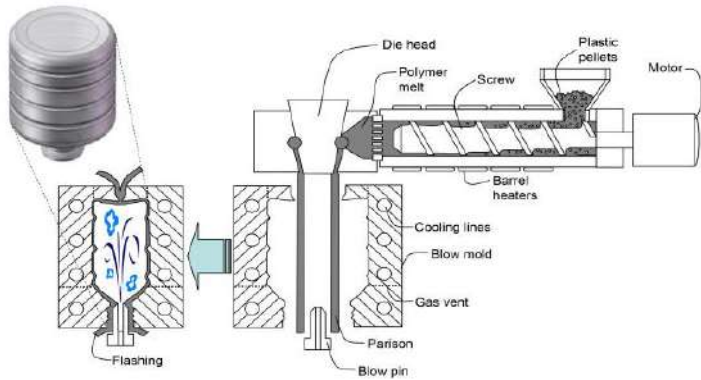
- b. Pemanasan plastik
Bahan plastik dalam bentuk butiran atau pellet dipanaskan hingga meleleh.
 - c. Injeksi plastik:
Plastik cair yang telah meleleh disuntikkan ke dalam rongga cetakan dengan tekanan tinggi.
 - d. Pendinginan
Plastik yang telah mengisi rongga cetakan kemudian didinginkan hingga mengeras dan mengambil bentuk cetakan.
 - e. Pembukaan cetakan
Cetakan dibuka dan produk plastik dikeluarkan.
 - f. *Finishing*
Jika diperlukan, produk plastik akan melalui proses finishing seperti pemotongan, pengamplasan, atau pengecatan.
- Terdapat beberapa jenis moulding plastik, di antaranya:
- 1) *Injection moulding*
Jenis yang paling umum, plastik cair disuntikkan ke dalam cetakan dengan tekanan tinggi.



Gambar 4.21. Proses pembuatan plastik dengan metode *injection mould*

2) *Blow moulding*

Digunakan untuk membuat produk berongga seperti botol atau tabung. Plastik ditiupkan ke dalam cetakan untuk membentuk produk.

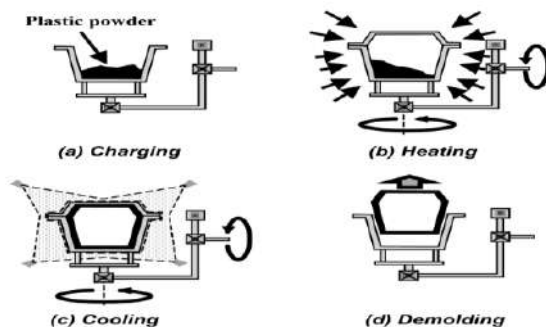


Gambar 4.22. Proses pembuatan plastik dengan metode *blow moulding*

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/blow-molding>

3) *Rotational moulding*

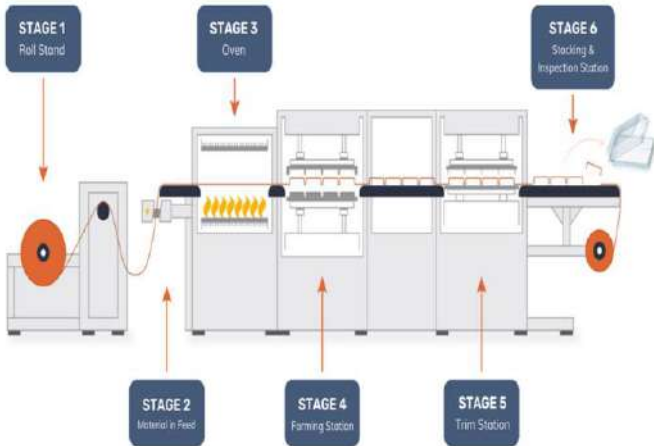
Plastik dipanaskan dan diputar di dalam cetakan hingga menempel pada dinding cetakan.



Gambar 4.23. Pembuatan produk plastik dengan metode moulding yang berputar sumber *principle of rotational molding, courtesy of the Queen's University, Belfast*

4) *Thermoforming*

Lembaran plastik dipanaskan dan dibentuk dengan vakum atau tekanan udara.

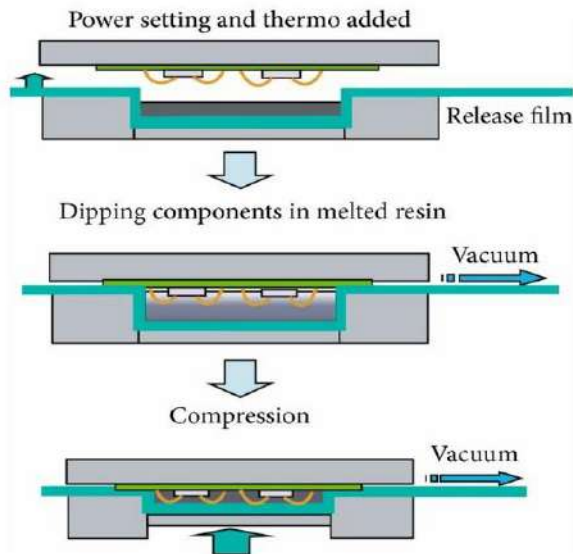


Gambar 4.24. Pembuatan produk plastik dengan menggunakan metode thermoforming.

Sumber: <https://www.plasticingenuity.com/blog/benefits-and-drawbacks-of-in-house-thermoforming/>

5) *Compression moulding*

Plastik ditempatkan dalam cetakan dan dipanaskan di bawah tekanan.



Gambar 4.25. Proses pembuatan plastik dengan metode *compression moulding*

[https://www.researchgate.net/publication/280930900_Simulation-](https://www.researchgate.net/publication/280930900_Simulation-Based_Optimization_of_Cure_Cycle_of_Large_Area_Compression_Molding_for_LED_Silicone_Lens/figures?lo=1)

[Based_Optimization_of_Cure_Cycle_of_Large_Area_Compression_Molding_for_LED_Silicone_Lens/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/280930900_Simulation-Based_Optimization_of_Cure_Cycle_of_Large_Area_Compression_Molding_for_LED_Silicone_Lens/figures?lo=1)

Keuntungan moulding plastik adalah sebagai berikut :

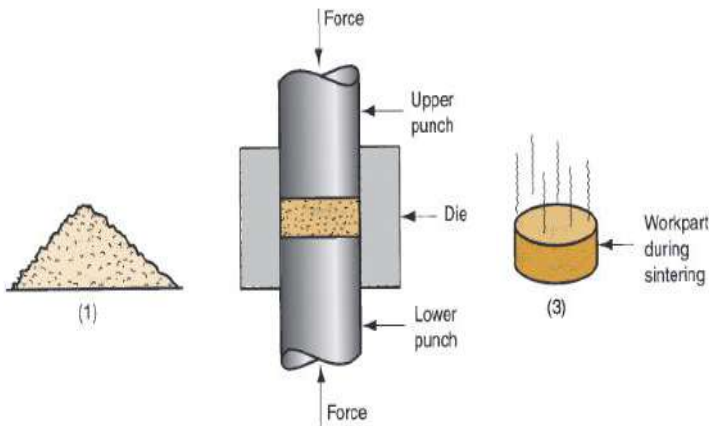
- Dapat menghasilkan produk dalam jumlah besar dengan cepat dan efisien.
- Produk yang dihasilkan memiliki presisi tinggi dimana dimensi yang akurat dan konsisten.
- Dapat menghasilkan produk dengan berbagai bentuk dan ukuran.
- Sifat material plastik bersifat ringan, tahan korosi, dan mudah dibentuk.

Hasil dari metode moulding plastik dipergunakan secara luas dalam berbagai industri misalnya di bidang otomotif yaitu pada pembuatan komponen interior, eksterior kendaraan, bidang elektronik untuk pembuatan casing peralatan elektronik,

bidang medis untuk pembuatan peralatan medis sekali pakai, industri kemasan contohnya pembuatan botol, kemasan makanan, dan kemasan produk lainnya dan berbagai jenis mainan.

2. *Particulate Processing,*

Particulate processing merupakan material berbentuk asal serbuk logam atau keramik. Pada tahapan awal, material bubuk dimasukkan ke dalam rongga cetakan di bawah tekanan tinggi(menekan)dan kemudian dipanaskan untuk menyatukan masing-masing partikel (*sintering*) sehingga menjadi produk akhir yang diinginkan.



Gambar 4.26. Proses partikulat
Sumber Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-
Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-
Groover-Edisi-5-2012

Beberapa aspek utama dalam pemrosesan partikulat:

- Mempelajari karakterisasi partikel yaitu sifat fisik dan kimia partikel, seperti ukuran, bentuk, distribusi ukuran, dan luas permukaan.
- Membuat partikel melalui berbagai metode, seperti penggilingan, pembubukan, pengendapan, dan pengeringan semprot.

- c. Penanganan dan penyimpanan partikel dengan cara mengangkut, menyimpan, dan mencampur partikel secara aman dan efisien.
- d. Pengolahan partikel dengan langkah pertama mengubah partikel menjadi produk akhir melalui teknik seperti sintering, pemadatan, dan pelapisan.

Contoh penggunaan produk dengan menggunakan teknik pemrosesan partikulat:

- a. Komponen logam dari bubuk logam/serbuk.
- b. Membuat produk plastik dengan menyuntikkan plastik cair /proses injeksi ke dalam cetakan.
- c. Pencetakan 3D pada saat membangun objek lapis demi lapis dari bahan bubuk.
- d. Melalui proses penyemprotan (*spray dryer*) kemudian dikeringkan dengan cara menguapkan pelarutnya.

Pemrosesan partikulat dapat diaplikasikan pada pengembangan pembentukan material baru dengan sifat yang disesuaikan, bidang farmasi misalnya pembuatan obat-obatan dan produk medis lainnya, bidang elektronik yaitu dalam memproduksi komponen elektronik dan perangkat, bidang ilmu lingkungan pada pengolahan polutan dan meremediasi situs yang terkontaminasi serta industri makanan yaitu pengolahan dan menciptakan makanan.

3. *Deformation process*

Pengerjaan logam dengan proses deformasi adalah suatu metode mengubah bentuk logam dengan cara memberikan gaya sehingga terjadi perubahan bentuk permanen (deformasi plastis) pada logam tersebut. Proses ini dilakukan tanpa mengubah komposisi kimia dari logam. Proses ini bergantung pada sifat plastisitas logam, yaitu kemampuan logam untuk berubah bentuk secara permanen ketika diberi gaya yang cukup besar tanpa mengalami retak atau pecah dengan memberikan gaya yang tepat, atom-atom dalam logam akan berpindah tempat dan membentuk struktur baru sesuai dengan bentuk yang diinginkan.

Tujuan pengerjaan logam dengan deformasi yaitu

- a. Mengubah bentuk logam dari bentuk awal menjadi bentuk yang diinginkan, seperti lembaran, batang, atau profil tertentu.
- b. Meningkatkan sifat mekanik yaitu kekuatan, kekerasan, dan keuletan logam.
- c. Proses deformasi dapat menghaluskan struktur kristal logam, sehingga meningkatkan sifat mekaniknya.

Faktor yang mempengaruhi proses deformasi

- a. Sifat mekanik material seperti kekuatan tarik, keuletan, dan kekerasan akan mempengaruhi proses deformasi.
- b. Suhu pemrosesan dapat mempengaruhi kemudahan deformasi.
- c. Laju deformasi yang terlalu cepat dapat menyebabkan retak pada logam.
- d. Pelumasan dapat mengurangi gesekan dan keausan pada alat dan benda kerja.

Keuntungan proses deformasi

- a. Tidak ada bahan yang terbuang sebagai serbuk seperti pada proses pemesinan.
- b. Produk yang dihasilkan umumnya memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan produk yang dihasilkan melalui proses lain.
- c. Proses deformasi dapat menghasilkan bentuk yang sangat kompleks.

Kekurangan Proses Deformasi

- a. Peralatan yang digunakan dalam proses deformasi umumnya mahal.
- b. Proses deformasi membutuhkan energi yang cukup besar, sehingga biaya produksinya cenderung tinggi.
- c. Tidak semua jenis logam dapat dideformasi dengan mudah.

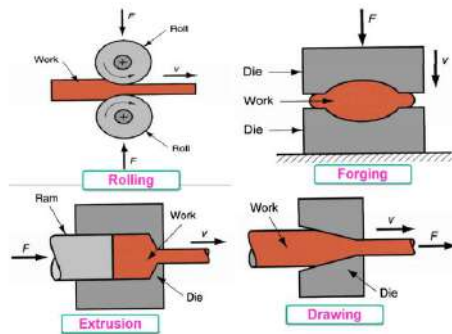
Contoh metode penggunaan pembentukan logam proses deformasi antara lain:

a. Proses deformasi dengan metode pengerolan

Pengerolan merupakan salah satu proses deformasi logam yang paling umum digunakan dalam industri manufaktur. Proses ini melibatkan pengurangan tebal benda kerja logam dengan cara melewatkannya di antara dua buah rol yang berputar berlawanan arah.

Prinsip kerja metode pengerolan yaitu sebagai berikut :

- 1) Saat benda kerja dilewatkan di antara dua rol, tekanan yang sangat besar akan diberikan pada permukaan benda kerja, menyebabkan logam tersebut mengalami deformasi plastis dan menjadi lebih tipis.
- 2) Gesekan antara rol dan benda kerja membantu mendorong benda kerja melewati celah antara kedua rol.
- 3) Tekanan yang diberikan menyebabkan atom-atom dalam logam bergeser dan mengubah struktur internal logam(deformasi) sehingga menghasilkan perubahan bentuk yang permanen.



Gambar 4.27. Ilustrasi proses deformasi dengan proses types of forming - rolling extrusion forging drawing sumber <https://learnmech.com/metal-forming-basic-types-diagram-classification/>

Jenis-jenis pembentukan logam dengan metode pengerolan dapat dibedakan sebagai berikut :

1) Pengerolan dingin

Pengerjaan pengerolan dingin dilakukan pada suhu ruang, menghasilkan permukaan yang lebih halus dan dimensi yang lebih akurat.

2) Pengerolan panas

Metode pengerolan panas dikerjakan pada suhu tinggi sehingga memudahkan deformasi logam dan menghasilkan produk dengan tingkat produksi yang lebih tinggi.

3) Pengerolan profil

Digunakan untuk menghasilkan profil logam yang memiliki penampang melintang tertentu.

Beberapa keuntungan pengerjaan logam dengan metode pengerolan yaitu

1) Produktivitas tinggi dimana proses pengerolan sangat efisien dan dapat menghasilkan produk dalam jumlah besar dalam waktu yang singkat.

2) Pengerjaan pengerolan dapat menghasilkan kualitas permukaan logam yang halus dan rata.

3) Proses pengerolan dapat diterapkan pada berbagai jenis logam, baik *ferrous* maupun *non-ferrous*.

4) Proses pengerolan bersifat fleksibel sehingga dapat menghasilkan berbagai macam bentuk dan ukuran produk.

Metode pengerjaan pengerolan dapat menghasilkan lembaran baja dimana dapat digunakan untuk konstruksi bangunan, pembuatan mobil, dan peralatan rumah tangga, coil/gulungan logam tipis yang digunakan sebagai bahan baku untuk berbagai produk dan profil-profil khusus seperti profil-I, profil-H, dan profil-C yang digunakan dalam konstruksi.

b. Proses deformasi dengan metode penempaan

Penempaan merupakan proses pembentukan logam dengan cara memberikan gaya tekan yang sangat besar

pada logam panas sehingga berubah bentuk sesuai dengan cetakan yang digunakan. Proses ini melibatkan pemukulan atau penekanan logam secara berulang-ulang untuk mencapai bentuk dan ukuran yang diinginkan.

Prinsip kerja metode pengerjaan penempaan adalah sebagai berikut :

- 1) Logam dipanaskan hingga suhu tertentu agar menjadi lebih lunak dan mudah dibentuk.
- 2) Logam yang telah dipanaskan kemudian ditempatkan di antara dua cetakan (*die*) dan diberi gaya tekan yang sangat besar.
- 3) Gaya tekan yang diberikan menyebabkan logam mengalami deformasi plastis, yaitu perubahan bentuk permanen.
- 4) Setelah bentuk yang diinginkan tercapai, logam didinginkan secara perlahan.

Jenis penempaan dapat dibedakan menjadi :

- 1) Penempaan terbuka
Logam dibentuk tanpa menggunakan cetakan, tetapi hanya dengan menggunakan palu dan landasan.
- 2) Penempaan tertutup:
Logam dibentuk menggunakan cetakan (*die*) sehingga bentuk yang dihasilkan lebih presisi.
- 3) Penempaan isothermal
Penempaan dilakukan pada suhu yang relatif konstan untuk menghindari perbedaan suhu yang terlalu besar dalam logam.

Keuntungan proses pengerjaan penempaan

- 1) Produk hasil penempaan memiliki kekuatan dan ketangguhan yang tinggi karena struktur kristal logam menjadi lebih halus dan rapat.
- 2) Penempaan tertutup dapat menghasilkan produk dengan dimensi yang sangat akurat.

- 3) Penempaan dapat diterapkan pada berbagai jenis logam, baik ferrous maupun non-ferrous.
- 4) Proses penempaan dapat memperbaiki struktur kristal logam, sehingga meningkatkan sifat mekaniknya.

Untuk kekurangan proses pengerjaan penempaan meliputi :

- 1) Proses penempaan membutuhkan biaya produksi yang tinggi yang mencakup peralatan yang mahal dan tenaga kerja yang terampil, sehingga biaya produksinya cenderung tinggi.
- 2) Pada pembuatan produk dengan proses penempaan membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan proses pemesinan.
- 3) Meskipun dapat menghasilkan bentuk yang kompleks, namun penempaan memiliki keterbatasan dalam membuat bentuk yang sangat rumit.

Penempaan banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti: bidang otomotif yaitu pembuatan poros engkol, roda gigi, dan komponen mesin lainnya, bidang aerospace pada pembuatan komponen mesin pesawat terbang dan roket, bidang peralatan berat adalah pembuatan komponen alat berat seperti excavator dan bulldoser dan peralatan rumah tangga misalnya pembuatan pisau, garpu, dan peralatan dapur lainnya

c. Proses deformasi dengan metode ekstrusi

Ekstrusi merupakan sebuah proses manufaktur di mana bahan, biasanya logam atau polimer, dipaksa melalui sebuah cetakan (*die*) untuk menghasilkan produk dengan penampang melintang yang konsisten. Proses ini melibatkan penerapan tekanan yang sangat tinggi pada bahan sehingga bahan tersebut mengalir melalui cetakan dan mengambil bentuk cetakan tersebut.

Prinsip kerja metode ekstrusi adalah sebagai berikut :

- 1) Pemanasan:
Bahan baku, seperti logam atau polimer, dipanaskan hingga mencapai suhu yang sesuai untuk membuatnya lebih lunak dan mudah dideformasi.
- 2) Penempatan dalam kontainer
Bahan yang telah dipanaskan ditempatkan dalam sebuah kontainer atau silinder.
- 3) Penerapan tekanan
Sebuah piston atau ram kemudian menekan bahan dengan gaya yang sangat besar.
- 4) Aliran melalui cetakan
Tekanan yang diberikan memaksa bahan mengalir melalui sebuah cetakan (die) yang memiliki bentuk profil yang diinginkan.
- 5) Pendinginan
Bahan yang telah keluar dari cetakan didinginkan untuk mengunci bentuknya.

Jenis-jenis metode pengerjaan ekstrusi

- 1) Ekstrusi panas
Pada proses pengerjaan ekstrusi panas maka dapat dilakukan pada suhu tinggi, umumnya digunakan untuk logam.
- 2) Ekstrusi dingin
Untuk pengerjaan ekstrusi dingin pada suhu kamar atau suhu rendah, umumnya digunakan untuk polimer.
- 3) Ekstrusi langsung
Bahan didorong langsung melalui cetakan.
- 4) Ekstrusi tidak langsung
Bahan didorong melalui sebuah wadah terlebih dahulu sebelum melewati cetakan.

Keuntungan proses pengerjaan ekstrusi adalah sebagai berikut :

- 1) Dapat menghasilkan berbagai macam profil yang fleksibel dengan bentuk yang sederhana dan kompleks.
- 2) Proses produksi yang efisien karena cepat dan kontinu.
- 3) Menghasilkan permukaan yang halus dan konsisten.
- 4) Penggunaan material yang optimal karena dapat meminimalkan limbah material.

Adapun kekurangan proses pengerjaan ekstrusi adalah

- 1) Biaya peralatan yang tinggi dimana mesin ekstrusi umumnya mahal.
- 2) Panjang produk terbatas oleh panjang mesin ekstrusi.
- 3) Hanya material tertentu yang dapat diproses dengan ekstrusi.

Ekstrusi digunakan secara luas dalam berbagai industri misalnya industri logam yaitu pembuatan profil aluminium, pipa baja, dan komponen otomotif, industri plastik adalah pembuatan pipa PVC, profil plastik, dan film plastik, industri makanan yaitu pembuatan pasta, sereal dan makanan ringan.

- d. Proses deformasi dengan metode Penarikan dalam (*deep drawing*)

Penarikan dalam (*deep drawing*) adalah sebuah proses pembentukan logam lembaran menjadi bentuk mangkuk atau wadah yang dalam dengan menggunakan tekanan. Proses ini berbeda dengan ekstrusi, meskipun keduanya melibatkan deformasi logam.

Proses penarikan dalam (*deep drawing*) memiliki beberapa tahapan yaitu sebagai berikut :

- 1) Lembaran logam
Dimulai dengan sebuah lembaran logam yang cukup besar untuk membentuk produk akhir.
- 2) Cetakan (*Die*)
Lembaran logam ditempatkan di atas cetakan yang memiliki bentuk negatif dari produk akhir.
- 3) *Punch*
Sebuah *punch* yang berbentuk positif dari produk akhir kemudian menekan lembaran logam ke dalam cetakan.
- 4) Deformasi
Tekanan yang diberikan oleh *punch* menyebabkan lembaran logam mengalami deformasi plastis dan mengambil bentuk cetakan.
- 5) Produk akhir
Setelah proses selesai, diperoleh produk dengan bentuk yang diinginkan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas hasil dari proses pengerjaan *deep drawing* yaitu sebagai berikut :

- 1) Sifat material
Keuletan dan kekuatan tarik material akan mempengaruhi kemudahan proses penarikan.
- 2) Geometri cetakan
Bentuk dan ukuran cetakan akan menentukan bentuk produk akhir.
- 3) Besar gaya
Gaya yang diberikan harus cukup besar untuk menyebabkan deformasi plastis, tetapi tidak terlalu besar sehingga menyebabkan retak.
- 4) Pelumasan
Pelumasan yang baik akan mengurangi gesekan antara lembaran logam dan cetakan.

Metode *deep drawing* digunakan untuk membuat berbagai produk, seperti di bidang otomotif yaitu pembuatan bodi mobil dimana panel-panel bodi mobil sering dibuat dengan proses penarikan dalam, peralatan

rumah tangga misal panci, wajan, dan peralatan dapur lainnya dan casing elektronik misal casing untuk telepon seluler, laptop, dan peralatan elektronik lainnya.

e. Proses deformasi dengan metode penarikan kawat (*wire drawing*)

Penarikan kawat (*wire drawing*) adalah sebuah proses pembentukan logam di mana batang logam (*wire rod*) ditarik melalui lubang cetakan (*die*) yang semakin mengecil. Proses ini menghasilkan kawat dengan diameter yang lebih kecil dan sifat mekanik yang lebih baik.

Berikut prinsip kerja penarikan kawat yaitu :

- 1) Sebuah gaya tarik yang sangat besar diberikan pada ujung batang logam.
- 2) Gaya tarik ini menyebabkan logam mengalami deformasi plastis, yaitu perubahan bentuk permanen.
- 3) Batang logam ditarik melalui lubang cetakan (*die*) yang memiliki diameter yang lebih kecil dari diameter awal batang logam.
- 4) Saat melewati cetakan, diameter batang logam berkurang secara bertahap.

Tujuan proses pengerjaan penarikan kawat adalah sebagai berikut :

- 1) Tujuan utama adalah untuk mengurangi diameter batang logam menjadi ukuran yang diinginkan.
- 2) Proses penarikan dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan kawat.
- 3) Memperbaiki permukaan kawat menjadi lebih halus dan rata.
- 4) Sifat mekanik kawat seperti keuletan dan kekerasan dapat diubah sesuai dengan kebutuhan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses penarikan kawat (*wire drawing*):

- 1) Sifat mekanik bahan baku seperti kekuatan tarik, keuletan, dan kekerasan akan mempengaruhi proses penarikan.
- 2) Bentuk dan ukuran cetakan akan menentukan diameter dan profil kawat akhir.
- 3) Besar gaya tarik yang diberikan harus cukup besar untuk menyebabkan deformasi plastis, tetapi tidak terlalu besar sehingga menyebabkan kawat putus.
- 4) Jenis dan jumlah pelumas yang digunakan akan mempengaruhi proses penarikan dan kualitas permukaan kawat.
- 5) Suhu proses penarikan dapat mempengaruhi sifat mekanik kawat akhir.

Berikut tahapan proses penarikan kawat adalah sebagai berikut :

- 1) Pemilihan bahan baku
Batang logam (*wire rod*) yang akan ditarik harus memiliki kualitas yang baik dan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.
- 2) Pemanasan (opsional)
Tergantung pada jenis logam dan sifat yang diinginkan, batang logam dapat dipanaskan sebelum proses penarikan.
- 3) Pelumasan
Permukaan batang logam dan cetakan dilumasi untuk mengurangi gesekan dan keausan.
- 4) Penarikan
Batang logam ditarik melalui beberapa cetakan secara bertahap hingga mencapai diameter yang diinginkan.
- 5) Pendinginan
Setelah proses penarikan selesai, kawat didinginkan untuk mengunci sifat mekaniknya.
Kawat yang dihasilkan melalui proses penarikan memiliki banyak aplikasi dalam berbagai industri,

seperti: industri otomotif yaitu pembuatan kabel, pegas, dan komponen lainnya, industri konstruksi dimana terdapat pembuatan kawat las, kawat beton, dan jaring kawat dan industri elektronik yaitu pembuatan kabel listrik, kabel telekomunikasi, dan komponen elektronik lainnya

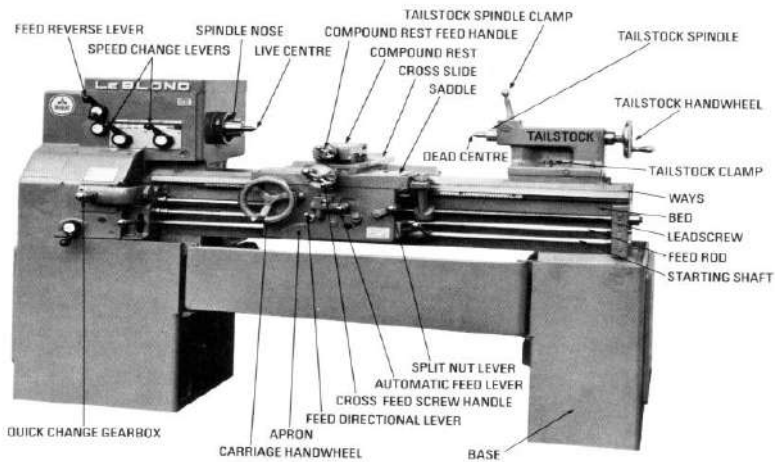
4. Material Removal Processes

Material removal processes adalah operasi yang menghilangkan kelebihan material benda kerja awal sehingga bentuk yang dihasilkan sesuai geometri yang diinginkan.

Penerapan metode *removal process* pada pengoperasian pemesinan seperti

- a. Pengoperasian permesinan metode removal process dengan mesin bubut/*turning*

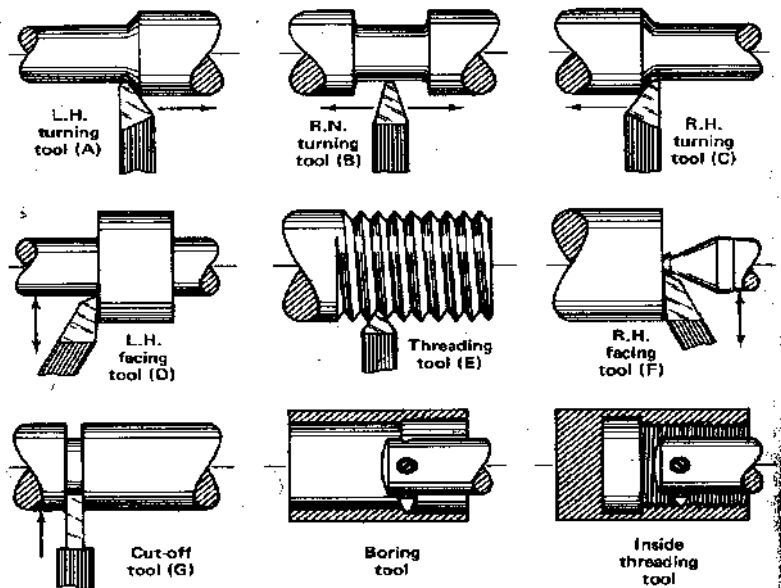
Mesin bubut adalah salah satu alat perkakas yang sangat penting dalam dunia industri. Mesin ini digunakan untuk membentuk dan mengolah berbagai jenis material, terutama logam, menjadi bentuk yang diinginkan dengan cara memutar benda kerja yang berbentuk silinder sambil dipotong oleh pahat pada mesin bubut memiliki karakteristik simetris terhadap sumbu putar. Mesin bubut memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai industri karena mesin bubut mampu menghasilkan komponen dengan tingkat akurasi yang tinggi, dapat digunakan untuk mengolah berbagai jenis material dan bentuk dan proses pembubutan relatif cepat dan efisien.



Courtesy The R. K. LeBlond Machine Tool Co.

Fig. 9-3A Parts of an engine lathe

Gambar 4.28. Mesin *turning*/bubut



Gambar 4.29. Jenis-jenis pengerjaan bubut

Fungsi utama mesin bubut adalah sebagai berikut

1. *Parting off*/pemotongan

Metode pengerjaan *parting off* adalah istilah dalam proses manufaktur, khususnya pada mesin bubut, yang mengacu

pada operasi pemotongan akhir sebuah benda kerja. Selain untuk proses memisahkan secara sempurna bagian yang telah selesai dibentuk, proses ini juga membantu meningkatkan akurasi dimensi dan bentuk akhir dari benda kerja serta bagian yang telah dipisahkan dapat dilanjutkan ke proses finishing atau perakitan.

Pertimbangan dalam pengerjaan dengan metode *parting off* adalah

- a. Jenis Material:
Material yang berbeda memiliki sifat mekanik yang berbeda pula, sehingga pemilihan pahat dan kecepatan potong harus disesuaikan.
- b. Diameter bagian yang dipotong
Diameter bagian yang akan dipotong akan mempengaruhi gaya potong dan kemungkinan terjadinya getaran.
- c. Kedalaman potongan
Kedalaman potongan yang terlalu dalam dapat menyebabkan pahat patah atau benda kerja mengalami cacat.

Tahapan proses *parting off* meliputi

- a. Pengaturan pahat
Pahat yang digunakan untuk *parting off* biasanya memiliki bentuk yang lebih tipis dan runcing dibandingkan pahat lainnya. Hal ini memungkinkan pahat untuk memotong material secara efektif tanpa menimbulkan getaran berlebihan.
- b. Pengaturan mesin bubut
Mesin bubut diatur pada kecepatan putaran yang sesuai dengan jenis material benda kerja dan diameter bagian yang akan dipotong.
- c. Pemotongan
Pahat bergerak secara perlahan dan tegak lurus terhadap sumbu putaran benda kerja. Proses pemotongan dilakukan secara bertahap agar tidak terjadi patah pahat atau kerusakan pada benda kerja.

d. Pemisahan

Setelah material terpotong sepenuhnya, bagian yang telah dibentuk akan terpisah dari sisa material.

Parting off banyak diaplikasikan dalam berbagai industri, seperti bidang otomotif yaitu pembuatan komponen mesin, poros, dan bagian-bagian kecil lainnya, bidang aerospace pada pengerjaan komponen pesawat terbang, roket, dan satelit, bidang medis pada pembuatan alat-alat bedah dan implan serta bidang elektronik yaitu pembuatan komponen elektronik berukuran kecil.

2. *Facing*

Facing dalam dunia permesinan adalah sebuah proses pembubutan yang bertujuan untuk membuat permukaan ujung benda kerja menjadi rata dan halus. Proses ini dilakukan dengan menggerakkan pahat bubut secara tegak lurus terhadap sumbu putar benda kerja. Tujuan *facing* adalah membuat hasil akhir *facing* permukaan yang rata, datar dan sejajar dengan permukaan yang lain, mengatur panjang benda kerja sesuai dengan yang diinginkan serta membersihkan permukaan benda kerja dari kotoran atau sisa-sisa proses machining sebelumnya.

Tahapan cara kerja *facing* adalah

- a. Pemasangan benda kerja
Benda kerja dijepit pada chuck atau ragum mesin bubut.
- b. Pengaturan posisi pahat
Pahat diatur sedemikian rupa sehingga ujungnya sejajar dengan permukaan yang akan di-*facing*.
- c. Mengaktifkan mesin bubut
Mesin bubut dihidupkan dan benda kerja mulai berputar.
- d. Menggerakkan pahat
Pahat digerakkan secara perlahan mendekati benda kerja hingga mencapai kedalaman yang diinginkan.

Proses *facing* dalam dunia industri dipergunakan dibidang otomotif dalam proses pembuatan permukaan yang rata

pada blok mesin, poros engkol, dan komponen lainnya, untuk mesin perkakas dalam pengerjaan permukaan yang rata pada berbagai jenis komponen dan di dunia industri manufaktur: dipergunakan di berbagai keperluan yang membutuhkan permukaan yang rata dan halus.

3. *Boring*

Perbedaan mendasar dari proses pengeboran yaitu membuat lubang baru pada benda kerja dan *boring* adalah proses memperbesar diameter lubang yang sudah ada pada sebuah benda kerja. Proses ini dilakukan dengan menggunakan alat khusus yang disebut bor (*ber*) berbentuk silindris dengan ujung yang tajam kemudian dipasang pada mesin bor atau mesin bubut. Tujuan *boring* memperbesar diameter lubang untuk menyesuaikan dengan ukuran komponen lain yang akan dipasang, jika lubang awal tidak lurus, proses *boring* dapat membuatnya lebih presisi serta hasil akhir *boring* biasanya menghasilkan permukaan lubang yang lebih halus dan rata dibandingkan dengan pengeboran awal. Proses *boring* banyak diaplikasikan dalam berbagai industri, misalnya di bidang otomotif yaitu pada proses memperbesar diameter silinder mesin, membuat lubang pada blok mesin, dan lain-lain, apabila mengoperasikan mesin perkakas maka digunakan pembuatan lubang presisi pada berbagai jenis komponen dan untuk bidang industri manufaktur untuk berbagai keperluan yang membutuhkan lubang dengan ukuran dan kualitas yang tinggi.

4. *Knurling*

Membuat pola permukaan yang bergaris-garis untuk meningkatkan daya cengkeram dan mencegah slip. Cara pembuatan *knurling* dengan menggunakan roda *knurling* yang memiliki pola tertentu untuk menekan permukaan benda kerja, sehingga permukaan menjadi kasar, bertekstur terbentuk pola yang diinginkan. Contoh produk yang menggunakan proses pengerjaan *knurling* yaitu gagang obeng, knop pintu dan mur pengunci.

5. Membuat ulir/*threading*

Threading atau ulir dalam dunia permesinan adalah suatu proses pembuatan ulir pada sebuah benda kerja, biasanya berupa batang atau lubang. Ulir ini berfungsi sebagai penghubung atau pengencang antara dua komponen, seperti baut dan mur yang berfungsi sebagai sambungan yang kuat, akurat, dan mudah dilepas.

Untuk pembuatan ulir pada umumnya dengan menggunakan mesin bubut yang prosesnya melibatkan pergerakan pahat khusus yang memotong material secara bertahap mengikuti bentuk spiral.

Terdapat dua metode utama dalam pembuatan ulir, yaitu:

- a. *Threading* dengan pahat tunggal
Pahat bergerak secara perlahan sepanjang sumbu benda kerja, memotong material sedikit demi sedikit hingga terbentuk ulir.
- b. *Threading* dengan tap
Tap adalah alat potong berbentuk ulir yang digunakan untuk memotong ulir dalam lubang. Tap dimasukkan ke dalam lubang yang sudah dipersiapkan dan diputar dengan tangan atau mesin.

Ulir memiliki banyak fungsi dalam berbagai aplikasi, antara lain:

- a. Penghubung
Menghubungkan dua komponen, seperti baut dan mur.
- b. Pengencang
Mengencangkan atau mengendurkan komponen.
- c. Penggerak
Mengubah gerakan rotasi menjadi gerakan linier, seperti pada sekrup.
- d. Pengukur
Mengukur panjang atau kedalaman.

Ada berbagai jenis ulir yang digunakan dalam industri, di antaranya:

- a. Ulir metrik
Ulir berdimensi dan profilnya ditentukan dalam satuan metrik (mm).
- b. Ulir inci
Ulir berdimensi dan profilnya ditentukan dalam satuan inci.
- c. Ulir trapesium
Ulir mempunyai profil berbentuk trapesium, sering digunakan untuk beban aksial tinggi.
- d. Ulir segitiga
Ulir memiliki profil berbentuk segitiga, sering digunakan untuk sambungan yang memerlukan kekencangan tinggi.
Aplikasi penggunaan ulir pada dunia manufaktur yaitu baut dan mur dipergunakan untuk mengencangkan berbagai jenis sambungan, sekrup difungsikan menyatukan dua permukaan atau mengencangkan komponen, katup digunakan untuk mengatur aliran fluida dan poros ulir difungsikan dalam berbagai mekanisme, seperti *jack screw* atau *ball screw*

6. *Chamfering*

Chamfering adalah proses pemotongan sudut atau tepi benda kerja menjadi miring atau landai. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya retak atau patah pada sudut yang tajam, meningkatkan kekuatan, atau memperbaiki penampilan produk.

Tujuan *chamfering* adalah

- a. Mencegah retak
Sudut yang tajam dapat menjadi titik lemah di mana retak dapat terjadi. *chamfering* mengurangi konsentrasi tegangan di sudut tersebut.
- b. Meningkatkan kekuatan
Chamfering dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan benda kerja terhadap beban.

- c. Memperbaiki penampilan
Sudut yang miring memberikan tampilan yang lebih halus dan estetik.
- d. Memudahkan perakitan *chamfering* dapat memudahkan perakitan komponen-komponen yang saling terhubung.

Metode *chamfering* dengan beberapa metode yaitu dengan menggunakan

- a. Pahat bubut
Salah satu metode yang paling umum. Pahat bubut digunakan untuk memotong sudut secara miring.
- b. Alat *chamfer* khusus
Ada alat potong yang dirancang khusus untuk *chamfering*, seperti *chamfer tools* atau *chamfer cutters*. Metode *chamfering* merupakan proses yang umum digunakan dalam berbagai industri, termasuk bidang otomotif dalam pembuatan komponen mesin, bodi kendaraan dan aksesoris, bidang aerospace untuk pembuatan komponen pesawat terbang dan roket, peralatan berat pada pembuatan komponen alat berat seperti excavator dan bulldoser serta untuk berbagai macam peralatan rumah tangga.

7. *Grooving* /membuat alur

Membuat alur/bentuk lekukan pada permukaan benda kerja yang berbentuk silinder.

Beberapa jenis alur yang umum adalah:

- a. Alur lurus
Alur yang sejajar dengan sumbu putar benda kerja.
- b. Alur melingkar
Alur yang mengelilingi benda kerja.
- c. Alur spiral
Alur yang berbentuk spiral.
- d. Alur T
Alur yang berbentuk huruf T.
- e. Alur V
Alur yang berbentuk huruf V.

Contoh produk yang menggunakan pengerjaan alur yaitu poros engkol yang memiliki alur untuk tempat oli agar melumasi bagian dalam poros, pembuatan roda gigi dimana alur difungsikan sebagai tempat pasak atau kunci agar roda gigi tidak terlepas dari porosnya.

Komponen utama mesin bubut adalah:

- a. *Bed*
Bagian dasar mesin yang menopang komponen lainnya.
- b. *Headstock*
Bagian yang menampung spindel dan mekanisme penggerak.
- c. *Tailstock*
Bagian yang dapat digeser-geser untuk mendukung ujung benda kerja yang panjang.
- d. *Carriage*
Bagian yang membawa pahat dan dapat bergerak secara longitudinal dan transversal.
- e. *Cross slide*
Bagian dari carriage yang memungkinkan pahat bergerak secara transversal.
- f. *Compound rest*
Bagian yang memungkinkan pahat bergerak pada sudut tertentu.

Jenis-jenis mesin bubut:

- a. Mesin bubut konvensional: Dioperasikan secara manual.
- b. Mesin bubut CNC
Dioperasikan dengan menggunakan program komputer.

Faktor yang mempengaruhi bentuk benda kerja:

- a. Jenis pahat
Pahat yang digunakan akan menentukan jenis permukaan yang dihasilkan.
- b. Gerakan pahat
Gerakan pahat secara longitudinal dan transversal akan menghasilkan bentuk yang berbeda.

- c. Kecepatan putaran
Kecepatan putaran benda kerja akan mempengaruhi kualitas permukaan hasil bubutan.
- d. Kecepatan potong
Kecepatan potong pahat akan mempengaruhi tingkat pembuangan material.
- e. Umpan
Jarak maju pahat pada setiap putaran benda kerja akan mempengaruhi hasil akhir.

Contoh benda kerja yang sering diproduksi dengan mesin bubut yaitu poros meliputi poros lurus, poros beralur, poros tirus, poros engkol, komponen roda gigi yaitu roda gigi lurus, roda gigi miring, roda gigi cacing serta *bushing* dimana sejenis bantalan yang sering digunakan untuk mengurangi gesekan antara dua komponen.

8. Mesin bor/*drilling*,

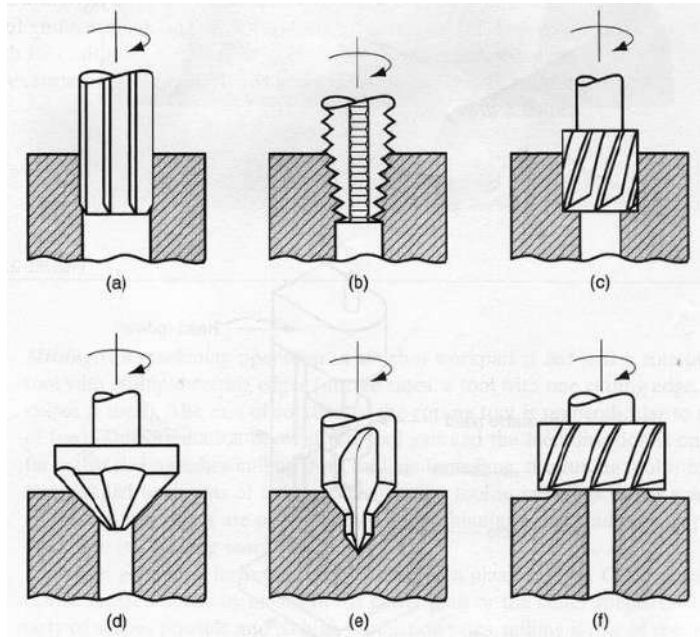
Mesin bor atau *drilling machine* adalah alat perkakas yang digunakan untuk membuat lubang pada berbagai jenis material, seperti logam, kayu, plastik, dan lainnya. Mesin ini bekerja dengan cara memutar mata bor yang tajam untuk menembus material dan membentuk lubang silindris. Keunggulan dari penggunaan mesin bor adalah efisien dimana dapat membuat lubang dengan cepat dan akurat, fleksible dikarenakan tersedia berbagai jenis mata bor untuk berbagai jenis material dan ukuran lubang, pengoperasian mesin bor relatif sehingga mudah digunakan.



Gambar 4.30. Mesin bor serta bagian-bagiannya
 sumber: <https://dayacipta.co.id/dnews/16/bagian-bagian-mesin-bor-dan-fungsi.html>

Prinsip kerja mesin bor adalah sebagai berikut :

- a. Penjepitan
Mata bor dijepit pada spindle dengan kuat.
- b. Pengaturan kedalaman
Kedalaman lubang yang akan dibuat diatur sesuai dengan kebutuhan.
- c. Pemberian tekanan
Benda kerja ditekan pada meja kerja dan mata bor didorong masuk ke dalam material.
- d. Pemutaran
Spindle berputar dengan kecepatan tinggi, menyebabkan mata bor memotong material dan membentuk lubang.



Gambar 4.31. Operasi permesinan yang berkaitan dengan pengeboran (a) *reaming*, (b) *tapping*, (c) *counter-boring*, (d) *countersinking*, (e) *centre drilling* dan (f) *spot facing* . sumber ©2002 John Wiley & Sons, Inc. M. P. Groover, “Fundamentals of Modern Manufacturing 2/e”

Jenis-jenis mesin bor adalah sebagai berikut :

- a. Mesin bor tangan
Mesin bor yang dioperasikan secara manual dan biasanya berukuran kecil.
- b. Mesin bor meja
Mesin bor yang lebih besar dan kuat, dengan meja kerja yang kokoh untuk menopang benda kerja yang lebih berat.
- c. Mesin bor radial
Mesin bor dengan lengan yang dapat digerakkan untuk mencapai area yang sulit dijangkau.

d. Mesin bor CNC

Mesin bor yang dikendalikan oleh komputer, memungkinkan pembuatan lubang dengan presisi tinggi dan pola yang kompleks.

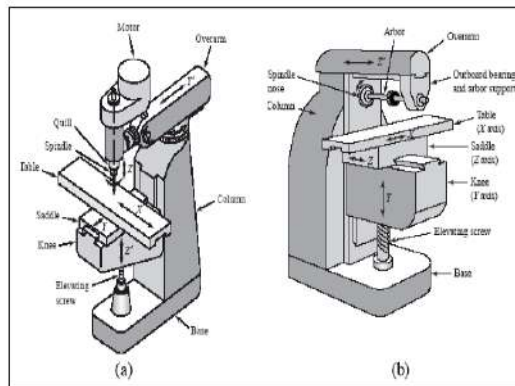
Mesin bor banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti di bidang otomotif dalam pembuatan lubang pada komponen mesin, bodi kendaraan, dan lainnya, bidang konstruksi untuk pembuatan lubang pada beton, kayu, dan logam untuk pemasangan baut, paku, dan lainnya, bidang elektronika yaitu membuat lubang pada papan sirkuit dan komponen elektronik lainnya serta dibidang pertukangan untuk pembuatan lubang pada kayu untuk pemasangan engsel, baut, dan lainnya.

9. *Mesin frais/ milling*

Mesin *frais/milling* adalah proses pemesinan yang menggunakan pemotong putar untuk menghilangkan material dari permukaan benda kerja. Pemotong putar, yang juga dikenal sebagai pisau *frais* atau *cutter*, memiliki banyak titik potong yang berputar dan memotong material saat bergerak melintasi benda kerja. Keunggulan dari penggunaan mesin milling adalah dapat menghasilkan berbagai bentuk dan ukuran benda kerja, menghasilkan permukaan yang sangat akurat dan presisi dan dapat memproses material dengan cepat sehingga lebih efisien.



Gambar 4.32. Mesin Frais Universal



Skematik dari gerakan-gerakan dan komponen-komponen dari (a) Mesin Frais vertical tipe *column and knee*, dan (b) Mesin Frais horizontal tipe *column and knee*.

Gambar 4.33. Bagian-bagian Mesin Frais

Secara prinsip kerja milling maka dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Penjepitan
Benda kerja dijepit pada meja kerja mesin milling.
- b. Pemutaran
Pemotong putar diputar dengan kecepatan yang sesuai.

c. Pergerakan

Pemotong putar bergerak melintasi permukaan benda kerja, menghilangkan material dan membentuk permukaan yang diinginkan.

Jenis-jenis pengerjaan yang dapat dikerjakan di mesin milling adalah sebagai berikut :

a. *Face milling*

Proses pengerjaan *face milling* merupakan salah satu jenis operasi pemesinan yang digunakan untuk menghapus material dari permukaan kasar untuk menghasilkan permukaan datar yang halus, memotong material secara efektif, terutama pada benda kerja yang besar dan tebal serta dapat membentuk alur atau celah dengan dasar datar. pada benda kerja. Proses ini melibatkan penggunaan pemotong putar berdiameter lebih besar dibandingkan *end mill cutter* berkecepatan sesuai dengan standar yang ditetapkan dinamakan *face mill cutter* atau *face mill* yang bergerak secara horizontal atau vertikal melintasi permukaan benda kerja, menghilangkan material dan menghasilkan permukaan datar yang diinginkan.

b. *End milling*

Proses pengerjaan *end milling* adalah salah satu jenis operasi pemesinan yang digunakan untuk membuat alur, lubang, dan profil kompleks pada benda kerja. Proses ini melibatkan penggunaan pemotong putar khusus yang disebut *end mill cutter*. Karakteristik *end mill cutter* meliputi memiliki titik potong pada ujung dan sisi-sisinya, sehingga dapat digunakan untuk membuat alur, lubang, dan profil kompleks, biasanya memiliki diameter yang lebih kecil dibandingkan dengan *face mill cutter* serta dapat bergerak secara radial dan axial untuk menghasilkan bentuk-bentuk yang kompleks.

Prinsip kerja *end milling*:

a. Penjepitan

Benda kerja dijepit pada meja kerja mesin milling.

b. Pemutaran

End mill cutter diputar dengan kecepatan yang sesuai.

c. Pergerakan

End mill cutter bergerak secara horizontal atau vertikal, dan juga dapat bergerak secara radial untuk mencapai kedalaman potong yang diinginkan.

Keunggulan *end milling* adalah dapat digunakan untuk menghasilkan berbagai bentuk dan ukuran alur, lubang, dan profil, menghasilkan bentuk yang presisi dengan tingkat toleransi yang ketat serta memproses material dengan cepat dan efisien.

Yang dapat dikerjakan oleh metode *end milling* adalah pembuatan alur dengan berbagai bentuk dan kedalaman, pembuatan lubang dengan berbagai ukuran dan bentuk, pembentukan profil profil kompleks pada benda kerja, seperti *gear*, *cam*, dan lainnya serta pengerjaan sudut sudut-sudut yang tajam atau bulat.

d. *Slot milling*

Pengerjaan *slot milling* merupakan salah satu jenis operasi pemesinan yang digunakan untuk membuat slot atau celah pada benda kerja. Proses ini melibatkan penggunaan pemotong putar khusus yang disebut *slot mill cutter* yang mempunyai karakteristik

Slot mill cutter memiliki titik potong pada sisi-sisinya, sehingga dapat digunakan untuk membuat slot dengan lebar yang konsisten, lebar slot mill cutter dapat disesuaikan untuk membuat slot dengan berbagai ukuran serta dapat bergerak secara radial untuk mencapai kedalaman slot yang diinginkan. Adapun keunggulan *slot milling* yaitu dapat menghasilkan slot dengan lebar dan kedalaman yang presisi, mampu memproses material dengan cepat dan efisien serta fleksible dalam membuat slot dengan berbagai ukuran dan bentuk.

Prinsip kerja *slot milling*:

1) Penjepitan

Benda kerja dijepit pada meja kerja mesin milling.

2) Pemutaran

Slot mill cutter diputar dengan kecepatan yang sesuai.

3) Pergerakan

Slot mill cutter bergerak secara horizontal atau vertikal, dan juga dapat bergerak secara radial untuk mencapai kedalaman slot yang diinginkan.

Metode pengerjaan mesin milling dengan metode slot milling digunakan pada pembuatan slot kunci di berbagai jenis benda kerja, seperti pintu, jendela, dan loker, pembuatan slot ventilasi pada berbagai produk, seperti casing elektronik dan komponen mesin serta pembuatan slot untuk pemasangan komponen-komponen tertentu pada benda kerja.

e. *Contour milling*

Pengerjaan dengan metode *contour milling* adalah salah satu jenis operasi pemesian yang digunakan untuk menghasilkan bentuk kontur yang kompleks pada benda kerja. Proses ini melibatkan penggunaan pemotong putar khusus yang disebut *contour mill cutter* dimana mempunyai spesifikasi memiliki titik potong pada ujung dan sisi-sisinya, sehingga dapat digunakan untuk menghasilkan bentuk-bentuk yang kompleks, diameter *contour mill cutter* dapat disesuaikan untuk menghasilkan kontur dengan berbagai ukuran serta *contour mill cutter* dapat bergerak secara kompleks mengikuti jalur yang telah diprogram. Secara prinsip kerja contour milling terdapat beberapa tahapan yaitu benda kerja dijepit pada meja kerja mesin milling kemudian *contour mill cutter* diputar dengan kecepatan sesuai standar dan terakhir *contour mill cutter* bergerak secara kompleks mengikuti kontur yang telah ditentukan, menghilangkan material dan menghasilkan bentuk yang diinginkan. Kelebihan dari metode *contour*

milling adalah dapat menghasilkan bentuk kontur yang sangat presisi, fleksible dalam menghasilkan berbagai bentuk kontur yang kompleks serta untuk memproses material dengan cepat dan efisien. Aplikasi penggunaan metode contour milling adalah pembuatan komponen-komponen dengan bentuk yang kompleks, seperti gear, cam, dan bagian-bagian mesin lainnya serta pembuatan cetakan produk-produk yang memiliki bentuk yang kompleks serta pengerjaan prototipe produk-produk baru.

Hasil dari pengerjaan proses milling secara umum dapat digunakan dalam berbagai industri, seperti bidang otomotif yaitu pada pembuatan komponen mesin, bodi kendaraan, dan lainnya, bidang aerospace untuk pembuatan komponen pesawat terbang, roket, dan satelit, bidang elektronika saat pembuatan komponen elektronik, seperti papan sirkuit serta bidangpertukangan yaitu pembuatan berbagai produk kayu, seperti furniture dan kerajinan.

f. *Mesin gerinda*

Mesin gerinda adalah alat mesin yang digunakan untuk mengasah, menghaluskan, memotong dan memoles benda kerja dengan menggunakan roda abrasif sebagai alat potongnya. Roda abrasif ini memiliki partikel-partikel tajam yang akan mengikis permukaan benda kerja saat berputar.



Gambar 4.34. Mesin Gerinda

Prinsip kerja mesin gerinda adalah sebagai berikut :

- 1) Roda abrasif yang terbuat dari bahan abrasif seperti batu korundum atau carbide silicon dipasang pada poros yang berputar dengan kecepatan tinggi.
- 2) Benda kerja ditekan atau digosokkan pada roda abrasif yang berputar sehingga terjadi gesekan dan pengikisan pada permukaan benda kerja.
- 3) Partikel-partikel tajam pada roda abrasif akan mengikis material dari permukaan benda kerja, menghasilkan permukaan yang halus atau bentuk yang diinginkan.

Jenis-jenis mesin gerinda:

- 1) Mesin gerinda tangan
Mesin gerinda tangan diperuntukkan pada pekerjaan lapangan atau di bengkel kecil, bentuknya portabel dan mudah dibawa.

- 2) Mesin gerinda bangku
Mesin gerinda bangku dipergunakan untuk pekerjaan yang lebih presisi, biasanya dipasang pada bangku kerja.
- 3) Mesin gerinda cincin
Dipergunakan untuk mengasah atau memotong benda kerja dengan diameter luar.
- 4) Mesin gerinda permukaan: Berfungsi untuk menghaluskan permukaan benda kerja yang luas.
Mesin gerinda banyak digunakan dalam berbagai industri seperti otomotif, konstruksi, metalurgi, dan pertukangan. Beberapa kegunaan umum mesin gerinda antara lain perbaikan kendaraan misalnya sebagai pengasah baut, mur, atau komponen mesin lainnya, pembuatan logam yaitu memotong, mengasah, atau menghaluskan bahan logam, bidang konstruksi adalah memotong besi beton atau mengasah alat-alat pertukangan yaitu menghaluskan permukaan kayu atau membuat ukiran.

Untuk pemesinan non-tradisional dengan menggunakan yaitu sebagai berikut :

- 1) Sinar laser
Sinar laser adalah cahaya yang sangat terfokus, monokromatik (hanya memiliki satu warna), dan koheren (gelombang cahaya bergerak secara sinkron). Cahaya laser dihasilkan melalui proses stimulasi emisi radiasi yang diperkuat. Sebuah teknologi canggih yang memanfaatkan sinar laser berkekuatan tinggi untuk memotong, mengukir, atau bahkan mengelas berbagai jenis material. Proses ini menawarkan tingkat akurasi dan kecepatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional lainnya, dapat digunakan untuk berbagai jenis material tanpa adanya kontak fisik dan dapat menghasilkan performa produk yang kompleksitas tinggi. Cara

kerja pengerjaan dengan menggunakan sinar laser yaitu sinar laser yang dipancarkan dari sumber laser difokuskan pada titik yang sangat kecil pada permukaan material. Ketika sinar laser mengenai material, energi yang terkandung di dalamnya akan menyebabkan material tersebut meleleh, menguap, atau terbakar. Dengan mengontrol pergerakan sinar laser sehingga dapat membentuk berbagai macam pola dan bentuk pada material. Faktor yang mempengaruhi kualitas hasil yaitu semakin tinggi daya laser, semakin tebal material yang dapat dipotong, setiap material memiliki sifat yang berbeda-beda, sehingga memerlukan pengaturan parameter laser yang berbeda, kualitas lensa fokus akan mempengaruhi ukuran titik fokus sinar laser serta beberapa jenis laser membutuhkan gas bantu untuk meningkatkan kualitas pemotongan.

Jenis-jenis pengerjaan yang menggunakan mesin laser yaitu :

- a) *Laser cutting* yaitu proses pemotongan material dengan menggunakan sinar laser.
- b) *Laser engraving* untuk proses mengukir permukaan material dengan sinar laser.
- c) *Laser welding* adalah proses pengelasan material dengan menggunakan sinar laser.
- d) *Laser marking* diperuntukkan pada proses menandai material dengan sinar laser.

Aplikasi permesinan yang menggunakan laser yaitu pada bidang industri manufaktur adalah pemotongan logam lembaran, pembuatan prototipe, dan produksi massal komponen, bidang elektronik yaitu pada pemotongan PCB, pembuatan komponen elektronik miniaturized, bidang medis pada pemotongan jaringan lunak, pembuatan alat bedah, bidang periklanan yaitu pembuatan papan reklame, tanda, dan logo.

2) Berkas Elektron

Permesinan dengan berkas elektron atau dalam bahasa Inggris dikenal sebagai *Electron Beam Machining (EBM)* adalah sebuah proses manufaktur yang memanfaatkan berkas elektron berkecepatan tinggi untuk mengolah material. Berkas elektron ini difokuskan pada titik yang sangat kecil, sehingga memungkinkan pemotongan, pengelasan, dan pengolahan material dengan tingkat presisi yang sangat tinggi.

Cara pengerjaan permesinan dengan berkas elektron :

- a) Pembentukan berkas elektron dimana elektron dipancarkan dari sebuah katoda dan dipercepat menuju anoda hingga mencapai kecepatan yang sangat tinggi.
- b) Fokus berkas:
Berkas elektron kemudian difokuskan menggunakan lensa elektromagnetik menjadi berkas yang sangat sempit.
- c) Interaksi dengan material: Ketika berkas elektron mengenai permukaan material, energi kinetiknya akan diubah menjadi panas. Panas yang dihasilkan ini akan menyebabkan material meleleh atau menguap, sehingga terbentuklah potongan atau lubang yang sangat presisi.
- d) Vakum:
Proses EBM umumnya dilakukan dalam ruang vakum untuk mencegah terjadinya tumbukan antara elektron dengan molekul udara

Keunggulan permesinan apabila menggunakan berkas elektron

- a) Presisi tinggi
EBM mampu menghasilkan potongan dengan toleransi yang sangat kecil, bahkan hingga tingkat mikrometer.

b) Fleksibilitas

Dapat digunakan untuk berbagai jenis material, termasuk logam, keramik, dan polimer.

c) Tidak ada kontak fisik

Tidak ada alat potong yang bersentuhan langsung dengan material, sehingga mengurangi risiko kerusakan pada material.

d) Pemotongan kompleks

Dapat menghasilkan bentuk-bentuk yang sangat kompleks dan detail.

e) Zona terpengaruh panas kecil

Area di sekitar area potong yang terpengaruh panas sangat kecil, sehingga mengurangi deformasi material.

Untuk biaya operasional pengerjaan dengan menggunakan Electron Beam Machining (EBM) lebih tinggi jika dibandingkan dengan media laser. Untuk pengerjaan dengan media berkas elektron di bidang industri semikonduktor misalnya pembuatan komponen elektronik berukuran sangat kecil, bidang aerospace yaitu pembuatan komponen mesin jet dengan toleransi yang sangat ketat, bidang medis adalah pembuatan alat bedah yang sangat presisi, pembuatan komponen jam tangan mekanis yang sangat kecil serta pembuatan sampel untuk analisis mikroskop elektron.

3) Erosi kimia

Pengerjaan mekanis dengan media erosi kimia, atau lebih dikenal dengan istilah *chemical milling* atau *chemical etching*, adalah sebuah proses manufaktur di mana material dihilangkan melalui reaksi kimia dengan suatu larutan. Proses ini sering digunakan untuk membuat komponen dengan bentuk yang kompleks dan presisi, terutama pada industri elektronik dan penerbangan.

Berikut cara kerja apabila menggunakan media erosi kimia adalah sebagai berikut :

- a) Pelapisan bahan tahan kimia(maskan):
Permukaan material yang tidak ingin terkikis dilapisi dengan bahan tahan kimia (maskan) seperti fotoresist. Maskan ini berfungsi sebagai pelindung.
- b) Pencelupan dalam larutan kimia:
Material yang telah dilapisi maskan kemudian dicelupkan ke dalam larutan kimia yang bersifat korosif terhadap material tersebut.
- c) Reaksi kimia:
Bagian material yang tidak terlindungi oleh maskan akan bereaksi dengan larutan kimia dan terkikis.
- d) Pembersihan:
Setelah proses erosi selesai, material dicuci bersih untuk menghilangkan sisa-sisa larutan kimia dan maskan.

Keunggulan permesinan dengan erosi kimia yaitu fleksible dapat digunakan untuk berbagai jenis material, termasuk logam, kaca, dan keramik, menghasilkan bentuk yang sangat kompleks, presisi tinggi/detail, bahkan pada area yang sulit dijangkau dengan metode mekanik, tidak ada alat potong yang bersentuhan langsung dengan material, sehingga mengurangi risiko kerusakan pada material serta biaya operasional relatif rendah karena setelah peralatan awal dibeli, biaya operasionalnya relatif rendah. Aplikasi permesinan dengan metode erosi kimia di bidang industri elektronik yaitu untuk pembuatan PCB (*Printed Circuit Board*), komponen mikroelektronika, dan kemasan elektronik, industri penerbangan pada pembuatan komponen pesawat terbang dengan bentuk yang kompleks, bidang medis adalah pembuatan alat bedah dan implan medis.

4) Permesinan Dengan Pelepasan Listrik (*Electrical Discharge Machining* – EDM)

Permesinan dengan pelepasan listrik (EDM) adalah sebuah proses manufaktur non-tradisional yang menggunakan energi listrik untuk memotong atau membentuk material konduktif. Proses ini sangat berguna untuk membuat bentuk-bentuk yang kompleks dan sulit dicapai dengan metode konvensional. Keuntungan EDM adalah fleksible dimana dapat memproses berbagai jenis material konduktif, termasuk logam keras, menghasilkan bentuk yang sangat kompleks dan presisi, termasuk lubang kecil, sudut tajam, dan permukaan yang halus, proses pemotongan tidak melibatkan kontak fisik langsung antara alat potong dan benda kerja, sehingga mengurangi risiko kerusakan pada benda kerja serta sangat efektif untuk memproses material yang sangat keras atau sulit dipotong dengan metode konvensional.

Cara kerja dari *Electrical Discharge Machining* – EDM /permesinan dengan pelepasan listrik

a) Pembentukan celah

Terdapat dua elektroda, yaitu elektroda alat (biasanya terbuat dari grafit atau tembaga) dan elektroda kerja (benda kerja yang akan diproses). Keduanya dicelupkan dalam cairan dielektrik (biasanya minyak).

b) Pembangkitan tegangan

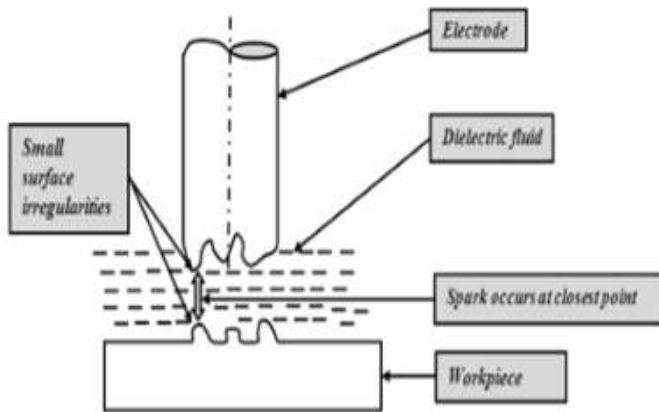
Tegangan tinggi diberikan antara kedua elektroda.

c) Percikan listrik

Ketika tegangan cukup tinggi, terjadi loncatan bunga api (percikan listrik) di antara kedua elektroda. Panas yang dihasilkan dari percikan ini akan menguapkan sebagian kecil material dari elektroda kerja.

d) Pengerosian material

Proses ini berulang terus-menerus, sehingga secara bertahap material pada elektroda kerja tererosi sesuai dengan bentuk elektroda alat.



Gambar 4.35. Prinsip kerja EDM (Kuldeep et al.) 2010)

Proses permesinan dengan pelepasan listrik (*Electrical Discharge Machining – EDM*)

a) EDM kawat

Dengan media kawat sebagai elektroda untuk membuat potongan lurus atau bentuk yang kompleks.

b) EDM lubang

Penggunaan elektroda berbentuk pin untuk membuat lubang.

c) EDM sinkron

Penggunaan beberapa elektroda secara bersamaan untuk meningkatkan efisiensi.

Yang perlu diperhatikan dalam pengerjaan permesinan dengan metode pelepasan listrik (*Electrical Discharge Machining – EDM*) misal proses EDM umumnya membutuhkan biaya operasional yang lebih tinggi dibandingkan

dengan metode konvensional, waktu yang dibutuhkan untuk memproses sebuah komponen bisa relatif lama dan untuk cairan dielektrik harus diganti secara berkala dan dapat menimbulkan masalah lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Penggunaan proses dengan metode *Electrical Discharge Machining* – EDM dapat diaplikasikan yaitu pembuatan cetakan injeksi plastik, bidang aerospace yaitu pembuatan komponen mesin jet, bidang medis misalnya pembuatan alat bedah, bidang otomotif adalah pembuatan cetakan untuk komponen mobil serta bidang energi misalnya pembuatan komponen turbin.

5) Energi elektrokimia

Permesinan dengan energi elektrokimia (ECM) adalah sebuah proses manufaktur non-tradisional yang memanfaatkan reaksi elektrokimia untuk menghilangkan material dari sebuah benda kerja. Proses ini sangat berguna untuk membentuk benda kerja yang sulit dikerjakan dengan metode konvensional, terutama untuk material yang sangat keras atau memiliki bentuk yang kompleks.

Prinsip kerja dengan penggunaan *Electrochemical Machining - ECM*:

a) Sel elektrokimia

Benda kerja yang akan dibentuk menjadi katoda (elektroda negatif), sedangkan elektroda alat (biasanya terbuat dari bahan inert seperti *stainless steel*) menjadi anoda. Keduanya dicelupkan dalam larutan elektrolit (biasanya garam atau asam).

b) Arus listrik

Arus listrik searah dialirkan melalui larutan elektrolit.

c) Reaksi elektrokimia

Pada katoda (benda kerja), terjadi reaksi oksidasi yang menyebabkan atom-atom logam melepaskan elektron dan larut ke dalam larutan elektrolit. Hal ini menyebabkan material pada benda kerja tererosi sesuai dengan bentuk elektroda alat.

Keuntungan *Electrochemical Machining* - ECM adalah tidak ada alat potong yang bersentuhan langsung dengan benda kerja, sehingga mengurangi risiko kerusakan pada benda kerja, terutama pada material yang mudah mengalami deformasi, ECM sangat efektif untuk memproses material yang sangat keras atau sulit dipotong dengan metode konvensional, permukaan hasil pemrosesan ECM umumnya memiliki tingkat kecerahan yang tinggi serta proses ECM tidak menghasilkan panas yang signifikan, sehingga mengurangi risiko distorsi pada benda kerja. Penggunaan aplikasi ECM di bidang industri penerbangan adalah pembuatan komponen turbin, cetakan, dan bagian-bagian pesawat yang kompleks, bidang otomotif yaitu pembuatan cetakan untuk komponen mobil, seperti piston dan silinder, bidang medis yaitu pembuatan alat bedah dan implan serta bidang energi misalnya pembuatan komponen turbin untuk pembangkit listrik.

Pemesinan non-tradisional untuk menghilangkan material.

- a) Proses bentuk bersih (*net shape processes*) adalah mengubah hampir semua bahan awal menjadi produk dan tidak memerlukan pemesinan berikutnya untuk mencapai geometri bagian akhir.
- b) Proses bentuk hampir bersih (*near net shape processes*) yaitu proses pemesinan yang

memerlukan pemesinan minimum untuk menghasilkan hasil bentuk akhir.

Proses Peningkatan Kualitas Produk

Proses peningkatan kualitas produk bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik atau sifat fisik material bahan kerja. Untuk memperoleh sifat-sifat yang diinginkan pada suatu logam, seperti meningkatkan kekerasan, keuletan atau mengurangi tegangan internal dengan perlakuan panas dimana sebuah proses mengubah sifat fisik dan mekanik suatu logam dengan cara memanaskannya hingga suhu tertentu, mempertahankan suhu tersebut dalam jangka waktu tertentu, lalu mendinginkannya dengan kecepatan tertentu.

Tujuan spesifik perlakuan panas yaitu

1. Meningkatkan kekerasan
Membuat komponen lebih tahan terhadap keausan.
2. Meningkatkan kekuatan
Meningkatkan kemampuan komponen menahan beban.
3. Meningkatkan keuletan
Membuat komponen lebih tahan terhadap benturan.
4. Mengurangi tegangan internal
Mencegah terjadinya retak atau deformasi pada komponen.
5. Mengubah struktur mikro
Mendapatkan sifat-sifat yang spesifik.

Faktor –faktor yang mempengaruhi perlakuan panas adalah sebagai berikut :

1. Jenis logam
Setiap jenis logam memiliki karakteristik yang berbeda dan membutuhkan perlakuan panas yang berbeda pula.
2. Komposisi kimia
Kandungan unsur-unsur dalam logam akan mempengaruhi hasil perlakuan panas.
3. Suhu pemanasan
Suhu pemanasan yang tepat akan menentukan perubahan struktur mikro yang terjadi.

4. Waktu penahanan:
Waktu penahanan pada suhu tertentu akan mempengaruhi tingkat perubahan struktur mikro.
5. Kecepatan pendinginan
Kecepatan pendinginan akan menentukan kekerasan dan keuletan akhir dari logam.

Jenis-jenis perlakuan panas

1. *Annealing*
Proses pemanasan dan pendinginan yang lambat untuk melunakkan logam, mengurangi tegangan internal, dan memperbaiki struktur butir.
2. *Normalisasi*
Proses pemanasan di atas suhu kritis dan pendinginan di udara bebas untuk memperbaiki struktur butir dan meningkatkan keuletan.
3. *Hardening*
Proses pemanasan di atas suhu kritis diikuti dengan pendinginan cepat (quenching) untuk meningkatkan kekerasan.
4. *Tempering*
Proses pemanasan baja yang telah dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis untuk mengurangi kerapuhan dan meningkatkan keuletan.
5. *Carburizing*
Proses *carburizing* melibatkan pemanasan baja dalam atmosfer yang kaya karbon pada suhu di bawah suhu eutektoid. Selama proses ini, atom karbon akan berdifusi ke dalam permukaan baja, membentuk lapisan permukaan yang kaya karbon (karbida). Lapisan ini akan menjadi sangat keras setelah proses pendinginan yang cepat. Contoh aplikasi dari perlakuan panas di bidang industri otomotif adalah pengerasan poros engkol, camshaft, dan gigi roda gigi, bidang industri perkakas contohnya pengerasan pahat dan bor serta pada bidang industri penerbangan yaitu pengerasan komponen mesin jet.

Operasi Pemrosesan Permukaan

A. *Surface processing operations*

Surface processing terdiri dari beberapa tahapan yaitu sebagai berikut :

1. *Cleaning* mencakup proses kimia dan mekanis yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran, minyak, dan kontaminan lainnya dari permukaan benda kerja.
2. *Surface treatments/* perawatan permukaan mencakup pengerjaan mekanis seperti *shoot peening*, *sand blasting*, proses fisik sejenis *diffusion* dan *ion implantation*.
3. Proses pelapisan/*deposition*, deposisi film tipis /*coating*, *thin film deposition processes* menerapkan *coating*/pelapisan material ke permukaan luar benda kerja. Secara umum *coating* meliputi pelapisan listrik/*electroplating*, anodisasi/*anodizing aluminium*, pelapis organik/*organic coating* (sebut saja *painting*), dan *porcelain enameling*. Proses pengendapan tipis film meliputi *physical and chemical vapor deposition (PVD and CVD)* untuk membentuk lapisan yang sangat tipis dengan berbagai zat

Yang termasuk dengan *surface processing* adalah

1. *Shot Peening*

Shot peening merupakan proses yang digunakan untuk menghasilkan lapisan tegangan sisa tekan dan memodifikasi sifat mekanik logam. Proses *shot peening* ini memerlukan dampak pada permukaan tembakan (partikel logam bulat, kaca atau keramik) dengan kekuatan yang cukup untuk menciptakan deformasi plastis. Ini mirip dengan *sandblasting*, hanya saja cara kerjanya adalah *mekanisme plastisitas* daripada *abrasi*: setiap partikel berfungsi sebagai *ball-peen hammer*. *Peening* suatu permukaan akan menyebabkannya secara plastis sehingga menyebabkan perubahan mekanis sifat-sifat permukaan. *Shot peening* sering kali diperlukan dalam perbaikan pesawat meringankan tegangan tarik yang timbul selama proses grinding dan menggantinya dengan tegangan tekan yang

menguntungkan. Tergantung pada geometri bagian, material bagian, bahan bidikan, kualitas bidikan, intensitas bidikan, cakupan bidikan, peening bidikan meningkatkan umur kelelahan dari 0% -1000%. *Shot peening* dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas permukaan benda kerja. Kekasaran permukaan/*the surface roughness* yang dihasilkan dari sebaran sinar saat dipantulkan. Karena peening pada umumnya menghasilkan fitur permukaan yang lebih ideal daripada menggunakan peledakan pasir.

2. *Sand Blasting*

Sand blasting atau *bead blasting* adalah istilah umum untuk proses penghalusan, membentuk dan membersihkan permukaan keras dengan memaksa partikel padat melintasinya muncul ke permukaan dengan kecepatan tinggi; efeknya mirip dengan menggunakan amplas, tapi memberikan hasil akhir yang lebih rata tanpa masalah di sudut atau celah. *Sand blasting*, dapat terjadi secara alami dengan media udara bertekanan yang mengakibatkan partikel pada permukaan produk terdorong oleh aliran material abrasif secara paksa sehingga permukaan yang halus menjadi kasar atau membentuk permukaan. Buatan proses *sandblasting* dipatenkan oleh Benjamin Chew Tilghman pada bulan Oktober 18, 1870. Pada umumnya proses *sandblasting* dilengkapi dengan sebuah ruangan yang didalamnya terdapat pasir dan udara tercampur. Campuran mengalir melalui *nosel genggam* untuk mengarahkan partikel menuju permukaan atau benda kerja. Nozel tersedia dalam berbagai bentuk, ukuran, dan bahan. Secara umum, nozel menggunakan material Boron karbida karena tahan keausan abrasif dengan baik.

3. *Diffusion*

Difusi molekul/*molecular diffusion*, merupakan pergerakan molekul secara acak dari daerah

konsentrasi lebih tinggi ke daerah konsentrasi molekuler lebih rendah. Hasil difusi adalah pencampuran material secara bertahap. Dalam sebuah fase dengan suhu yang seragam, tidak ada gaya total eksternal yang bekerja pada partikel, maka proses difusi pada akhirnya akan menghasilkan pencampuran sempurna atau keadaan setimbang.

Proses diffusion dapat dibedakan sebagai berikut :

- a. *Carburizing*, juga dikenal sebagai karburisasi, adalah sebuah proses perlakuan panas di mana besi atau baja dipanaskan dengan adanya bahan lain (tetapi di bawah titik leleh logam) melepaskan karbon saat terurai. Permukaan luar atau casing akan memilikinya kandungan karbon lebih tinggi dari bahan aslinya. Saat besi atau baja didinginkan cepat dengan *quenching*, semakin tinggi kandungan karbon pada permukaan luar menjadi keras, sementara intinya tetap lunak dan keras.
- b. *Nitriding* atau nitridisasi adalah proses memasukkan unsur nitrogen ke dalam permukaan suatu bahan. Contoh dari proses nitriding yaitu *case hardening treatment* pada material baja, titanium, aluminium dan molibdenum. Proses nitridasi banyak diaplikasikan di bidang otomotif, permesinan serta penerbangan misalnya pada komponen roda gigi/*gears*, poros engkol/*crankshafts*, *camshaft*, *cam followers*, bagian katup/*valve parts*, sekrup ekstruder/*extruder bs*, *die-casting*, cetakan tempa/*forging dies*, cetakan ekstrusi/*extrusion dies*, injektor dan alat cetakan plastik/*plastic mould tools*.
- c. Proses *carbonitriding* merupakan metode modifikasi permukaan yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan logam, sehingga mengurangi keausan. Pada proses *carbonitriding*, atom karbon dan nitrogen bergerak difusi interstisial atau bergerak ke celah-celah kisi kristal logam dengan menambahkan material untuk meningkatkan gesekan sehingga dapat

meningkatkan kekerasan dan modulus pada permukaan material produk. Penerapan proses carbonitriding pada baja karbon rendah, berharga murah dan mudah dikerjakan untuk meningkatkan kekerasan permukaan sifat-sifat baja menjadi lebih mahal dan sulit dikerjakan. Kekerasan permukaan dengan menggunakan carbunitriding / *surfaces hardness of karbonitrided* berkisar antara 55 hingga 62 HRC.

4. *Ion Implantation (impalatasi ion)*

Implantasi ion merupakan proses rekayasa material dimana ion-ion pada sebuah material ditanamkan ke padatan lainnya, sehingga dapat mengubah sifat fisik padatan tersebut.

Implantasi ion digunakan dalam proses fabrikasi perangkat semi konduktor dan *finishing* logam. Ion-ion tersebut bereaksi secara kimiawi sesuai dengan kebutuhan/tujuannya sehingga material akan mengalami perubahan elemen pembentuk jika dibandingkan dari sifat awalnya yaitu perubahan struktur, dimana struktur kristal target dapat rusak atau bahkan dihancurkan oleh energi yang ditimbulkan dari tumbukan antar ion dan material. *Tool steel toughening*. Nitrogen atau ion lain dapat ditanamkan/implantasi ke dalam baja perkakas (misal mata bor). Perubahan struktural yang disebabkan oleh implantasi menghasilkan kompresi permukaan/*surface compression* pada baja, yang mencegah perambatan retak/*crack propagation* dan sehingga membuat material lebih tahan terhadap patah/*fracture*. Perubahan kimia juga bisa membuat alat lebih tahan terhadap korosi. *Surface finishing*. pada proses akhir yang dilakukan pada permukaan suatu benda kerja untuk menghasilkan tampilan, tekstur, atau sifat tertentu dengan sambungan buatan, memiliki permukaan yang sangat tahan terhadap korosi kimia dan keausan karena gesekan. Implantasi ion digunakan

untuk mererekayasa permukaan perangkat tersebut untuk kinerja yang lebih andal contohnya baja perkakas, modifikasi permukaan yang disebabkan oleh implantasi ion mencakup kedua permukaan kompresi yang mencegah perambatan retak dan paduan permukaan membuatnya lebih tahan terhadap korosi secara kimia.

5. *Electroplating*

Elektroplating merupakan proses pelapisan dengan menggunakan arus listrik untuk mereduksi kation yang diinginkan dari larutan dan lapisi benda konduktif dengan lapisan tipis bahan, misalnya logam. *Elektroplating* terutama digunakan untuk menyimpan lapisan bahan pada umumnya menggunakan material chromium untuk memberikan sifat yang diinginkan misalnya, abrasi dan keausan, ketahanan, perlindungan korosi, pelumasan, kualitas estetika dan lain-lain. pada permukaan yang dibutuhkan

Anoda dimana elektroda positif yang terbuat dari logam pelapis serta katoda merupakan elektroda negatif digunakan sebagai benda kerja yang akan dilapisi. Kedua komponen tersebut direndam dalam suatu larutan disebut elektrolit yang mengandung satu atau lebih logam garam I terlarut serta ion lainnya yang memungkinkan aliran listrik. Penyearah menyuplai arus searah ke anoda, mengoksidasi molekul logam yang menyusunnya dan membiarkannya larut dalam larutan. Di katoda, ion logam terlarut dalam larutan elektrolit direduksi pada interface antara larutan dan katoda, sehingga menjadi "*plate out*" ke katoda.

Proses electroplating lainnya mungkin menggunakan anoda yang nonconsumable seperti timbal. Di dalam teknik electroplating, ion-ion logam yang akan disepuh harus replenished secara periodik saat akan dikeluarkan dari larutan.

6. *Anodizing*

Untuk proses *anodizing*, material logam difungsikan sebagai anoda dalam proses elektrokimia sehingga menghasilkan lapisan oksida pelindung pada permukaan logam aluminium. Proses ini mengubah permukaan aluminium menjadi lebih keras, tahan korosi, dan memiliki daya rekat yang baik untuk cat atau perekat. *Anodic films* adalah lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam aluminium melalui proses *anodizing*. Lapisan ini dihasilkan ketika aluminium dialiri arus listrik dalam larutan elektrolit, menyebabkan reaksi kimia yang menghasilkan oksida aluminium.

Sifat-sifat *anodic films*:

- 1) *Anodic films* sangat keras dan tahan terhadap korosi, sehingga melindungi aluminium dari serangan lingkungan.
- 2) Lapisan ini juga tahan terhadap suhu tinggi.
- 3) Daya rekat yang baik dimana *anodic films* memiliki daya rekat yang sangat baik terhadap cat, pelapis, dan perekat.
- 4) Lapisan *anodic films* ini bersifat insulator listrik, sehingga dapat digunakan sebagai lapisan isolasi pada komponen elektronik.
- 5) *Anodic films* dapat diwarnai dengan berbagai warna untuk memberikan tampilan yang estetik.

Jenis-jenis *anodic films*:

- 1) Type I (*barrier-type*): Lapisan oksida yang tipis dan padat, cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan korosi dan daya rekat yang tinggi.
- 2) Type II (*porous-type*): Lapisan oksida yang berpori, dapat diwarnai untuk memberikan tampilan yang beragam.
- 3) Type III (*sealed-type*): Lapisan oksida yang telah disegel untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan daya rekat.

Penerapan *anodic films*:

- 1) Industri penerbangan
Anodic films digunakan untuk melindungi komponen pesawat dari korosi dan meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi.
- 2) Industri arsitektur
Anodic films memberikan tampilan yang tahan lama dan estetis pada produk aluminium seperti jendela, pintu, dan pagar.
- 3) Industri elektronik
Anodic films digunakan untuk melindungi komponen elektronik dari korosi dan meningkatkan daya tahan terhadap suhu tinggi.
- 4) Industri otomotif:
Anodic films melindungi komponen mobil seperti radiator, pelek, dan trim dari korosi dan meningkatkan penampilan.

7. *Painting dan Porcelain Enameling*

Painting merupakan proses pelapisan permukaan suatu benda dengan cat. Cat sendiri adalah campuran pigmen (pewarna), pengikat (binder), pelarut, dan aditif lainnya. Setelah diaplikasikan, cat akan mengering dan membentuk lapisan film yang menempel pada permukaan. Adapun proses painting menggunakan cat, kuas, rol, atau semprotan. Setelah proses painting dengan bantuan panas/sinar matahari maka cat akan mengering melalui penguapan pelarut atau reaksi kimia.

Keuntungan dari proses painting adalah fleksibel, banyak pilihan warna dan tekstur, dan umumnya lebih murah. Kekurangan dari proses kurang tahan lama dibandingkan porcelain enameling, rentan terhadap goresan, dan bisa pudar seiring waktu. Contoh penerapan metode painting adalah pengecatan dinding rumah, pengecatan mobil, pengecatan furnitur.

Porcelain enameling merupakan proses pelapisan pada permukaan benda dengan campuran bubuk kaca.

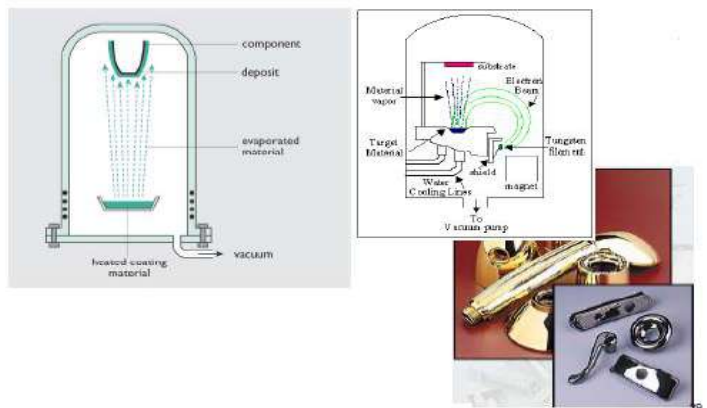
Campuran ini kemudian dipanaskan pada suhu tinggi di dalam oven khusus hingga meleleh dan menyatu dengan permukaan benda.

Keuntungan dari proses enameling adalah sangat tahan lama, tahan terhadap goresan, panas, dan bahan kimia. Memiliki tampilan yang halus dan mengkilap. Untuk kekurangan pada proses enameling yaitu prosesnya lebih rumit dan mahal dibandingkan pengecatan. Pilihan warna dan tekstur lebih terbatas.

Produk hasil enameling ini cocok untuk permukaan yang membutuhkan daya tahan tinggi terhadap panas, goresan, dan bahan kimia, seperti peralatan dapur, bak mandi, atau bagian eksterior bangunan.

8. *Physical Vapor Deposition (PVD)*

Physical Vapor Deposition (PVD) atau Deposisi Uap Fisik adalah sebuah proses pelapisan permukaan suatu benda kerja dengan cara mengubah bahan pelapis menjadi uap dalam kondisi vakum, kemudian uap tersebut diendapkan pada permukaan benda kerja untuk membentuk lapisan tipis.



Gambar 4.36. *Physical Vapor Deposition (PVD)*
Sumber: Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-
Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-
Edisi-5-2012.pdf

Proses *Physical Vapor Deposition* (PVD) terdiri dari beberapa tahapan yaitu

- a. Benda kerja diletakkan dalam ruang vakuum dengan bertekanan udara sangat rendah
- b. Bahan pelapis dipanaskan hingga menguap. Metode pemanasan dapat menggunakan pemanasan resistif, induksi, atau dengan pancaran elektron.
- c. Uap yang terbentuk kemudian diionisasi, sehingga partikel-partikelnya bermuatan listrik.
- d. Partikel-partikel bermuatan ini kemudian dipercepat menuju permukaan benda kerja dan menempel di sana, membentuk lapisan tipis yang sangat padat dan melekat kuat.

Keunggulan dari metode *Physical Vapor Deposition* (PVD) adalah

- a. Secara kualitas, Lapisan yang dihasilkan sangat padat, adhesi (daya rekat) tinggi, dan memiliki sifat mekanik yang baik seperti kekerasan tinggi, ketahanan aus yang baik, dan ketahanan korosi yang tinggi.
- b. Dapat digunakan secara fleksible dengan melapisi berbagai jenis bahan, seperti logam, plastik, dan keramik.
- c. Proses PVD relatif ramah lingkungan karena tidak menghasilkan limbah yang berbahaya.
- d. Dapat menghasilkan lapisan dengan berbagai sifat, seperti dekoratif, fungsional, atau kombinasi keduanya.

Jenis-jenis *Physical Vapor Deposition* (PVD)

- a. *Sputtering*: Metode yang paling umum digunakan, melibatkan penembakan target bahan pelapis dengan *ion inert* (seperti argon) untuk menghasilkan plasma yang kemudian mengendap pada permukaan benda kerja.
- b. *Evaporasi*: Metode yang lebih sederhana, melibatkan pemanasan langsung bahan pelapis hingga menguap.

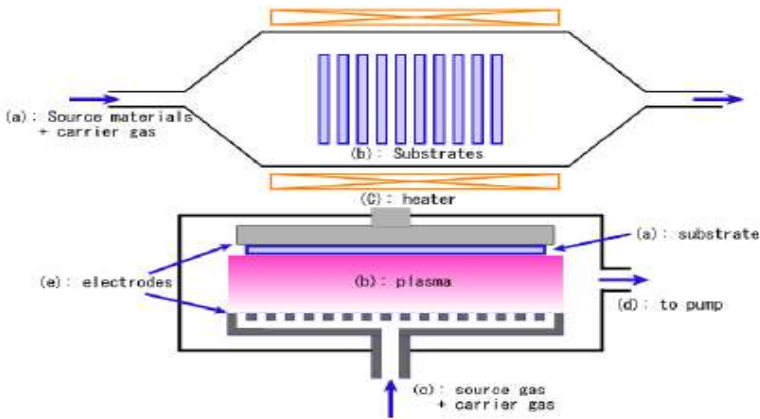
- c. *Ion plating*: Kombinasi antara *sputtering* dan *evaporasi*, menghasilkan lapisan dengan sifat yang lebih baik.
- d. *Arc evaporation*: Metode yang menghasilkan plasma dengan suhu yang sangat tinggi, cocok untuk melapisi bahan yang sulit meleleh.

Physical Vapor Deposition (PVD) digunakan dberbagai bidang yaitu

- a. Industri otomotif:
Pelapisan roda, knalpot, dan komponen dekoratif.
- b. Industri elektronik:
Pelapisan komponen semi konduktor, layar sentuh, dan konektor.
- c. Industri medis:
Pelapisan alat bedah, implan, dan peralatan medis lainnya.
- d. Industri perhiasan:
Pelapisan perhiasan untuk memberikan warna dan kilau yang tahan lama.
- e. Industri aerospace:
Pelapisan komponen pesawat untuk meningkatkan ketahanan terhadap suhu tinggi dan korosi.

9. *Chemical Vapor Deposition (CVD)*

Chemical Vapor Deposition (CVD) atau Deposisi Uap Kimia adalah sebuah proses pelapisan permukaan suatu benda kerja dengan cara mengubah bahan pelapis menjadi uap dalam kondisi vakum atau atmosfer terkontrol, kemudian uap tersebut bereaksi secara kimia pada permukaan benda kerja untuk membentuk lapisan tipis.



Gambar 4.37. Thermal and Plasma CVD

Sumber: Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-Edisi-5-2012.pdf

Proses *Chemical Vapor Deposition (CVD)* yaitu sebagai berikut :

- Benda kerja ditempatkan dalam ruang vakum atau atmosfer yang memiliki tekanan dan komposisi gas yang terkontrol.
- Gas-gas reaktan yang mengandung bahan pelapis diintroduksi ke dalam ruang tersebut.
- Gas-gas reaktan bereaksi secara kimia pada permukaan benda kerja, membentuk senyawa yang mengendap sebagai lapisan tipis.
- Produk sampingan dari reaksi kimia dihilangkan dari ruang reaktor.

Metode *Chemical Vapor Deposition (CVD)* mempunyai keunggulan yaitu sebagai berikut

- Secara kualitas, lapisan yang dihasilkan sangat seragam, padat, dan memiliki adhesi (daya rekat) yang tinggi.
- Dapat fleksibilitas digunakan untuk melapisi berbagai jenis bahan, seperti logam, plastik, dan keramik.

- c. Dapat menghasilkan lapisan dengan berbagai sifat, seperti dekoratif, fungsional, atau kombinasi keduanya.
- d. Pada proses *Chemical Vapor Deposition* (CVD) memungkinkan kontrol yang baik terhadap ketebalan, komposisi, dan struktur lapisan.

Metode Chemical Vapor Deposition (CVD) dapat dibedakan menjadi :

- a. *Atmospheric Pressure CVD (APCVD)* Proses CVD yang dilakukan pada tekanan 1 atmosfer (atm) setara dengan 101.325 pascal (Pa). Pada proses ini, gas-gas reaktan dialirkan ke dalam ruang reaktor pada tekanan normal (tekanan atmosfer) dengan peralatan yang sederhana dan tingkat produksi tinggi dengan kualitas lapisan yang dihasilkan kurang seragam. Namun hasil proses menggunakan APCVD mempunyai efek samping yaitu pencemaran lingkungan dimana menghasilkan banyak limbah gas.

Contoh penerapan pelapisan APCVD yaitu

- 1) Pelapisan oksida pada silikon untuk pembuatan lapisan isolasi/mask.
- 2) Pelapisan nitrida pada silikon memberikan efek meningkatkan ketahanan korosi dan abrasi
- 3) Pelapisan polikristalin silikon dalam pembuatan sel surya

- b. *Low-Pressure CVD (LPCVD)*

Low-Pressure CVD (LPCVD) atau Deposisi Uap Kimia Tekanan Rendah adalah sebuah proses pelapisan permukaan suatu benda kerja dengan cara mengubah bahan pelapis menjadi uap dalam kondisi vakum tinggi, kemudian uap tersebut bereaksi secara kimia pada permukaan benda kerja untuk membentuk lapisan tipis.

Proses LPCVD terdapat beberapa tahapan yaitu :

- 1) Benda kerja ditempatkan dalam ruang vakum dengan tekanan sangat rendah, biasanya sekitar 10^{-3} hingga 10^{-6} torr
- 2) Gas-gas reaktan yang mengandung bahan pelapis diintroduksi ke dalam ruang tersebut.
- 3) Gas-gas reaktan bereaksi secara kimia pada permukaan benda kerja, membentuk senyawa yang mengendap sebagai lapisan tipis.
- 4) Produk sampingan dari reaksi kimia dihilangkan dari ruang reaktor.

Keunggulan dari proses LPCVD adalah sebagai berikut :

- 1) Lapisan yang dihasilkan sangat seragam, tipis, padat serta memiliki adhesi (daya rekat) yang tinggi.
- 2) Pada proses LPCVD ketebalan, komposisi dan struktur lapisan dapat dikontrol dengan baik.
- 3) Metode LPCVD menggunakan bertekanan rendah sehingga menghasilkan lebih sedikit limbah gas dibandingkan dengan APCVD

Hasil dari metode proses LPCVD dapat digunakan di berbagai bidang yaitu sebagai berikut:

- 1) Dunia industri semikonduktir yaitu pelapisan wafer silikon untuk pembuatan transistor, sirkuit terpadu dan komponen elektronik lainnya
- 2) Industri optik misalnya pelapisan lapisan anti-reflektif pada lensa dan cermin
- 3) Pada dunia industri medis yaitu dengan pelapisan alat bedah dan implan untuk meningkatkan biokompatibilitas serta ketahanan terhadap korosi.

- c. *Plasma-Enhanced CVD (PECVD)* atau atau Deposisi Uap Kimia Peningkatan Plasma merupakan sebuah proses pelapisan permukaan suatu benda kerja dengan cara mengubah bahan pelapis menjadi uap dalam kondisi vakum tinggi, kemudian uap tersebut

diionisasi menjadi plasma dan bereaksi secara kimia pada permukaan benda kerja untuk membentuk lapisan tipis.

Tahapan pelaksanaan proses PECVD adalah

- 1) Benda kerja ditempatkan dalam ruang vakum dengan tekanan rendah dengan skala 10^{-3} to 10^{-1} torr
- 2) Gas-gas reaktan mengandung bahan pelapis dimasukkan atau dialirkan ke dalam ruang vakum pada saat proses PECVD berlangsung.
- 3) Pembentukan plasma terjadi pada saat gas-gas reaktan diionisasi menjadi plasma menggunakan medan listrik atau gelombang radiofrekuensi
- 4) Partikel-partikel bermuatan dalam plasma bereaksi secara kimia pada permukaan benda kerja dengan membentuk endapan senyawa sebagai lapisan tipis.
- 5) Untuk limbah yang dihasilkan dari reaksi kimia dapat dihilangkan dari ruang reaktor.

Proses PECVD mempunyai keunggulan yaitu sebagai berikut

- 1) Lapisan yang dihasilkan dari proses PECVD sangat seragam, padat serta memiliki adhesi (daya rekat) yang tinggi
- 2) Proses PECVD dapat dikontrol ketebalan, komposisi dan struktur yang terbentuk pada lapisan.
- 3) Jika dilihat dari segi kecepatan deposisi maka PECVD dapat menghasilkan lapisan lebih tinggi jika dibandingkan dengan CVD konvensional.
- 4) Pada proses PECVD dapat melapisi bahan yang tidak tahan terhadap suhu tinggi.

Penggunaan proses PECVD dapat digunakan di bidang

- 1) Industri semikonduktor misalnya saat pembuatan transistor, komponen elektronik serta sirkuit terpadu.
 - 2) Pelapisan lapisan anti-reflektif pada lensa dan cermin pada industri optik.
 - 3) Industri medis pada pelapisan alat bedah dan implan untuk meningkatkan biokompatibilitas dan ketahanan terhadap korosi
 - 4) Pelapisan lapisan tipis pada sel surya untuk meningkatkan efisiensi konversi energi
- d. Metalorganic CVD (MOCVD) atau Deposisi Uap Kimia Organologam. Metalorganic berasal dari kata “metal ” atau logam dan “*organic*” (organik) yang merupakan senyawa kimia terdiri dari gabungan antara senyawa organik (yang mengandung unsur karbon) serta senyawa logam. Parameter suhu dan tekanan pada proses MOCVD berpengaruh pada kualitas lapisan tipis yang dihasilkan. Rentang suhu dan tekanan yang akan digunakan tergantung pada jenis material yang akan diendapkan, karakteristik substrat (bahan dasar material yang akan dilapisi) serta kualitas lapisan yang diinginkan. Secara umum suhu metode MOCVD berkisar antara 150°C sampai 1200°C untuk suhu yang lebih rendah sering digunakan pada material organik dan suhu yang lebih tinggi dipergunakan pada material anorganik. Tekanan yang digunakan pada MOCVD berkisar antara 1 Torr hingga 760 Torr (Tekanan atmosfer)dimana tekanan yang lebih rendah digunakan untuk keseragaman lapisan serta untuk tekanan yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju pertumbuhan.
- Teknik pelapisan *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD) dapat digunakan di berbagai bidang yaitu :

- 1) Industri semikonduktor yang mencakup
 - a) Produksi *Light Emitting Diodes* (LED)

Dalam pembuatan *Light Emitting Diodes* (LED) dengan menumbuhkan lapisan tipis semikonduktor seperti gallium nitrida (GaN) serta indium gallium nitrida (InGaN) menghasilkan berbagai warna dengan efisiensi tinggi,
 - b) Laser semikonduktor

Pelapisan tipis semikonduktor dengan metode MOCVD seperti gallium arsenida (GaAs) dan indium fosfida (InP) digunakan pada berbagai aplikasi seperti komunikasi optik dan penyimpanan data
 - c) Transistor berkecepatan tinggi

Metode MOCVD dipergunakan untuk menumbuhkan lapisan tipis semikonduktor seperti gallium arsenida (GaAs) dan indium fosfida (InP) dalam pembuatan transistor berkecepatan tinggi seperti komunikasi nirkabel dan radar.
 - d) Sensor optik

Metode MOCVD dipergunakan untuk menumbuhkan lapisan tipis semikonduktor seperti oksida logam digunakan dalam pembuatan sensor optik pada berbagai aplikasi seperti deteksi gas dan pengukuran suhu.
- 2) Industri Optoelektrik
 - a) Layar *Organic Light Emitting Diodes* (layar OLED)

Metode MOCVD difungsikan untuk menumbuhkan lapisan tipis organik yang digunakan dalam pembuatan layar *Organic Light Emitting Diodes* untuk tampilan berkualitas tinggi pada smartphone, televisi dan perangkat elektronik lainnya.

- b) Sel surya
Dalam pembuatan sel surya dengan efisiensi tinggi dengan menumbuhkan lapisan tipis semikonduktor seperti selenida kadmium (CdSe) dan telurida kadmium (CdTe).
 - c) Laser optik
Proses pembuatan laser optik untuk berbagai aplikasi seperti pemotongan, pengelasan dan komunikasi optik dengan metode MOCVD menumbuhkan lapisan tipis kristal nonlinier seperti nitrat barium (BaNO₃) serta fosfat kalium (KDP).
- 3) Industri Bioteknologi
- a) Biochip
Dalam pembuatan biochip untuk analisa biologis dan medis dengan metode MOCVD dapat menumbuhkan lapisan tipis polimer dan biomolekul pada permukaan substrat.
 - b) Sensor biologi
Metode MOCVD dipergunakan untuk menumbuhkan lapisan tipis bahan sensitif biologis seperti enzim dan antibodi pada permukaan substrat yang berfungsi untuk mendeteksi molekul biologis dalam proses pembuatan sensor biologi.
- 4) Industri lainnya
- a) Pelapisan pelindung
Untuk menumbuhkan lapisan tipis pelindung seperti oksida logam dan nitrida logam pada permukaan logam dan bahan lainnya untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, abrasi dan suhu tinggi dengan metode *Metal Organic Chemical Vapor Deposition*.
 - b) Pelapisan dekoratif
Memberikan tampilan yang menarik dan tahan lama pada lapisan tipis dekoratif dengan metode MOCVD seperti oksida logam dan

nitrida logam pada permukaan logam dan bahan lainnya.

c) Pelapisan fungsional

Lapisan anti-refleksi, lapisan konduktif atau lapisan katalitik dengan metode MOCVD dengan menumbuhkan lapisan tipis disesuaikan dengan sifat fungsional tertentu.

4.3.2 Proses operasi penyambungan mekanis

Penggabungan dua atau lebih komponen menjadi satu kesatuan yang utuh melalui mekanisme fisik menjadi sebuah produk yang berfungsi dan sesuai dengan standar yang dibutuhkan.

Tujuan penyambungan mekanis yaitu

1. Membentuk inovasi produk mekanis yang dibentuk dari penggabungan komponen-komponen yang terpisah dalam proses pembuatannya menjadi bentuk inovasi produk utuh yang berfungsi sesuai dengan desain
2. Menguji dan memastikan semua komponen bekerja dengan baik dan inovasi produk mekanis dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi
3. Menerapkan metode perakitan yang efektif untuk meningkatkan produktivitas serta mengurangi biaya produksi
4. Memastikan kualitas inovasi produk mekanis akhir sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan metode jenis penyambungan mekanis yaitu sebagai berikut :

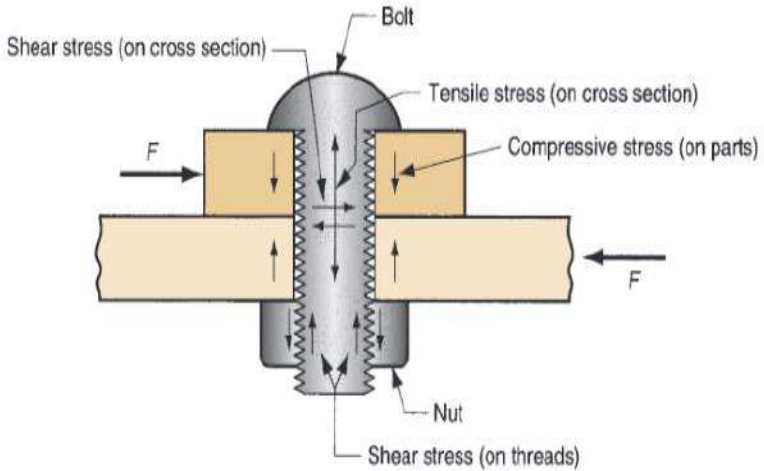
1. Jenis material
Material yang berbeda membutuhkan jenis sambungan yang berbeda sesuai dengan sifat-sifat mekanis, fisik dan kimianya.
2. Kekuatan sambungan
Kekuatan yang dibutuhkan akan menentukan jenis sambungan yang dipilih

3. Ketahanan terhadap korosi
Lingkungan kerja akan mempengaruhi pemilihan jenis sambungan
4. Pembiayaan
Setiap jenis sambungan memiliki biaya produksi yang berbeda.
5. Estetika
Performance sambungan menjadi sebuah pertimbangan dalam hasil penyambungan.

Jenis-Jenis Operasi Penyambungan Mekanis

Penyambungan dengan elemen penyambung. Yang termasuk elemen penyambung mekanis yaitu :

1. Baut dan mur
Dua komponen penting dalam dunia industri dan konstruksi yaitu baut dan mur dimana berfungsi untuk menyambungkan dua atau lebih komponen menjadi satu kesatuan. Baut dan mur bekerja secara berpasangan serta memiliki peran yang saling melengkapi. Baut merupakan sebuah batang logam yang memiliki permukaan berbentuk ulir di sepanjang permukaannya. Ulir ini berfungsi sebagai semacam sekrup yang akan mengikat komponen saat diputar. Pada umumnya ujung baut memiliki kepala yang berbentuk tertentu seperti hexagonal atau bulat untuk memudahkan dalam memutarnya menggunakan alat seperti kunci pas.
Mur adalah komponen berbentuk silinder dengan lubang di tengahnya. Di dalam permukaan lubang ulir sesuai dengan ulir yang terdapat pada permukaan baut. Mur berfungsi mengencangkan baut dan menahan komponen-komponen yang disambungkan agar tidak terlepas.



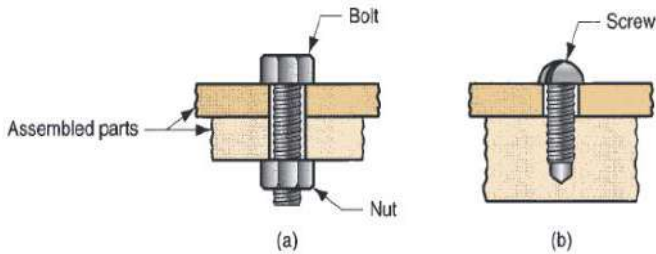
Gambar 4.38. Tekanan yang bekerja pada sambungan baut

Sumber: Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-
Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-
Edisi-5-2012.pdf

Keuntungan menggunakan baut dan mur adalah

- Sambungan yang kuat dan tahan lama
- Mudah dipasang dan dilepas dengan menggunakan kunci pas
- Tersedia dalam berbagai ukuran dan jenis
- Fleksibel untuk berbagai aplikasi

Sambungan baut dan mur dipergunakan untuk sambungan yang lebih kuat dan permanen seperti konstruksi baja atau perakitan mesin.

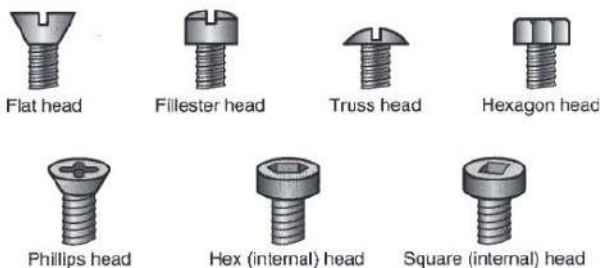


Gambar 4.39. Asembly dengan menggunakan (a) baut (*bolt*) dan mur (*nut*) dan (b) sekrup (*screw*)

Sumber: Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-Edisi-5-2012.pdf

2. Sekrup

Sebuah elemen pengikat yang sangat umum diaplikasikan di berbagai bidang dari konstruksi hingga elektronik. Permukaan pada sekrup berbentuk ulir memanjang dari ujung hingga kepala sekrup sehingga memungkinkan dapat langsung menembus material, mengikat dua atau lebih komponen secara bersamaan serta menciptakan ulirnya sendiri. Sekrup sering digunakan untuk menyambungkan material yang tidak terlalu tebal atau sambungan yang tidak sering dilepas misalnya kayu, plastik atau logam tipis.



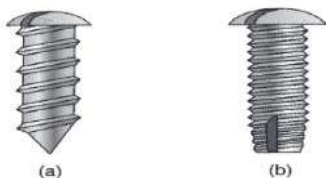
Gambar 4.40. Jenis- jenis kepala tersedia di sekrup dan baut.

sumber: Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-Edisi-5-2012.pdf



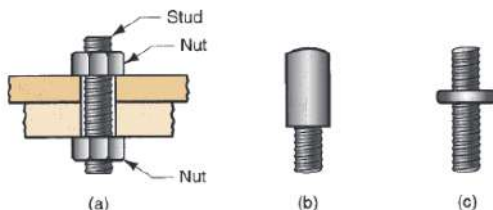
Gambar 4.41. a) Perakitan pad poros dengan menggunakan screw; (b)Berbagai jenis geometri screw (type titik dan kepala screw).

sumber:Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-Edisi-5-2012.pdf



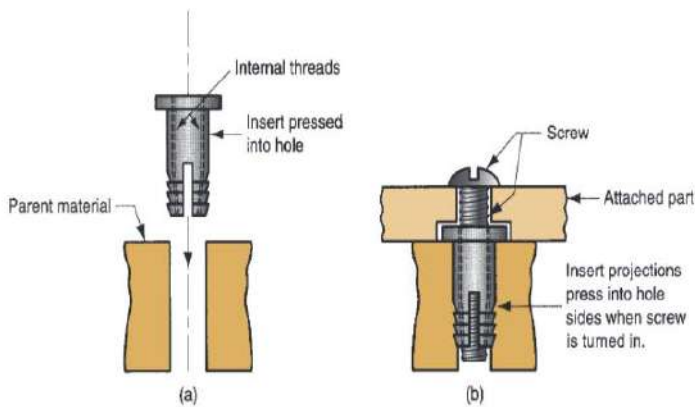
Gambar 4.42. Jenis ulir pengerjaan pada baut: (a) ulir-pembentuk dan (b) ulir-pemotong

Sumber:Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-Edisi-5-2012.pdf



Gambar 4.43. (a) perakitan tiang dan mur .Jenis tiang pada mur (b) ulir dengan satu sisi kepala (c) tiang berujung ganda.

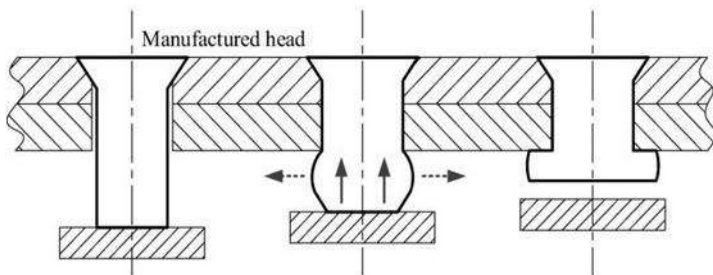
Sumber:Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-Edisi-5-2012.pdf



Gambar 4.44. Baut yang berulir (a) sebelum dimasukkan (b) setelah dimasukkan ke dalam lubang dan sekrup berubah menjadi satu kesatuan
 Sumber: Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-Edisi-5-2012.pdf

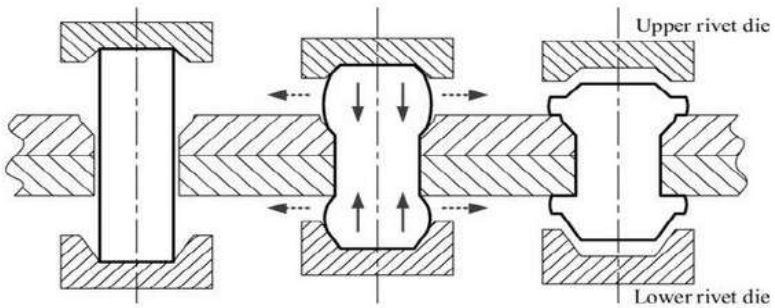
3. Rivet

Rivet merupakan elemen pengikat yang terbuat dari logam seperti baja atau aluminium, memiliki bentuk silinder pada salah satu ujung terdapat kepala yang berfungsi untuk menyambungkan dua atau lebih komponen secara permanen.



Gambar 4.45. proses deformasi rivet (paku keling) secara tradisional
 Sumber

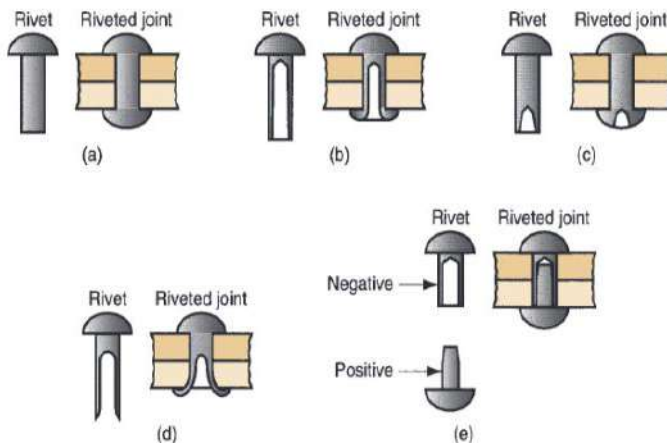
https://www.researchgate.net/publication/339276602_Effect_of_rivet_die_structure_on_the_quality_of_riveted_aircraft_structures_using_slug_rivet/figures?lo=1



Gambar 4.46. Proses deformasi rivet secara slug
Sumber

https://www.researchgate.net/publication/339276602_Effect_of_rivet_die_structure_on_the_quality_of_riveted_aircraft_structures_using_slug_rivet/figures?lo=1

Pada gambar 4.46 menunjukkan bahwa tanda panah ← gerakan material secara radial dan ↓ gerakan material secara axial



Gambar 4.47. Jenis paku keling (*rivet*) perakitan (a) *solid*, (b) *tubular*, (c) *semitubular*, (d) *bifurcated*, dan (e) *compression*

Jenis rivet dapat dibedakan mejadi

a. *Solid rivet*

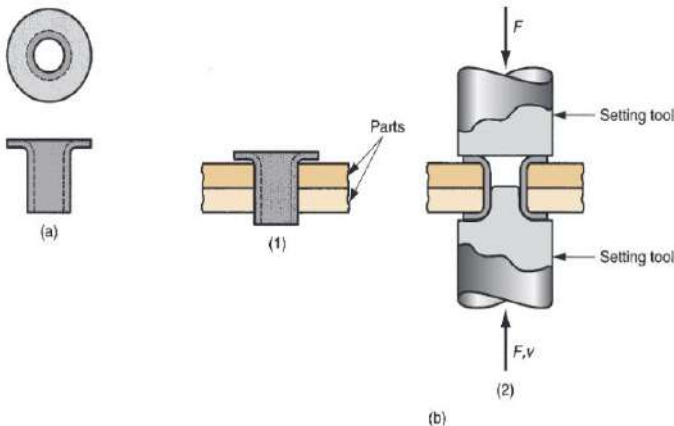
Solid rivet yang memerlukan akses ke dua sisi komponen untuk membentuk kepala kedua

b. *Blind rivet*

Rivet yang dapat dipasang dari satu sisi saja dan dipergunakan dalam aplikasi dimana akses kedua sisi tidak memungkinkan.

c. *Pop rivet*

Jenis blind rivet menggunakan menggunakan mekanisme pegas untuk membentuk kepala kedua



Gambar 4.48. Mengikat dengan lubang: (a) lubangnya, dan (b) urutan perakitan:(1) memasukkan lubang melalui lubang, dan (2) pengaturan operasi.

Sumber:Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-Edisi-5-2012.pdf

Keunggulan dalam menggunakan sambungan jenis rivet adalah

- Sambungan yang kuat dan permanen
- Mudah dipasang dan tidak memerlukan alat khusus untuk melepasnya
- Cocok untuk berbagai jenis material

- d. Dapat digunakan dalam aplikasi dimana akses kedua sisi komponen terbatas

Rivet sebagai elemen pengikat berguna di berbagai aplikasi misalnya

- a. Industri otomotif
Untuk merakit bodi kendaraan, panel interior dan komponen lainnya
- b. Industri konstruksi
Berfungsi menyambungkan lembaran logam, rangka bangunan dan komponen lainnya
- c. Peralatan rumah tangga
Digunakan merakit berbagai jenis peralatan

4. Pasak

Jenis pasak pengikat mekanis digunakan menyambungkan dua atau lebih komponen terutama kayu atau beton. Bentuknya sederhana biasanya berupa batang silinder yang terbuat dari kayu, logam atau plastik. Pasak bekerja dengan cara dimasukkan ke dalam lubang yang sudah dibuat pada kedua komponen yang akan disambungkan.

Keunggulan pengikat jenis pasak yaitu sebagai berikut :

- a. Jika dipasang dengan benar, pasak dapat menghasilkan sambungan yang sangat kuat
- b. Tidak memerlukan alat khusus yang rumit
- c. Biaya lebih murah
- d. Cocok untuk berbagai jenis material

Kekurangan dari pengikat pasak adalah

- a. Tidak sekuat sambungan menggunakan baut atau sekrup
- b. Membutuhkan akurasi dalam pembuatan lubang
- c. Tidak cocok untuk sambungan yang sering dilepas pasang

5. Klin

Jenis pengikat klin atau sering disebut paku klin dimana jenis pengikat mekanis yang digunakan untuk

menyambungkan dua atau lebih komponen terutama pada material kayu, prinsip kerja klin dengan cara menyebarkan gaya secara merata pada material kayu sehingga menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama.

a. Penyambungan dengan tekanan hidraulik dan pneumatik

Metode memberikan tekanan mekanis, hidraulik atau pneumatik pada titik sambungan yang dapat menghubungkan dua atau lebih komponen untuk mendapatkan ikatan yang kuat dan rapat antar komponen-komponen tersebut.

b. *Press-fit*

Metode penyambungan press fit dimana sebuah komponen didorong masuk ke dalam lubang dengan ukuran yang sedikit lebih kecil. Tekanan yang dihasilkan saat komponen didorong masuk menciptakan ikatan yang kuat antar kedua bagian. Jenis penyambungan ini sering digunakan dalam berbagai industri, termasuk otomotif, elektronik dan manufaktur. Faktor-faktor yang mempengaruhi *press fit* :

- 1) Jenis material komponen akan mempengaruhi kekuatan ikatan press fit
- 2) Perbedaan ukuran antara komponen dan lubang akan menentukan gaya yang dibutuhkan untuk pemasangan.
- 3) Penggunaan pelumas dapat mengurangi gaya yang dibutuhkan dan meningkatkan kualitas permukaan kontak.
- 4) Perubahan suhu dapat mempengaruhi dimensi komponen dan kekuatan ikatan.

Berdasarkan bentuk aplikasinya, press fit dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Press Fit Sederhana

Press fit sederhana merupakan sebuah komponen silinder didorong masuk ke dalam lubang silinder dengan ukuran yang sedikit lebih kecil. Digunakan dalam perakitan komponen mekanik, seperti poros pada bantalan atau bushing.

b. *Press Fit Interferensi*

Jenis press fit di mana perbedaan ukuran antara komponen dan lubang sangat kecil, sehingga diperlukan gaya yang sangat besar untuk memasangnya. Aplikasi yang membutuhkan *press fit interferensi* sambungan yang sangat kuat dan tahan lama, seperti poros engkol pada mesin atau bushing pada bantalan

c. *Press Fit Interlock*

Jenis press fit interlock digunakan di mana salah satu komponen memiliki bentuk yang unik, seperti alur atau tonjolan, yang mengunci komponen tersebut di dalam lubang dipergunakan pada aplikasi yang membutuhkan sambungan yang tahan terhadap gaya tarik atau torsi, seperti poros spline pada transmisi.

d. *Press Fit Expansive*

Jenis *press fit* di mana komponen yang akan dipasang memiliki kemampuan untuk mengembang setelah dipasang, sehingga menciptakan ikatan yang lebih kuat digunakan pada aplikasi yang membutuhkan penyegelan yang baik, seperti bushing karet atau seal.

e. *Press Fit Thermal*

Jenis press fit therma di mana salah satu komponen dipanaskan atau didinginkan untuk mengubah dimensinya, sehingga memudahkan pemasangan dan menciptakan ikatan yang kuat setelah suhu kembali normal diaplikasikan pada pemasangan bushing atau bantalan pada poros dengan toleransi yang sangat ketat.

Keuntungan dari *press fit*

- a. **Sambungan yang kuat dan tahan lama apabila dilakukan dengan benar, press fit dapat menciptakan sambungan yang sangat kuat.**

- b. Tidak memerlukan pengelasan atau perekat dikarenakan press fit merupakan metode penyambungan yang relatif sederhana.
- c. Press fit dapat menghasilkan sambungan dengan toleransi yang sangat ketat.

Kekurangan dari press fit

- a. Pemasangan press fit seringkali membutuhkan peralatan khusus dan gaya yang sangat besar.
- b. Jika gaya yang digunakan terlalu besar, komponen dapat rusak.
- c. Sambungan press fit sulit untuk dilepas tanpa merusak komponen.

Secara garis umum penggunaan sambungan press fit dipergunakan pada berbagai bidang misalnya di bidang otomotif digunakan dalam pemasangan bantalan roda, bushing dan pros engkol, bidang elektronik yaitu pada pemasangan komponen pada papan sirkuit, dalam bidang permesinan yaitu pemasangan poros pada bearing dan dibidang konstruksi yaitu pemasangan baut jangkar pada beton.

Penyambungan Dengan Perekat

Metode untuk menggabungkan dua atau lebih material dengan menggunakan bahan perekat atau lem. Bahan perekat ini akan membentuk ikatan molekuler yang kuat antara permukaan material yang disambungkan, sehingga menciptakan satu kesatuan yang solid misalnya

1. Lem

Istilah yang lebih umum dan sering merujuk pada perekat yang berbentuk cair atau pasta. Contohnya adalah lem kayu, lem putih, atau lem instan.

2. Adhesif

Istilah yang lebih spesifik dan mencakup semua jenis perekat, baik yang berbentuk cair, padat, maupun pita perekat. Perekat adhesif sangat beragam, baik dari segi bahan dasar, sifat, maupun penggunaannya.

Beberapa jenis perekat adhesif yang umum antara lain:

- a. Perekat akrilik: Sering digunakan untuk merekatkan plastik, logam, dan kaca.
- b. Perekat epoksi: Sangat kuat dan tahan lama, sering digunakan untuk merekatkan benda-benda yang membutuhkan kekuatan tinggi.
- c. Perekat poliuretan: Fleksibel dan tahan cuaca, sering digunakan untuk merekatkan bahan-bahan bangunan.
- d. Perekat cyanoacrylate (lem instan): Mengering sangat cepat, sering digunakan untuk perbaikan kecil-kecilan.
- e. Perekat hot melt: Meleleh saat dipanaskan dan mengeras saat dingin, sering digunakan dalam industri kemasan.
- f. Perekat kontak: Mengering dengan cepat saat terkena udara, sering digunakan untuk merekatkan bahan-bahan yang sulit direkatkan dengan lem biasa.
- g. Penyambungan dengan panas misalnya adalah Las

Las adalah suatu proses penyambungan material, biasanya antar logam, dengan cara mencairkan sebagian atau seluruh permukaan yang akan disambung. Panas yang sangat tinggi dihasilkan untuk melelehkan logam dasar dan logam pengisi (jika digunakan), kemudian dibiarkan mendingin dan menyatu menjadi satu kesatuan yang kuat.

Proses pengelasan secara sederhana:

- a. Pemanasan:
Suhu pada bagian yang akan disambung dinaikkan hingga mencapai titik leleh logam.
- b. Pencairan:
Logam dasar dan logam pengisi (jika digunakan) akan mencair dan bercampur.
- c. Pendinginan:
Cairan logam yang telah menyatu kemudian didinginkan dan mengeras membentuk sambungan yang kuat.

Tujuan pengelasan:

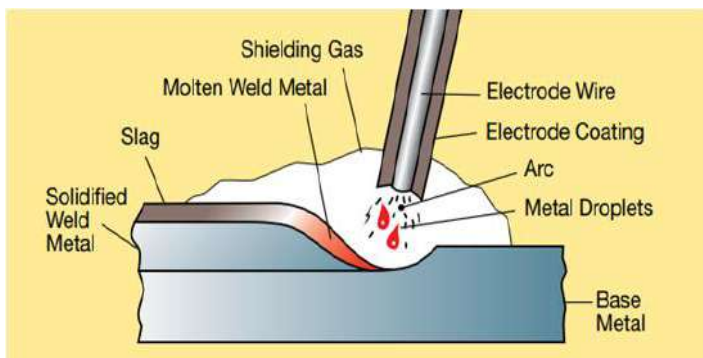
- a. Menggabungkan dua atau lebih bagian logam menjadi satu kesatuan.
- b. Memperbaiki bagian logam yang rusak atau pecah.
- c. Menambahkan material pada bagian logam tertentu.

Faktor yang mempengaruhi kualitas las:

- a. Sifat logam yang berbeda akan mempengaruhi proses pengelasan.
- b. Setiap jenis las memiliki karakteristik dan keunggulan yang berbeda.
- c. Parameter pengelasan yaitu arus listrik, tegangan, kecepatan pengelasan, dan jenis gas pelindung akan mempengaruhi hasil las.
- d. Keahlian operator sangat berpengaruh pada kualitas las.

Terdapat jenis- jenis pengelasan yang dilakukan pada proses perakitan di mana masing-masing jenis pengelasan memiliki karakteristik dan keunggulan yang berbeda-beda, seperti:

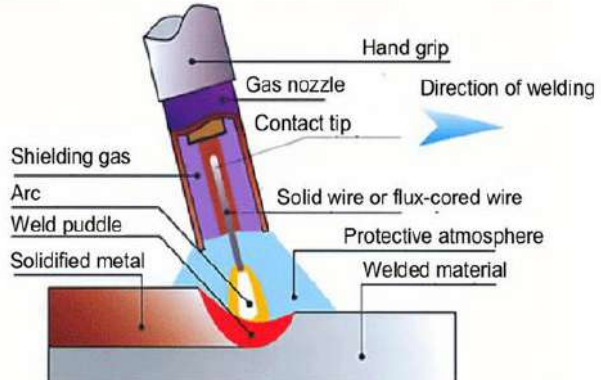
- a. Pengelasan busur merupakan pengelasan yang memakai busur listrik untuk menghasilkan panas. Jenis-jenis pengelasan yaitu sebagai berikut
 - 1) Las busur SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) yaitu menggunakan elektroda berselaput.



Gambar 4.49. Pengelasan Metode SMAW
sumber.

<https://www.allpro.co.id/pengelasan/smaw/>

- 2) Las busur MIG/MAG (*Metal Inert Gas/Metal Active Gas*) dalam pemakaian dilengkapi kawat las sebagai elektroda dan gas pelindung.



Gambar 4.50. Metal Inert Gas/Metal Active

Sumber: https://www.researchgate.net/publication/311991053_Exemplification_of_Tomographic_Method_to_Evaluate_the_Quality_of_Welded_Joints_Made_from_EN_5754-H22_Alloy/figures?lo=1

- 3) Las busur TIG (*Tungsten Inert Gas*) dilengkapi dengan elektroda tungsten dan gas pelindung.
- a) Pengelasan oksi-asetilin yaitu dengan penggunaan nyala api dari campuran oksigen dan asetilen.
 - b) Pengelasan resistansi dengan pemakaian panas yang dihasilkan oleh aliran listrik yang melewati sambungan.
 - c) Pengelasan laser adalah sumber panas dari sinar laser sebagai pelaksanaan penyambungan.

Keunggulan pengelasan:

- 1) Sambungan yang kuat dan tahan lama dimana sambungan las dapat memiliki kekuatan yang setara atau bahkan lebih kuat dari logam induknya.

- 2) Pengelasan dapat digunakan secara fleksible untuk menyambung berbagai jenis logam dan bentuk.
- 3) Proses pengelasan relatif cepat dan efisien sehingga mengakibatkan produktivitas tinggi.

Kekurangan pengelasan:

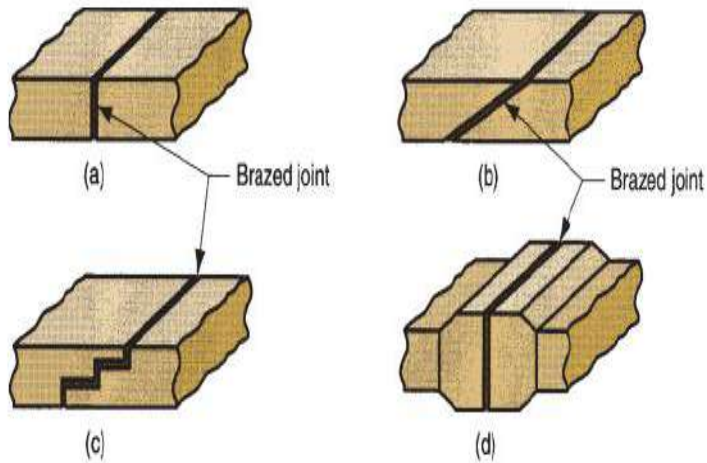
- 1) Operator harus memiliki keterampilan dan pengetahuan yang memadai dikarenakan dalam pengelasan membutuhkan keahlian khusus:
- 2) Peralatan las cukup mahal dan memerlukan perawatan yang baik.
- 3) Proses pengelasan menghasilkan panas yang tinggi dan radiasi ultraviolet, yang merupakan adanya potensi bahaya sehingga perlu memperhatikan keselamatan kerja

Metode penyambungan pengelasan memiliki aplikasi yang sangat luas, di antaranya:

- 1) Industri konstruksi misalnya dalam pembangunan gedung, jembatan, dan infrastruktur lainnya.
- 2) Industri otomotif dengan memproduksi bodi mobil, rangka kendaraan, dan komponen lainnya.
- 3) Industri perkapalan dalam pembuatan kapal dan struktur lepas pantai.
- 4) Industri manufaktur contohnya pada memproduksi berbagai macam produk logam.

3. **Brazing**

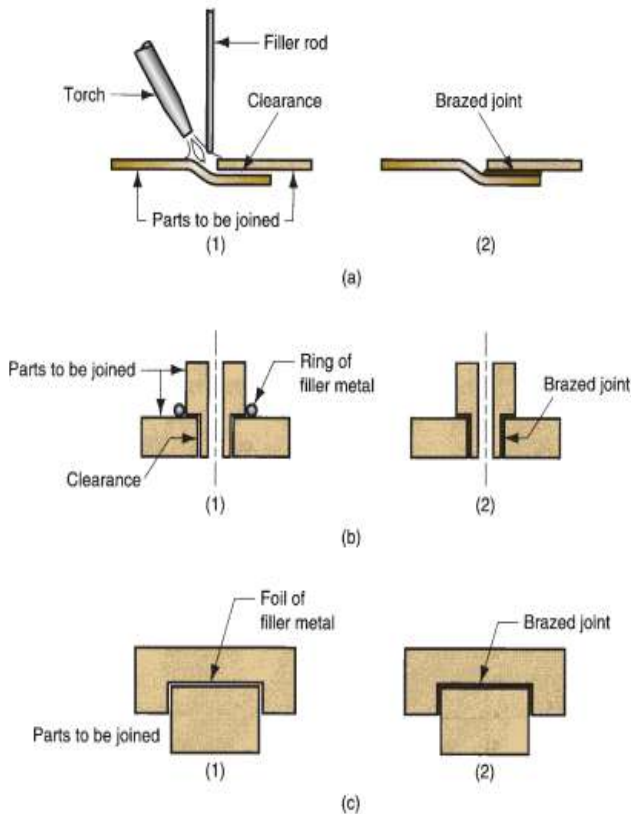
Brazing adalah suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan logam pengisi yang memiliki titik leleh lebih rendah dari logam induk. Proses ini melibatkan pemanasan logam yang akan disambung hingga mencapai titik leleh logam pengisi, kemudian logam pengisi dipanaskan dan disisipkan ke dalam celah sambungan. Setelah logam pengisi mendingin, akan terbentuk sambungan yang kuat.



Gambar 4.51. (a) *Conventional butt joint*, (b) *scarf joint*, (c) *stepped butt joint*, (d) meningkatkan gabungan beberapa komponen

Sumber: Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-
Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-
Edisi-5-2012.pdf

Brazing menggunakan suhu yang lebih rendah daripada welding yaitu 620-870 °C, proses brazing menggunakan logam pengisi dengan titik leleh yang lebih rendah daripada logam induk.



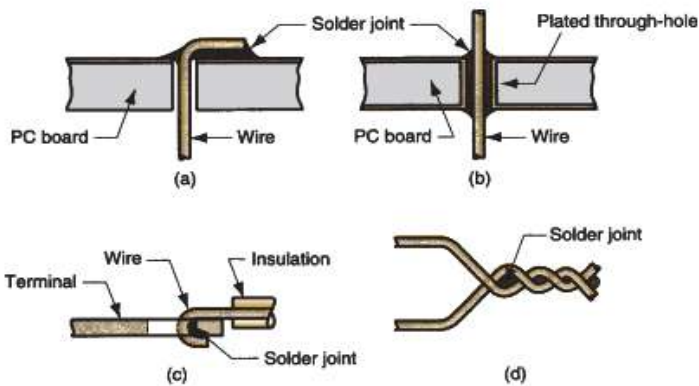
Gambar 4.52. Menunjukkan angka (1) sebelum, dan (2) sesudah proses brazing. Beberapa teknik pengisian logam dalam brazing (a) torch and filler rod (b) ring of filler metal at entrance of gap (c) foil of filler metal between flat surfaces.

Sumber: Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-Edisi-5-2012.pdf

Brazing sering digunakan untuk komponen elektronik atau komponen dengan toleransi dimensi yang ketat misalnya industri otomotif yaitu menghubungkan komponen mesin, radiator, dan sistem pendingin, industri elektronik dimana menghubungkan komponen pada papan sirkuit serta industri konstruksi untuk menghubungkan pipa-pipa logam.

4. Soldering

Soldering adalah suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan logam pengisi yaitu timah dan non timah yang memiliki titik leleh lebih rendah dari logam induk. Proses ini melibatkan pemanasan logam yang akan disambung hingga mencapai titik leleh logam pengisi, kemudian logam pengisi dipanaskan berkisar antara 180°C hingga 250°C dan disisipkan ke dalam celah sambungan. Setelah logam pengisi mendingin, akan terbentuk sambungan yang kuat.



Gambar 4.53. Teknik assembly dengan menggunakan metode soldering (a) penggabungan kawat timah pada papan sirkuit tercetak (PCB); (b) dilapisi lubang pada PCB untuk memaksimalkan permukaan kontak solder; (c) kawat berkait pada bidang datar terminal; dan (d) memutar

kabel. Sumber: Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-Edisi-5-2012.pdf

Aplikasi soldering di bagian elektronik untuk menghubungkan komponen pada papan sirkuit, perbaikan peralatan rumah tangga yaitu memperbaiki kabel listrik atau komponen kecil dan merakit model kit dengan menggunakan solder untuk menyambung bagian-bagiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Michael F. Ashby, David R.H. Jones, 2012. Engineering Materials
1 An Introduction to Properties Applications and Design,
Fourth Edition, Elsevier Ltd. 2012
- Mikell P. Groover, 2007, Fundamentals of Modern
Manufacturing Materials, Processes and Systems Fifth
www.wiley.com/college/groover,2007
- Serope Kalpakjian and Steven R.Schmid, Manufacturing
Engineering and Technology,Fifth Edition in SI Units,
Prentice Hall, New Jersey, 2006.
- Training in Plastics Technology Pengarang :
Michaeli/Greif/Kaufmann/Vosseburger. Dipublikasikan
oleh:Hanser Publisher, Munich Vienna New York
- William D. Callister, Jr. David G. Rethwisch,2013, Materials
Science and Engineering An Introduction,The United
States of America: John Wiley & Sons Inc

BAB 5

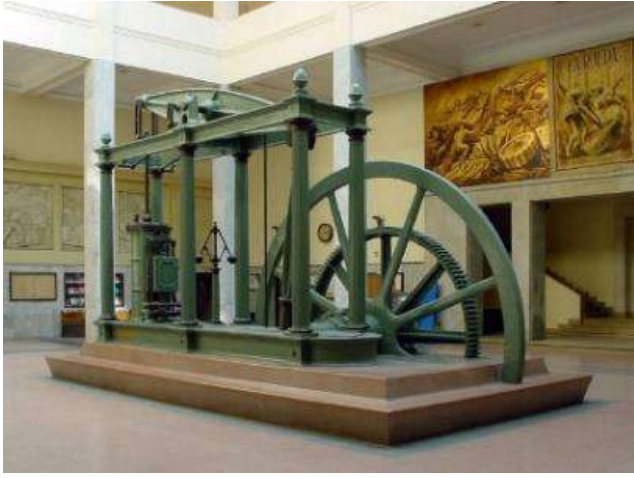
APLIKASI PRAKTIS DALAM INDUSTRI

5.1 Pendahuluan

Dalam sektor industri yang berkembang dengan sangat pesat, kebutuhan akan adanya mekanisme mesin yang praktis dan efisien menjadi salah satu prioritas utama. Para profesional teknik terus melakukan eksplorasi mekanisme yang memiliki nilai efektivitas, produktivitas, keberlanjutan lingkungan dan inovasi yang tinggi. Pada bagian ini, pembahasan secara komprehensif dilakukan dengan menyoroti tren terbaru, integrasi teknologi mutakhir, strategi pengendalian, fleksibilitas dan kecerdasan buatan

Perkembangan Sejarah. Dari katrol kuno hingga lengan robot modern, mekanisme telah berevolusi dari alat dasar hingga menjadi sistem yang kompleks. Perkembangan aplikasi praktis mekanisme tidak hanya mendorong kemajuan industri, namun juga menjadi dasar bagi teknologi canggih saat ini. Studi lebih lanjut penting bagi perkembangan inovasi masa depan, dimulai dari manufaktur hingga perawatan kesehatan.

Revolusi industri menandai perubahan besar dalam penggunaan mekanisme. Mesin yang digerakkan oleh mesin uap, seperti alat tenun, roda pemintal, dan pompa, merevolusi industri. James Watt (1736-1819) memperbaiki mesin uap, memungkinkan penerapannya di pabrik, kapal dan kereta api, sehingga sangat meningkatkan efisiensi sistem mekanis (Gambar 5.1). Mekanisme yang sesuai seperti poros engkol, roda gila, dan rangkaian roda gigi telah menjadi hal yang umum dalam permesinan, yang memungkinkan gerak putar diubah menjadi gerak linier dan sebaliknya. Mekanisme ini penting untuk mobil, rel kereta api, dan mobil produksi awal.



Gambar 5.1. Mesin uap Watt yang dibangun oleh D. Napier & Son di London tahun 1832 (Nicolás Pérez, 2004).

Dengan penemuan mesin pembakaran internal dan kemajuan aerodinamika pada abad ke-20, mekanisme memainkan peran penting dalam pengembangan mobil, pesawat terbang, dan sistem mekanis yang kompleks seperti sistem suspensi dan *control surface*. Pada pertengahan abad ke-20, mekanisme diterapkan pada sistem robotika. Mesin otomatis yang digunakan dilini produksi mengandalkan *cam*, roda gigi dan sambungan untuk melakukan tugas berulang. Integrasi elektronik dengan sistem mekanis (mekatronika) memungkinkan pengendalian mekanisme yang lebih presisi, digunakan dalam aplikasi mulai dari peralatan rumah tangga hingga luar angkasa.

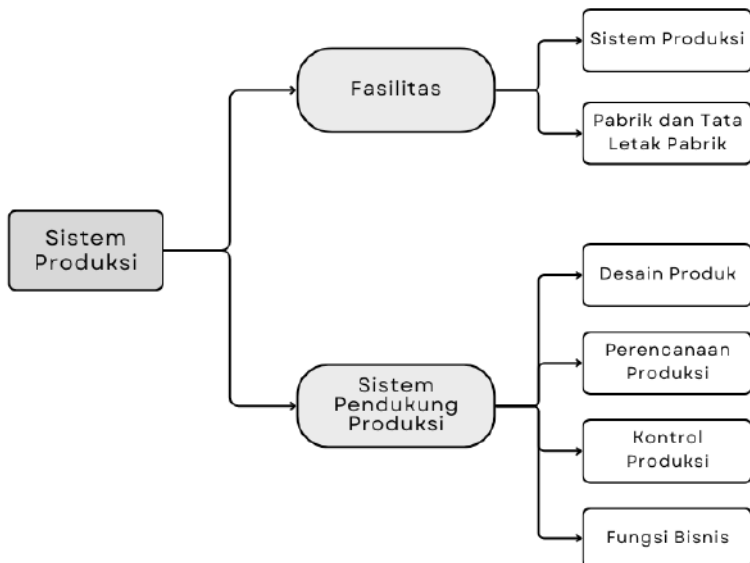
Abad ke-20 hingga saat ini, mekanisme modern sering dikaitkan dengan pengendalian komputer, yang mengarah pada pengembangan mesin *Computer Numerical Control (CNC)*, robot industri dan sistem otonom. Sistem mekanis skala besar dan kecil sering kali terintegrasi dengan elektronik, digunakan dalam bidang-bidang seperti teknik biomedis, dirgantara, dan telekomunikasi. Kemajuan dalam desain mekanisme, dengan alat seperti *Computer-Aided Design (CAD)* dan dengan menggunakan perangkat lunak simulasi, para insinyur dapat membuat, menganalisis dan mengoptimalkan mekanisme

dengan presisi yang belum pernah terjadi sebelumnya, sehingga menghasilkan inovasi dalam bidang robotika, prostetik, dan bahkan nanoteknologi (Nam, Hoa and Chi, 2019; Mbamba, 2023).

5.2 Sistem Produksi

Kesatuan yang mengelola proses produksi dalam suatu industri, mencakup kegiatan perencanaan, pengendalian dan produksi merupakan pengertian dari sistem produksi. Sistem produksi terdiri dari komponen tenaga kerja, peralatan, dan prosedur yang dengan sedemikian rupa diatur untuk menjalankan operasi manufaktur suatu industri (Mikell P. Groover, 2008; Lewis, 2019). Sistem ini terdiri dari dua komponen utama seperti yang dapat ditunjukkan pada Gambar 5.2:

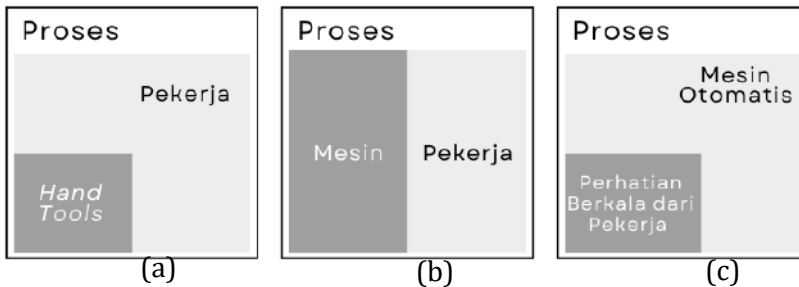
1. **Fasilitas**, yakni objek fisik meliputi peralatan, tata letak peralatan, dan pabrik.
2. **Sistem Pendukung Produksi**, yakni prosedur yang diterapkan untuk mengatur atau mengendalikan produksi.



Gambar 5.2. Komponen utama Sistem Produksi: Fasilitas dan Sistem Pendukung Manufaktur (Mikell P. Groover, 2008).

5.2.1 Fasilitas

Fasilitas dalam sistem produksi terdiri dari pabrik, mesin produksi dan perkakas, peralatan penanganan material, peralatan inspeksi dan sistem komputer yang mengendalikan operasi manufaktur. Dalam hal partisipasi manusia dalam proses yang dilakukan oleh sistem manufaktur, tiga kategori dasar dapat dibedakan, seperti yang digambarkan dalam Gambar 5.3:



Gambar 5.3. (a) Sistem Kerja Manual, (b) Sistem Semi Otomatis, (c) Sistem Otomatis (Mikell P. Groover, 2008).

1. Sistem Kerja Manual

Sistem kerja manual terdiri dari satu atau lebih pekerja yang melakukan satu atau lebih tugas tanpa bantuan alat bertenaga. Tugas penanganan material adalah aktivitas umum dalam sistem kerja manual. Pengaplikasian alat mekanik sederhana seperti obeng, palu, kikir biasa digunakan dalam tugas produksi. Ciri khas dari sistem ini yaitu kecepatan dan kapasitas produksinya yang terbatas. Lalu proses kontrol kualitas dan keterampilan dalam penggunaan alat mekanika sederhana tersebut memerlukan perhatian dan kompetensi yang tinggi. Contoh tugas manual terkait produksi yang melibatkan penggunaan alat mekanik sederhana meliputi:

- a. Seorang juru mesin menggunakan kikir untuk membulatkan tepi bagian persegi panjang yang baru saja digiling
- b. Seorang inspektur kontrol kualitas menggunakan mikrometer untuk mengukur diameter poros

- c. Sebuah tim pekerja perakitan merakit sebuah mesin menggunakan perkakas tangan.

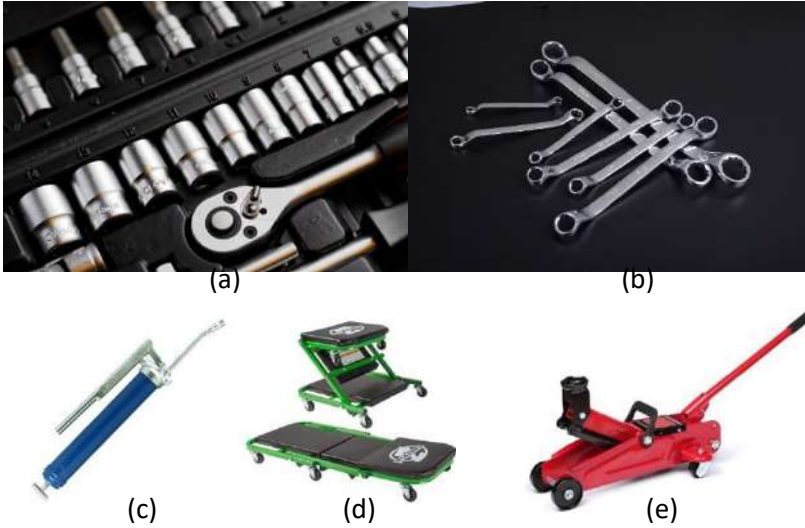
Namun terlepas dari keterbatasan yang sebelumnya disebut, sistem ini masih memiliki tempat penting dalam industri modern, terutama di sektor-sektor berikut:

- a. Industri yang memerlukan sentuhan pribadi atau kustomisasi. Contohnya seperti kendaraan mewah, merk mobil Rolls Royce terkenal memiliki *craftmanship* yang tinggi. Beberapa detail dibuat dari tangan para ahli, sehingga menciptakan produk yang eksklusif.
- b. *Prototyping*. Pada tahap awal pengembangan produk baru, alat mekanik sederhana sering digunakan untuk membuat prototipe sebelum diotomatisasi untuk produksi massal.
- c. Pengangkat dan pemindah. *Pulley system* sering digunakan di pabrik dan konstruksi untuk memindahkan material dari satu tempat ke tempat lain dengan efisien.



Gambar 5.4. Sistem *Pulley* pada alat angkat.

- d. Pemeliharaan dan perbaikan. Banyak pekerjaan pemeliharaan dan perbaikan di industri yang masih memerlukan alat-alat mekanik sederhana, seperti *Socket Wrench Set*, *Grease Gun*, *Hydraulic Jack* dan banyak lainnya (Gambar 5.5).



Gambar 5.5. (a) *Socket Wrench Set*, (b) *Wrench Set*, (c) *Grease Gun*, (d) *Adjustable Rolling Folding*, (e) *Hydraulic Jack*.

2. Sistem Semi Otomatis

Dalam sistem ini, pekerja mengoperasikan peralatan bertenaga, seperti peralatan mesin atau mesin produksi lainnya. Ini adalah salah satu sistem manufaktur yang paling banyak digunakan. Sistem mencakup kombinasi dari satu atau lebih pekerja dan satu atau lebih peralatan. Pekerja menggunakan mesin untuk mengambil keuntungan kekuatan dan atribut lainnya seperti penjelasan yang tercantum dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Kekuatan relatif dan atribut manusia dan mesin

Manusia	Mesin
Merasakan rangsangan yang tak terduga	Melakukan tugas berulang secara konsisten
Mengembangkan solusi baru untuk suatu masalah	Menyimpan sejumlah besar data
Mengatasi masalah abstrak	Mengambil data dari memori dengan andal
Beradaptasi dengan perubahan	Melakukan tugas secara bersamaan
Generalisasi dan pengamatan	Kekuatan dan daya yang besar
Belajar dari pengalaman	Dapat melakukan perhitungan dengan cepat
Membuat keputusan berdasarkan data yang tidak lengkap	Mengambil keputusan rutin dengan cepat

Contoh aplikasi praktis mekanika dalam sistem semi otomatis meliputi:

- a. Seorang masinis mengoperasikan mesin bubut untuk membuat komponen untuk suatu produk.
- b. Seorang tukang dan robot industri bekerja sama dalam sel kerja pengelasan busur.
- c. Sekelompok pekerja mengoperasikan pabrik penggilingan yang mengubah pelat baja panas menjadi pelat datar.

Mesin Perkakas. Pengaplikasian mesin perkakas di Dunia Industri mencakup berbagai jenis mesin yang digunakan untuk memproses, membentuk dan memodifikasi material, terutama logam dan plastik. Mesin perkakas berperan penting dalam manufaktur karena meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam produksi komponen. Berikut adalah jenis-jenis mesin perkakas

beserta contoh pengaplikasiannya dalam industri (Carlsson, 1984; Copani, 2014; Saxena and Sharma, 2014).

a. Mesin Bubut

Mesin ini digunakan untuk memutar benda kerja pada sumbu rotasi dan melakukan pemotongan untuk membentuk komponen silindris. Contoh pengaplikasian: Pembuatan poros, *wheel hub* dan komponen kendaraan lainnya.



Gambar 5.6. Mesin Bubut pada Industri.
(Sumber: Kateryna Babaieva melalui Pexels)

b. Mesin Frais

Mesin ini digunakan untuk memotong material dengan cara menggerakkan alat potong secara rotasi sambil benda kerja dipindahkan. Contoh pengaplikasian: Pembuatan panel, plat, dan berbagai komponen mekanik yang memerlukan bentuk datar dan presisi.



Gambar 5.7. Mesin Frais (Milling) dengan jenis vertikal.
(Sumber: Esquire)

c. Mesin Gerinda (Grinding Machine)

Mesin ini digunakan menghaluskan dan memoles permukaan material dengan menggunakan roda gerinda (Gambar 5.8a). Contoh pengaplikasian: Penghalusan permukaan komponen setelah permesinan agar mendapatkan permukaan yang halus dan tepat.



(a)



(b)

Gambar 5.8. (a) Gerinda tangan, (b) Bor tangan.
(Sumber: powertools melalui pixabay dan fixerboy)

d. Mesin Bor (Drilling Machine)

Mesin ini digunakan untuk membuat lubang pada material dengan cara memutar mata bor (Gambar 5.8b). Contoh pengaplikasian: Pembuatan lubang pada kerangka mesin atau struktur logam lainnya.

e. Mesin Stamp

Mesin ini digunakan untuk membentuk material, biasanya logam, dengan menggunakan tekanan untuk memotong atau membentuk. Contoh pengaplikasian: Produksi komponen logam seperti penutup, rangka, atau komponen elektronik.



Gambar 5.9. Mesin Stamp Vertikal (Stamping Machine).
(Sumber: sunrui)

3. Sistem Otomatis

Sistem yang prosesnya dilakukan oleh mesin tanpa campur tangan langsung dari pekerja disebut sistem otomatis. Otomatisasi diimplementasikan menggunakan program instruksi yang dikombinasikan dengan sistem kontrol yang mengeksekusi instruksi tersebut. Daya diperlukan untuk menggerakkan proses dan mengoperasikan program serta sistem kontrol. Tidak selalu ada perbedaan yang jelas antara *sistem semi otomatis* dan *sistem otomatis*, karena banyak sistem semi otomatis beroperasi dengan beberapa tingkat otomatisasi. Dua tingkat otomatisasi dapat diidentifikasi: semi otomatis dan otomatis penuh.

Mesin semi otomatis melakukan sebagian siklus kerja di bawah beberapa bentuk kontrol program, dan pekerja manusia menangani mesin selama sisa siklus, dengan memuat dan membongkarnya, atau dengan melakukan beberapa tugas lain setiap siklus. Mesin yang sepenuhnya otomatis dibedakan dari mesin semi otomatis dengan kapasitasnya untuk beroperasi dalam jangka waktu yang lama tanpa perhatian manusia. Jangka waktu yang lama berarti lebih dari satu siklus kerja; seorang pekerja tidak

diharuskan hadir selama setiap siklus. Sebaliknya, pekerja mungkin perlu merawat mesin setiap siklus kesepuluh, atau setiap siklus keseratus. Contoh jenis operasi ini ditemukan di banyak pabrik cetak injeksi, di mana mesin cetak berjalan pada siklus otomatis, tetapi secara berkala bagian yang dicetak di mesin harus dikumpulkan oleh seorang pekerja.

Gambar 5.3c menggambarkan sistem yang sepenuhnya otomatis. Sistem semi otomatis digambarkan dengan baik oleh Gambar 5.3b. Dalam proses tertentu yang sepenuhnya otomatis, satu atau lebih pekerja diharuskan hadir untuk terus memantau operasi, dan memastikan bahwa operasi tersebut berjalan sesuai dengan spesifikasi yang dimaksudkan. Contoh dari jenis proses otomatis ini termasuk proses kimia yang kompleks, kilang minyak, dan pembangkit listrik tenaga nuklir. Para pekerja tidak berpartisipasi secara aktif dalam proses tersebut kecuali untuk melakukan penyesuaian sesekali dalam pengaturan peralatan, melakukan perawatan berkala, dan bertindak cepat jika terjadi kesalahan.

Teknologi mesin otomatis merujuk pada mesin yang dapat mengoperasikan proses permesinan tanpa banyak intervensi manusia. Mesin ini memiliki sistem kendali yang memungkinkan pemrograman proses produksi. Berikut contoh dari pengaplikasian mesin dalam sistem industri otomatis:

a. Mesin *Computer Numerical Control* (CNC)

Mesin ini dikendalikan oleh komputer dan digunakan untuk proses pemesinan yang lebih kompleks dan akurat. Mesin ini dapat dioperasikan dengan program yang telah ditentukan sebelumnya, meningkatkan akurasi dan kecepatan produksi. Operator bertugas lebih sebagai pengawas daripada pelaksana.

Contoh pengaplikasian: Produksi komponen otomotif, aerospace, dan produk desain industri, dimana toleransi dan kompleksitas desain sangat penting.



Gambar 5.10. Mesin *Computer Numerical Control* (CNC).
(Sumber: fano)

b. Mesin pencetak 3D

Mesin yang digunakan untuk mencetak objek tiga dimensi dari desain digital. Mesin ini memanfaatkan bahan seperti plastik, resin, dan logam untuk membangun objek secara lapis demi lapis. Pencetakan 3D banyak digunakan dalam prototipe cepat dan produksi suku cadang yang kompleks.



Gambar 5.11. 3D Print Merk Prusa dan Morph.
(Sumber: pinterest)

c. Robot Perakitan

Robot yang digunakan dalam lini produksi untuk merakit komponen. Dalam industri otomotif, misalnya, robot ini dapat menggabungkan berbagai bagian kendaraan dalam proses perakitan dengan presisi yang tinggi.



Gambar 5.12. Lengan robotika pada pabrik perakitan kendaraan.

(Sumber: hyundai motor melalui pexels)

d. Mesin Pengemas Otomatis

Mesin ini digunakan untuk mengemas produk secara otomatis. Ini termasuk mesin yang mengisi, menyegel, dan melabelkan kemasan, yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi dalam industri makanan dan minuman.



Gambar 5.13. Pengemasan kaleng minuman pada *assembly line*.

(Sumber: cottonbro studio melalui pexels)

e. Mesin Pemotong Waterjet

Mesin ini menggunakan jet air berkecepatan tinggi yang dicampur dengan material abrasif untuk memotong berbagai jenis material, termasuk logam, kaca, dan plastik. Mesin ini dapat diprogram untuk melakukan pemotongan yang sangat presisi sesuai dengan desain yang ditentukan.



Gambar 5.14. Pemotongan plat aluminium dengan waterjet. (Sumber: phuchit melalui istock)

f. Mesin Bending Otomatis

Mesin ini digunakan untuk membungkuk material seperti logam dengan akurasi tinggi. Mesin ini biasanya dilengkapi dengan kontrol numerik sehingga proses pembentukan dapat diprogram sesuai dengan spesifikasi produk yang diinginkan.

g. Sistem Manufaktur Otomatis

Sistem yang mengintegrasikan berbagai mesin otomatis dalam satu lini produksi, memungkinkan aliran material dan informasi secara real-time antara berbagai unit. Contohnya termasuk sistem pemrosesan chip dalam industri elektronik.

h. Mesin Pembersih Ultrasonik

Mesin yang menggunakan gelombang ultrasonik untuk membersihkan komponen dan alat dengan efisiensi tinggi. Mesin ini banyak digunakan dalam industri medis dan otomotif untuk membersihkan part-part sensitif atau rumit.

Seiring dengan perkembangan teknologi yang begitu cepat. Maka sistem industri tidak terhenti hanya dalam 3 klasifikasi seperti yang sudah dibahas di atas. Muncul klasifikasi baru yaitu sistem otomatis terkoneksi (IoT) dan sistem otomatis cerdas.

4. Sistem Otomatis Terkoneksi

Pada tingkatan ini, mesin perkakas dilengkapi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan konektivitas dan komunikasi antara mesin dalam jaringan. Contoh Mesin: Mesin CNC terkoneksi, sistem manufaktur pintar. Karakteristik: Mesin dapat berkomunikasi dengan satu sama lain dan dengan sistem manajemen, memungkinkan untuk pemeliharaan prediktif dan pengoptimalan proses produksi secara real-time.

5. Sistem Otomatis Cerdas

Level paling mutakhir dalam teknologi mesin adalah mesin cerdas yang mengintegrasikan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dan analitik data ke dalam proses produksi. Contoh Mesin: Sistem produksi berbasis AI, robot kolaboratif (cobots). Karakteristik: Mesin dapat belajar dan beradaptasi dengan lingkungan produksi. Mereka dapat melakukan optimasi sendiri dan meningkatkan efisiensi serta fleksibilitas produksi secara signifikan.

5.3 Aplikasi berdasarkan klasifikasi Industri

5.3.1 Secara Umum

Aplikasi teknik mesin di dunia industri sangat beragam dan memainkan peranan penting dalam berbagai aspek produksi dan pengolahan. Teknik mesin merupakan disiplin ilmu yang berkaitan dengan desain, analisis, dan pembuatan sistem mekanis. Dalam konteks industri, teknik mesin menawarkan inovasi yang meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas produk. Melalui berbagai aplikasi teknologi mekanik, industri mampu memproduksi barang

dengan biaya yang lebih rendah dan dalam waktu yang lebih cepat.

Otomatisasi dan Robotika

Salah satu aplikasi paling mencolok dari teknik mesin di industri adalah dalam otomatisasi dan robotika. Dengan kemajuan teknologi, mesin dan robot dapat diintegrasikan ke dalam proses produksi untuk mengurangi intervensi manusia. Contohnya, dalam industri otomotif, robot digunakan untuk melakukan pengecatan, pengelasan, dan perakitan komponen secara otomatis. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga memastikan konsistensi dan kualitas produk yang lebih baik.

Desain Struktur dan Material

Desain mesin dan struktur yang efisien juga menjadi bagian penting dari teknik mesin dalam industri. Dalam sektor otomotif dan penerbangan, penggunaan material ringan dan teknologi baru seperti struktur auxetik dengan rasio Poisson negatif telah menunjukkan potensi besar dalam meredam energi dan meningkatkan ketahanan mekanis. Dengan penggunaan material yang tepat, produk dapat dibuat lebih ringan dan lebih kuat, sehingga meningkatkan performa dan efisiensi bahan bakar.

Energi Terbarukan dan Teknologi Hijau

Teknik mesin juga berperan dalam pengembangan teknologi hijau dan energi terbarukan. Desain dan pengembangan turbin angin, panel surya, dan sistem pemanas yang efisien adalah beberapa contoh bagaimana teknik mesin berkontribusi terhadap kelestarian lingkungan. Misalnya, penggunaan bahan yang ramah lingkungan dan desain efisien dalam turbin angin dapat meningkatkan produksi energi terbarukan, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Penggunaan Serat dan Material Komposit

Aplikasi teknik mesin juga terlihat dalam penggunaan material komposit, seperti *fiber reinforced plastics* (FRP), yang terkenal karena kekuatan dan ringan. Material ini banyak digunakan dalam industri otomotif, energi, dan pertahanan. Penelitian mengenai performa mekanik dan cara pengolahan material ini menunjukkan bahwa penggunaan material komposit dapat mengurangi berat tanpa mengorbankan kekuatan, yang sangat penting untuk meningkatkan efisiensi energi.

Inovasi dalam Metodologi Produksi

Dengan perkembangan teknologi informasi, industri kini juga menerapkan metodologi baru seperti Industry 4.0, yang mengintegrasikan sistem siber-fisik, Internet of Things (IoT), dan big data ke dalam proses produksi. Teknik mesin berperan dalam mendesain sistem ini agar dapat meningkatkan proses produksi secara keseluruhan. Penggunaan data analitik untuk memprediksi kegagalan dan mengoptimalkan proses produksi membantu perusahaan dalam mengurangi biaya dan memaksimalkan output.

5.3.2 Secara Khusus

Aplikasi teknik mesin di Industri sangat penting dan beragam, mencakup berbagai teknologi dan metode yang digunakan dalam proses produksi. Kehadiran mesin berkontribusi besar terhadap efisiensi produksi, akurasi, dan kualitas produk. Berikut adalah beberapa aplikasi utama mesin dalam dunia industri (Mikell P. Groover, 2008):

Industri Otomotif

Penerapan ilmu mekanika pada industri ini meliputi perancangan struktur, mesin, suspensi, material, dan sistem pengendalian. Penggunaan struktur auxetic dan material komposit dalam desain kendaraan dapat meningkatkan kekuatan dan mengurangi berat. Pengembangan struktur juga dilakukan untuk meningkatkan keselamatan kendaraan, seperti kotak absorpsi energi dan komponen suspensi. Berbagai macam mesin digunakan dalam produksi kendaraan, termasuk untuk

perakitan bagian-bagian mobil, pengelasan otomatis, dan pengecatan (Wenwang *et al.*, 2021).

Industri Kedirgantaraan

Dalam industri kedirgantaraan, aplikasi mesin sangat berfokus pada penggunaan *Flexible Manufacturing Systems* (FMS), terutama untuk memproduksi berbagai komponen pesawat dengan presisi tinggi dan efisiensi waktu. Contoh konkret dari penerapan FMS di industri ini adalah pada Vought Aerospace di Dallas, Texas, yang menggunakan sistem FMS untuk memproses sekitar 600 komponen pesawat. Sistem ini terdiri dari delapan pusat mesin horizontal CNC yang terhubung dengan modul inspeksi. Material handling dilakukan secara otomatis menggunakan sistem *Automated Guided Vehicle System* (AGVS) dengan empat kendaraan yang memindahkan komponen antara stasiun pemuatan/pembongkaran dan mesin (Mikell P. Groover, 2008; Caesarendra *et al.*, 2019).

Aplikasi ini memungkinkan produksi komponen pesawat secara individual (*one-of-a-kind parts*) dalam mode berkesinambungan tanpa perlu melakukan *batch*, sehingga setiap komponen yang diperlukan untuk satu pesawat dapat diproduksi secara efisien (Mikell P. Groover, 2008). Hal ini sangat penting dalam industri kedirgantaraan yang menuntut presisi tinggi, variasi produk, dan efisiensi biaya.

Industri Energi

Pengembangan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan menjadi prioritas dalam menghadapi tantangan energi global saat ini. Teknik mesin memainkan peran vital dalam pengembangan dan penerapan teknologi energi terbarukan. Mesin seperti turbin digunakan dalam pembangkit listrik, termasuk pembangkit listrik tenaga uap, air, dan angin (Erturk *et al.*, 2021).

Pengembangan bahan baru untuk aplikasi energi merupakan bagian penting dari teknik mesin. Penggunaan material canggih, seperti komposit berbasis serat karbon dan nanotube, dapat meningkatkan efisiensi dalam penyimpanan energi dan aplikasi di sektor transportasi. Nanomaterials:

Nanomaterial seperti carbon nanotubes (CNT) menawarkan potensi besar dalam penyimpanan energi dan sebagai bahan dalam baterai lithium-ion, berkat sifat mekanik dan elektrik yang unggul (Hadas *et al.*, 2020).

Industri Pertambangan

Pada sektor pertambangan, solusi yang efisien dan aman untuk ekstraksi sumber daya alam sangat dibutuhkan. Mesin berat digunakan untuk pengeboran, penggalian, dan pengangkutan material di tambang. Melalui berbagai teknologi dan metode, teknik mesin berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan keamanan dalam operasi pertambangan.

Perancangan dan pengembangan berbagai jenis mesin dilakukan pada industri ini. Pembuatan alat berat seperti *ekskavator*, *loader*, dan *dump truck* yang dirancang khusus untuk mengangkut dan menggali material berat dengan efisiensi tinggi. Selain itu, desain mesin yang digunakan untuk memasang infrastruktur penambangan, termasuk sistem ventilasi dan pipa untuk transportasi material tidak luput dari aplikasi ilmu teknik mesin (Usanov, Usanov and Usanov, 2022).

Industri Pengemasan dan Logistik

Dalam upaya peningkatan kualitas, keamanan, dan efisiensi dalam proses pengemasan dan distribusi barang, teknik mesin berkontribusi dalam berbagai aspek. Dimulai dari mesin pengemasan hingga otomasi sistem pengendalian di gudang. Pengembangan mesin pengemas otomatis yang dirancang untuk kemasan berbagai produk, baik berupa cairan, padat, maupun semi-padat. Mesin ini dirancang untuk mempercepat proses pengemasan dan mengurangi kesalahan manusia. Ilmu teknik mesin digunakan untuk menciptakan sistem pengemasan fleksibel seperti *pouch* dan *flow wrap* yang dapat meningkatkan daya tarik produk dan memperpanjang umur simpan dengan pengurangan oksigen. Mesin-mesin otomatis banyak digunakan untuk pengemasan produk, labeling, dan distribusi di pusat logistik (Akbari, Ghomashchi and Moghadam, 2011).

Industri Pertanian

Pengembangan alat dan mesin yang digunakan dalam berbagai tahap produksi pertanian, mulai dari penanaman hingga panen dan pengolahan hasil. Teknik mesin digunakan untuk merancang alat berat seperti traktor, *combine harvester*, dan alat pemanen yang dapat menangani medan yang sulit dan meningkatkan efisiensi kerja. Pengembangan pompa dan sistem irigasi yang efisien menjadi fokus penting dalam teknik mesin, membantu mengelola penggunaan air secara optimal untuk menunjang pertumbuhan tanaman.

Otomatisasi dalam pertanian semakin meningkat dengan pemanfaatan teknik mesin. Penggunaan teknologi sensor dan drone untuk mengumpulkan data, yang kemudian digunakan untuk merencanakan tindakan pertanian yang lebih tepat. Ini termasuk pengaturan jumlah pupuk dan air berdasarkan kebutuhan spesifik tanaman. Pengembangan robot untuk tugas pertanian seperti penanaman, penyiraman, dan pemanenan. Robot ini dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja manusia dan meningkatkan kecepatan proses .



Gambar 5.15. Pemanfaatan teknologi *drone* pada pertanian dapat meningkatkan efisiensi kecepatan kerja.

(Sumber: droneeft melalui pexels)

DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, Z., Ghomashchi, T. and Moghadam, S. (2011) 'International Journal of Food Engineering Improvement in Food Packaging Industry with Biobased Nanocomposites', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:97477177>.
- Caesarendra, W. *et al.* (2019) 'Adaptation to Industry 4.0 Using Machine Learning and Cloud Computing to Improve the Conventional Method of Deburring in Aerospace Manufacturing Industry', *2019 12th International Conference on Information & Communication Technology and System (ICTS)*, pp. 120–124. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:203605926>.
- Carlsson, B. (1984) 'The development and use of machine tools in historical perspective', *Journal of Economic Behavior & Organization*, 5(1), pp. 91–114. Available at: [https://doi.org/10.1016/0167-2681\(84\)90028-3](https://doi.org/10.1016/0167-2681(84)90028-3).
- Copani, G. (2014) 'Machine Tool Industry: Beyond Tradition?', in *Servitization in Industry*. Cham: Springer International Publishing, pp. 109–130. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-06935-7_7.
- Erturk, A.T. *et al.* (2021) 'A comparative study of mechanical and machining performance of polymer hybrid and carbon fiber epoxy composite materials', *Polymers and Polymer Composites*, 29, pp. S655–S666. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:236406107>.
- Hadas, Z. *et al.* (2020) 'Piezoelectric PVDF Elements and Systems for Mechanical Engineering Applications', in *2020 19th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME)*. IEEE, pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1109/ME49197.2020.9286689>.
- Lewis, M.A. (2019) *Operations Management*. Routledge. Available at: <https://doi.org/10.4324/9781351034982>.
- Mbamba, U.O.L. (2023) 'The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges to the Future of Mechanical Engineering', *Tanzania Journal of Engineering and*

- Technology* [Preprint]. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:257263671>.
- Mikell P. Groover (2008) *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. India: Prentice Hall.
- Nam, V.H., Hoa, P.T.P. and Chi, H. (2019) 'The Orientation for Industrial Development in Revolution 4.0', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:251224581>.
- Nicolás Pérez (2004) *A late version of a Watt double-acting steam engine, built by D. Napier & Son (London) in 1832*, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=195711>. Available at: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=195711> (Accessed: 2 November 2024).
- Saxena, P.K. and Sharma, A. (2014) 'Role of machine tools industry in economic development', *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, 3(5), pp. 188–193.
- Usanov, G.I., Usanov, M.G. and Usanov, I.G. (2022) 'Mechanical Engineering Technology: Resource Saving Methodology', *Scholarly Notes of Komsomolsk-na-Amure State Technical University* [Preprint]. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:114609408>.
- Wenwang, W. *et al.* (2021) 'Mechanical Design, Impact Energy Absorption And Applications Of Auxetic Structures In Automobile Lightweight Engineering', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:240506630>.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Humayatul Ummah Syarif, ST., MT

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Fajar

Penulis lahir di Ujung Padang tanggal 23 Juli 1968. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Fajar. Menyelesaikan pendidikan D3 Politeknik Makassar 1990. Melanjutkan S1 Teknik Mesin Program Ekstension (2000-2003) pada Universitas Hasanuddin. Kuliah S2 (2004-2008) pada Universitas Hasanuddin. Melanjutkan S3 di Universitas Hasanuddin (2011-2015). Melaksanakan Program Sandwich di Universitas Miyasaki Jepang (September-desember 2014). Pengalaman kerja di Bukaka Teknik Utama di Jakarta (1991-1995) sebagai Staff Electrical Engineering, setelah itu bekerja PT. Kalla Electrical System (1995 -1999). Bergabung diorganisasi Persatuan Insinyur Indonesia (PII) dari tahun 2016 -sampai sekarang. Selanjutnya bekerja sebagai Dosen tetap di Prodi Teknik Mesin Sebagai Kaprodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Fajar.

BIODATA PENULIS



Ismayati Sutina Azis, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro
Politeknik ATI Makassar

Penulis lahir di Parepare, Sulawesi Selatan tanggal 5 Maret 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro, Politeknik ATI Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

BIODATA PENULIS



Ir. Syaiful, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Perawatan Mesin
Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

Penulis lahir di Ujung Pandang tanggal 5 Juni 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng, Kementerian Perindustrian. Menyelesaikan pendidikan D3 pada Jurusan Teknik Mesin, melanjutkan S1 pada Jurusan Teknik Mesin, melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan Pendidikan Profesi Insinyur. Penulis menekuni bidang Material, Manufaktur dan Konstruksi Mesin.

BIODATA PENULIS



Shanti Kumbarasari, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Mesin Industri
Politeknik Industri ATMI

Penulis lahir di Blora tanggal 26 Mei 1979. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Mesin Industri Politeknik Industri ATMI. Menyelesaikan pendidikan S1 Universitas Sanata Dharma Yogyakarta pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan S2 Universitas Pancasila pada Jurusan Magister Teknik Manufaktur. Telah menulis buku bersama mengenai

1. *Evaluating Online Learning Challenges and Strategies*,
Novateur Publication
ISBN :978-93-90753-23-9.
2. Elemen Mesin Untuk Teknik Industri
Penerbit Get Press Indonesia
ISBN: 978-623-198-921-5
3. Mekanika Bahan Dalam Teknik Mesin
Penerbit Get Press Indonesia
ISBN: 978-623-125-025-4
4. Material Teknik 2
Penerbit Get Press Indonesia
ISBN : 978-623-125-229-6

BIODATA PENULIS



Muhammad Nuzan Rizki, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh

Penulis lahir di Langsa tanggal 16 Januari 1998. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Malikussaleh. Menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik Mesin dengan bidang Keahlian Konstruksi & Perancangan pada 2019 dan melanjutkan pendidikan Magister Teknik Mesin dengan bidang Keahlian Material & Manufaktur di Universitas Syiah Kuala pada 2020. Saat ini Penulis menekuni bidang penelitian mengenai pengaruh optimasi topologi desain terhadap sifat mekanik material. Penulis menaruh minat yang besar pada upaya merancang produk yang memiliki efisiensi bentuk mekanika paling optimal. Hasil penelitian ini bertujuan agar meningkatkan inovasi dalam konsep desain.