

PENGANTAR **TEKNIK** **MESIN**



Penulis

- Christian Soolany
 - Suryaman
- 

PENGANTAR TEKNIK MESIN

**Christian Soolany
Suryaman**



CV HEI PUBLISHING INDONESIA

PENGANTAR TEKNIK MESIN

Penulis :

Christian Soolany
Suryaman

ISBN : 978-634-7905-39-0

Editor : Fatimah Hanifah, M.T

Penyunting : Ipah Kurnia Putri, S.St

Desain Sampul dan Tata Letak : Namira Umami Khalsum. YB, S.Psi

Penerbit : CV HEI PUBLISHING INDONESIA

Anggota IKAPI No. 034/SBA/2023

Redaksi :

Jl. Air Paku No.29 RSUD Rasidin, Kel. Sungai Sapih, Kec Kuranji
Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.heipublishing.com
Email : heipublishing.id@gmail.com

Cetakan pertama, September 2026

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

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul pengantar teknik mesin dapat diselesaikan. Buku ini berisikan bahasan tentang sejarah dan dasar-dasar teknik mesin, material teknik, mekanika teknik dan termodinamika dan system energi.

Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, September 2026
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
BAB 1	1
SEJARAH DAN DASAR-DASAR TEKNIK MESIN	1
1.1 Sejarah dan Perkembangan Teknik Mesin.....	1
1.2 Pengertian dan Ruang Lingkup Teknik Mesin.....	10
1.3 Prinsip Dasar Sains dan Matematika dalam Teknik Mesin	20
1.4 Cabang dan Bidang Keahlian Teknik Mesin	28
1.5 Peran Teknik Mesin dalam Industri dan Kehidupan	37
DAFTAR PUSTAKA	48
BAB 2	53
MATERIAL TEKNIK.....	53
2.1 Pendahuluan.....	53
2.2 Struktur Atom dan Ikatan Atom	57
2.3 Jenis – Jenis Material Teknik.....	59
2.3.3 Keramik dan Kaca	70
2.3.4 Komposit.....	75
2.3.5 Semikonduktor.....	81
2.3.6 Biomaterial.....	85
2.4 Sifat Mekanik Material	90

2.4.2 Kekerasan Material.....	95
2.4.3 Keuletan dan Ketangguhan	99
2.4.4 Creep.....	102
2.4.5 Fatigue	104
2.5 Proses Pembuatan Material	106
2.5.1 Pembuatan Logam dan Paduan	107
2.5.2 Proses Pembuatan Polimer	108
2.5.3 Proses Pembuatan Keramik dan Kaca	109
2.5.4 Pembuatan Komposit	109
DAFTAR PUSTAKA.....	111
BAB 3.....	113
MEKANIKA TEKNIK	113
3.1 Istilah Mekanika Teknik.....	113
3.2 Dasar-Dasar Mekanika.....	115
3.3 Keseimbangan Statika	126
3.4 Analisis Struktur, Gaya Internal, dan Gaya Gesek.....	131
3.5 Momen Inersia	135
DAFTAR PUSTAKA.....	139
BAB 4.....	141
TERMODINAMIKA DAN SISTEM ENERGI.....	141
4.1 Konsep Dasar Termodinamika	141

4.2 Sistem, Proses, dan Hukum-Hukum Termodinamika.....	149
4.3 Sifat dan Perubahan Energi pada Sistem Teknik	157
4.4 Mesin Kalor dan Sistem Konversi Energi	164
4.5 Penerapan Termodinamika dalam Teknik Mesin	173
DAFTAR PUSTAKA	182
BIODATA PENULIS	

BAB 1

SEJARAH DAN DASAR-DASAR TEKNIK MESIN

1.1 Sejarah dan Perkembangan Teknik Mesin

Teknik mesin merupakan salah satu cabang ilmu keteknikan yang berkembang dari kebutuhan manusia untuk memanfaatkan gaya, energi, material, dan mekanisme dalam menghasilkan pekerjaan yang lebih efektif. Jejak awalnya dapat ditemukan pada penggunaan alat sederhana seperti tuas, roda, bidang miring, katrol, dan roda gigi yang digunakan untuk memindahkan beban serta mengubah bentuk energi. Perkembangan tersebut berlangsung secara bertahap melalui pengalaman manusia dalam mengamati gejala alam dan menciptakan perangkat yang mampu membantu aktivitas sehari-hari. Seiring bertambahnya kebutuhan, prinsip mekanis yang sebelumnya bersifat sederhana mulai dikembangkan menjadi sistem yang lebih kompleks. Perjalanan panjang tersebut kemudian menjadi dasar terbentuknya ilmu teknik mesin sebagai disiplin yang terstruktur dan sistematis (Zhang & Yang, 2020).

Pada masa peradaban kuno, perkembangan teknologi mekanik telah menunjukkan kemampuan manusia dalam memahami hubungan antara gaya, gerak, dan struktur. Masyarakat Mesir, Mesopotamia, Yunani, Romawi, India, dan Tiongkok telah menghasilkan berbagai perangkat yang digunakan untuk konstruksi, pertanian, transportasi,

pengairan, serta kebutuhan militer. Penggunaan roda, poros, katrol, pompa, roda air, dan berbagai mekanisme pengangkat menunjukkan bahwa prinsip dasar teknik mesin telah diterapkan jauh sebelum istilah teknik mesin dikenal secara formal. Pengetahuan tersebut umumnya diperoleh melalui pengamatan, pengalaman praktis, serta proses pewarisan keterampilan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Perkembangan mesin pada masa tersebut menjadi fondasi penting bagi lahirnya teknologi mekanik pada periode selanjutnya (Zhang & Yang, 2020).

Perkembangan mekanika pada zaman Yunani Kuno memberikan kontribusi penting terhadap pemahaman prinsip kerja mesin. Pemikiran mengenai keseimbangan, gaya, tuas, pusat massa, dan gerak benda mulai dikaji secara lebih terarah sehingga penggunaan mesin tidak hanya didasarkan pada pengalaman praktis, tetapi juga mulai dikaitkan dengan penalaran matematis. Tokoh seperti Archimedes memberikan kontribusi besar terhadap perkembangan prinsip mekanika yang kemudian menjadi bagian penting dalam ilmu teknik. Selain itu, berbagai perangkat mekanis yang digunakan untuk mengangkat air, memindahkan beban, dan melakukan pekerjaan konstruksi menunjukkan adanya hubungan erat antara pengetahuan ilmiah dan kebutuhan teknologi. Perkembangan tersebut menjadi salah satu tahap awal menuju penggabungan antara teori mekanika dan penerapan teknologi (Zhang & Yang, 2020).

Pada Abad Pertengahan, perkembangan teknik mesin berlangsung melalui peningkatan kemampuan masyarakat dalam memanfaatkan sumber energi alam, terutama energi

air dan angin. Kincir air digunakan untuk menggiling bahan pangan, menggerakkan peralatan produksi, dan mendukung berbagai kegiatan ekonomi, sedangkan kincir angin mulai dikembangkan untuk memanfaatkan energi angin sebagai sumber tenaga mekanis. Pada periode ini, kegiatan produksi juga berkembang melalui bengkel-bengkel kerajinan yang menghasilkan peralatan dengan tingkat ketelitian yang semakin baik. Perkembangan keterampilan pengerjaan logam, kayu, dan material lainnya memperkuat kemampuan manusia dalam menghasilkan komponen mekanis. Akumulasi pengalaman tersebut menjadi dasar penting bagi perkembangan manufaktur dan mekanisasi pada masa berikutnya (Kumar et al., 2025).

Memasuki masa Renaisans, perkembangan teknologi mekanik semakin dipengaruhi oleh kemajuan ilmu pengetahuan, matematika, dan observasi terhadap fenomena alam. Para ilmuwan dan perancang mulai menghasilkan gambar teknik, rancangan mekanisme, serta kajian terhadap gerakan benda secara lebih sistematis. Leonardo da Vinci menjadi salah satu tokoh yang menunjukkan keterkaitan antara seni, ilmu pengetahuan, dan rekayasa melalui berbagai rancangan mesin, alat pengangkat, mekanisme transmisi, serta konsep kendaraan dan perangkat terbang. Walaupun sebagian rancangan tersebut belum dapat diwujudkan dengan teknologi pada zamannya, pemikirannya menunjukkan perubahan penting dari keterampilan mekanik menuju pendekatan perancangan yang lebih analitis. Perubahan pola berpikir tersebut menjadi salah satu dasar perkembangan teknik mesin modern (Zhang & Yang, 2020).

Perubahan besar dalam sejarah teknik mesin terjadi ketika ilmu pengetahuan mulai berkembang secara intensif pada periode menuju Revolusi Industri. Penemuan dan pengembangan mesin uap menjadi salah satu tonggak penting karena memungkinkan energi panas diubah menjadi energi mekanik secara lebih terkontrol. Mesin uap kemudian digunakan untuk mendukung kegiatan pertambangan, manufaktur, transportasi, dan berbagai aktivitas industri yang sebelumnya sangat bergantung pada tenaga manusia, hewan, air, atau angin. Penggunaan tenaga mekanis dalam skala besar menyebabkan perubahan mendasar terhadap sistem produksi dan mempercepat proses mekanisasi. Revolusi Industri dengan demikian menjadi titik penting yang mengubah teknologi mesin dari perangkat bantu menjadi bagian utama dalam sistem industri modern (Kumar et al., 2025).

Revolusi Industri pertama pada akhir abad ke-18 hingga awal abad ke-19 ditandai oleh berkembangnya mesin uap, mekanisasi produksi, dan perubahan sistem manufaktur. Industri tekstil, pertambangan, transportasi, dan manufaktur mengalami peningkatan kapasitas karena pekerjaan yang sebelumnya dilakukan secara manual mulai digantikan atau dibantu oleh mesin. Kondisi tersebut mendorong kebutuhan terhadap perancangan mesin yang lebih kuat, efisien, aman, dan mudah diproduksi. Para perancang mulai memerlukan pemahaman mengenai kekuatan material, mekanisme gerak, perpindahan energi, serta proses manufaktur. Dari kebutuhan inilah perkembangan teknik mesin semakin bergerak menuju

disiplin ilmu yang menggabungkan pengetahuan teoritis dengan keterampilan praktis (Kumar et al., 2025).

Perkembangan teknik mesin semakin pesat pada Revolusi Industri kedua yang berlangsung terutama pada akhir abad ke-19 hingga awal abad ke-20. Penggunaan energi listrik, berkembangnya mesin pembakaran dalam, produksi massal, serta penerapan sistem perakitan menyebabkan perubahan besar dalam sistem industri. Mesin tidak lagi hanya digunakan untuk menggerakkan peralatan produksi, tetapi juga dikembangkan untuk kendaraan, kapal, pembangkit energi, peralatan rumah tangga, dan berbagai kebutuhan lainnya. Perkembangan tersebut menyebabkan bidang teknik mesin semakin luas karena mencakup perancangan, manufaktur, konversi energi, transportasi, dan pemeliharaan sistem mekanis. Integrasi teknologi tersebut memperkuat kedudukan teknik mesin sebagai salah satu disiplin utama dalam perkembangan industri modern (Kumar et al., 2025).

Pada tahap perkembangan berikutnya, ilmu teknik mesin mulai memperoleh landasan teoritis yang semakin kuat melalui kemajuan matematika, fisika, mekanika, dan ilmu material. Konsep mengenai gaya, tegangan, regangan, termodinamika, perpindahan panas, dinamika fluida, serta mekanika benda padat mulai digunakan untuk menjelaskan perilaku mesin secara kuantitatif. Perubahan ini memungkinkan perancangan dilakukan berdasarkan perhitungan dan analisis, bukan semata-mata berdasarkan pengalaman. Pengembangan teori juga memungkinkan insinyur memperkirakan kemampuan suatu komponen

sebelum dibuat secara fisik. Dengan demikian, teknik mesin berkembang menjadi disiplin ilmiah yang memiliki hubungan erat antara teori dasar, eksperimen, desain, manufaktur, dan evaluasi kinerja (Zhang & Yang, 2020).

Perkembangan pendidikan teknik turut berperan penting dalam pembentukan teknik mesin sebagai profesi dan disiplin akademik. Kebutuhan industri terhadap tenaga ahli yang mampu memahami prinsip mekanika dan merancang mesin mendorong terbentuknya pendidikan teknik yang lebih terstruktur. Pendidikan teknik mesin kemudian mencakup berbagai bidang seperti mekanika, material, termodinamika, manufaktur, desain mesin, energi, dan sistem mekanis. Perubahan dari pembelajaran berbasis keterampilan menuju pendidikan berbasis teori dan analisis menghasilkan generasi insinyur yang mampu mengembangkan teknologi berdasarkan prinsip ilmiah. Perkembangan pendidikan tersebut menjadi bagian penting dalam proses pelembagaan teknik mesin sebagai bidang ilmu yang memiliki standar keilmuan dan profesional (Zhang & Yang, 2020).

Pada abad ke-20, teknik mesin mengalami perkembangan yang semakin luas seiring munculnya teknologi baru dalam bidang transportasi, energi, manufaktur, dan penerbangan. Mesin pembakaran dalam berkembang menjadi komponen penting pada kendaraan bermotor, sementara teknologi turbin dan pembangkit energi berkembang untuk memenuhi kebutuhan energi dalam skala besar. Dalam bidang penerbangan, prinsip aerodinamika, material, propulsi, dan mekanika struktur

digunakan untuk menghasilkan kendaraan yang mampu beroperasi pada kondisi yang semakin kompleks. Teknik mesin juga berperan dalam pengembangan mesin industri, sistem pendingin, peralatan medis, dan berbagai perangkat mekanis lainnya. Perluasan penerapan tersebut memperlihatkan bahwa teknik mesin memiliki cakupan yang sangat luas dalam perkembangan teknologi modern (Zhang & Yang, 2020).

Perkembangan teknologi komputer kemudian membawa perubahan besar terhadap cara insinyur mesin melakukan perancangan, analisis, simulasi, dan pengendalian sistem. Penggunaan perangkat lunak rekayasa memungkinkan model tiga dimensi dibuat secara digital sehingga bentuk dan kinerja suatu komponen dapat dianalisis sebelum proses manufaktur dilakukan. Computer-Aided Design, Computer-Aided Engineering, dan Computer-Aided Manufacturing menjadi bagian penting dalam proses pengembangan produk modern. Pemanfaatan komputer juga mempercepat proses perhitungan dan meningkatkan kemampuan insinyur dalam menguji berbagai alternatif desain. Perubahan tersebut menjadikan teknik mesin semakin terintegrasi dengan teknologi informasi dan sistem komputasi (Groumpos, 2021).

Memasuki era Revolusi Industri ketiga, otomatisasi dan komputerisasi mulai mengubah sistem manufaktur secara signifikan. Mesin produksi tidak lagi hanya bekerja berdasarkan mekanisme mekanis, tetapi mulai dikendalikan oleh sistem elektronik, komputer, sensor, dan perangkat pemrograman. Perkembangan pengendalian numerik, robot

industri, sistem otomatis, dan teknologi komputer meningkatkan kemampuan industri dalam menghasilkan produk secara cepat dan konsisten. Teknik mesin kemudian semakin banyak berinteraksi dengan teknik elektro, informatika, kontrol, dan ilmu komputer. Perpaduan berbagai disiplin tersebut melahirkan sistem manufaktur yang semakin kompleks serta menuntut insinyur mesin memahami teknologi lintas bidang (Kumar et al., 2025).

Revolusi Industri keempat membawa perkembangan teknik mesin menuju sistem yang terhubung secara digital melalui Internet of Things, kecerdasan buatan, robotika, komputasi awan, analisis data, dan sistem siber-fisik. Dalam lingkungan tersebut, mesin dapat dilengkapi sensor untuk mengumpulkan informasi mengenai kondisi operasi dan mengirimkannya kepada sistem pengolah data. Informasi tersebut dapat digunakan untuk melakukan pemantauan, diagnosis, prediksi kerusakan, serta pengoptimalan proses produksi. Peran insinyur mesin tidak lagi terbatas pada perancangan komponen fisik, tetapi juga mencakup integrasi antara mesin, sensor, perangkat lunak, data, dan sistem kendali. Perkembangan tersebut memperluas batas tradisional teknik mesin menuju sistem rekayasa yang lebih cerdas dan terintegrasi (Groumpos, 2021).

Perkembangan terkini menunjukkan bahwa teknik mesin tidak hanya diarahkan pada peningkatan produktivitas, tetapi juga pada efisiensi energi, keberlanjutan, keselamatan, dan hubungan yang lebih baik antara manusia dengan teknologi. Konsep Industri 5.0 menempatkan manusia sebagai bagian penting dalam sistem produksi dengan

mendorong kolaborasi antara manusia dan mesin, termasuk penggunaan robot kolaboratif. Pendekatan tersebut memperlihatkan bahwa perkembangan teknik mesin tidak semata-mata menuju otomatisasi penuh, tetapi juga mempertimbangkan kreativitas manusia, fleksibilitas, kesejahteraan pekerja, dan kebutuhan lingkungan. Oleh karena itu, insinyur mesin masa kini dituntut untuk mempertimbangkan aspek teknis sekaligus aspek sosial dan lingkungan dalam merancang sistem mekanis (Kumar et al., 2025).

Pada perkembangan masa kini, teknik mesin telah menjadi bidang yang mencakup perancangan, analisis, produksi, pengujian, pemeliharaan, dan pengembangan berbagai sistem mekanis yang digunakan dalam kehidupan manusia. Prinsip dasarnya tetap berakar pada mekanika, energi, material, perpindahan panas, fluida, dan proses manufaktur, tetapi penerapannya semakin diperluas melalui integrasi teknologi digital dan kecerdasan buatan. Insinyur mesin bekerja pada berbagai bidang, mulai dari industri manufaktur, otomotif, energi, penerbangan, konstruksi, robotika, hingga teknologi berkelanjutan. Perjalanan sejarah tersebut menunjukkan bahwa teknik mesin selalu berkembang mengikuti kebutuhan masyarakat, kemajuan ilmu pengetahuan, dan perubahan teknologi. Pemahaman terhadap sejarahnya menjadi penting karena memberikan dasar untuk memahami arah perkembangan teknik mesin pada masa depan (Zhang & Yang, 2020).

Secara keseluruhan, sejarah teknik mesin menunjukkan suatu proses panjang dari penggunaan alat sederhana

menuju sistem mekanis yang kompleks, cerdas, terhubung, dan semakin berorientasi pada keberlanjutan. Setiap tahap perkembangan teknologi memberikan kontribusi terhadap terbentuknya pengetahuan baru, mulai dari prinsip mesin sederhana, mekanisasi, mesin uap, mesin pembakaran, elektrifikasi, otomasi, komputerisasi, hingga sistem digital dan kolaboratif. Perubahan tersebut memperlihatkan bahwa teknik mesin bukan ilmu yang berhenti pada bentuk mesin tertentu, melainkan disiplin yang terus menyesuaikan diri dengan kebutuhan manusia dan perkembangan peradaban. Pemahaman sejarah memberikan perspektif bahwa inovasi teknik selalu lahir dari hubungan antara permasalahan, pengetahuan, sumber daya, dan kreativitas manusia. Oleh sebab itu, sejarah dan perkembangan teknik mesin menjadi landasan penting bagi mahasiswa untuk memahami dasar keilmuan sekaligus arah masa depan profesi teknik mesin.

1.2 Pengertian dan Ruang Lingkup Teknik Mesin

Teknik mesin merupakan salah satu cabang ilmu teknik yang mempelajari penerapan prinsip-prinsip fisika, matematika, mekanika, material, energi, dan perancangan untuk menghasilkan sistem mekanis yang dapat digunakan dalam memenuhi kebutuhan manusia. Bidang ini berkaitan dengan proses memahami perilaku benda, gaya, gerak, energi, serta hubungan antarkomponen dalam suatu sistem sehingga dapat menghasilkan mesin yang berfungsi secara aman, efektif, dan andal. Teknik mesin tidak hanya berhubungan dengan pembuatan mesin secara fisik, tetapi juga mencakup proses analisis, perancangan,

pengembangan, pengujian, pengoperasian, dan pemeliharaan sistem mekanis. Karakteristik tersebut menjadikan teknik mesin sebagai bidang ilmu yang memiliki cakupan luas dan berhubungan dengan berbagai sektor kehidupan. Perkembangannya terus mengikuti kebutuhan teknologi dan perubahan sistem industri modern (Bharti, 2023).

Secara konseptual, teknik mesin dapat dipahami sebagai disiplin yang berfokus pada bagaimana suatu sistem mekanis dirancang, bekerja, dibuat, dan dipertahankan kinerjanya selama masa penggunaan. Setiap mesin pada dasarnya merupakan susunan komponen yang saling berhubungan untuk menerima energi, menghasilkan gerakan, memindahkan gaya, atau melaksanakan pekerjaan tertentu. Oleh karena itu, seorang insinyur mesin harus memahami hubungan antara beban, gerak, material, energi, temperatur, dan kondisi lingkungan dalam suatu sistem. Pemahaman tersebut digunakan untuk menentukan bentuk komponen, memilih material, memperkirakan kemampuan kerja, serta memastikan tingkat keamanan dan keandalan mesin. Dengan pendekatan tersebut, teknik mesin tidak hanya mempelajari benda atau alat secara terpisah, tetapi juga memandang mesin sebagai suatu sistem yang harus bekerja secara terpadu (Alghazo et al., 2025).

Ruang lingkup teknik mesin pada dasarnya mencakup seluruh tahapan kehidupan suatu produk atau sistem mekanis, mulai dari munculnya gagasan hingga produk digunakan, dipelihara, dikembangkan, dan pada akhirnya dihentikan penggunaannya. Pada tahap awal, teknik mesin

berperan dalam mengidentifikasi kebutuhan dan menerjemahkannya menjadi konsep teknis yang dapat diwujudkan. Konsep tersebut kemudian dikembangkan melalui proses pemodelan, perhitungan, simulasi, pembuatan prototipe, pengujian, dan penyempurnaan. Setelah rancangan memenuhi persyaratan teknis, proses dilanjutkan menuju manufaktur dan pengoperasian. Pendekatan menyeluruh tersebut menunjukkan bahwa ruang lingkup teknik mesin mencakup aspek konseptual, analitis, praktis, dan manajerial yang saling berkaitan dalam menghasilkan suatu produk rekayasa (Jauregui-Correa & Sen, 2024).

Salah satu bidang utama dalam teknik mesin adalah mekanika, yaitu kajian mengenai gaya, gerak, keseimbangan, serta respons benda terhadap pembebanan. Mekanika menjadi dasar untuk memahami bagaimana suatu komponen mesin dapat bergerak, menahan beban, mengalami deformasi, atau mengalami kegagalan ketika digunakan. Kajian ini mencakup mekanika benda tegar, statika, dinamika, getaran, serta mekanika material yang digunakan dalam menganalisis berbagai bentuk sistem mekanis. Pemahaman mekanika memungkinkan perancang menentukan ukuran dan bentuk komponen berdasarkan kondisi kerja yang diperkirakan. Dengan demikian, mekanika memiliki kedudukan fundamental karena hampir seluruh sistem mesin membutuhkan analisis terhadap gaya dan gerakan agar dapat bekerja secara aman dan sesuai dengan tujuan perancangannya (Alghazo et al., 2025).

Bidang penting berikutnya adalah termodinamika dan perpindahan panas yang berkaitan dengan perubahan,

pemanfaatan, serta pengendalian energi dalam suatu sistem. Termodinamika digunakan untuk memahami hubungan antara panas, kerja, temperatur, tekanan, dan energi dalam berbagai proses teknik. Prinsip tersebut banyak diterapkan pada mesin pembakaran, turbin, kompresor, sistem pendingin, pompa kalor, pembangkit energi, dan berbagai perangkat konversi energi lainnya. Sementara itu, perpindahan panas mempelajari bagaimana energi termal berpindah melalui konduksi, konveksi, dan radiasi serta bagaimana perpindahan tersebut dapat dikendalikan. Penguasaan kedua bidang tersebut memungkinkan insinyur mesin merancang sistem yang mampu mengubah dan memanfaatkan energi secara efisien dengan mempertimbangkan batasan teknis dan kondisi operasional (McClements, 2025).

Mekanika fluida juga menjadi bagian penting dalam ruang lingkup teknik mesin karena banyak sistem rekayasa melibatkan pergerakan zat cair maupun gas. Kajian mekanika fluida digunakan untuk memahami tekanan, kecepatan aliran, turbulensi, hambatan, dan perilaku fluida ketika bergerak melalui saluran maupun berinteraksi dengan permukaan benda. Penerapannya dapat ditemukan pada pompa, turbin, kompresor, sistem perpipaan, mesin pembakaran, kendaraan, pesawat, sistem pendingin, serta berbagai fasilitas industri. Pemahaman terhadap karakteristik fluida memungkinkan perancang menentukan ukuran saluran, kapasitas peralatan, kebutuhan energi, serta kondisi operasi yang sesuai. Dengan demikian, mekanika fluida memperluas ruang lingkup teknik mesin dari kajian benda padat menuju sistem yang

melibatkan interaksi antara benda padat dan fluida (McClements, 2025).

Teknik mesin juga memiliki ruang lingkup yang erat dengan ilmu material karena keberhasilan suatu rancangan sangat bergantung pada kemampuan material dalam menerima beban dan kondisi lingkungan selama pengoperasian. Pemilihan material dilakukan dengan mempertimbangkan kekuatan, kekakuan, ketahanan terhadap temperatur, korosi, keausan, kelelahan, serta karakteristik manufakturnya. Perkembangan material modern turut memperluas kemungkinan desain karena insinyur dapat memanfaatkan logam, polimer, keramik, komposit, material cerdas, hingga material yang dikembangkan untuk aplikasi khusus. Pengetahuan material memungkinkan perancang menyesuaikan karakteristik bahan dengan kebutuhan fungsi komponen sehingga produk dapat memiliki umur pakai yang lebih panjang dan kinerja yang lebih baik. Oleh karena itu, hubungan antara desain mesin dan ilmu material merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam perkembangan teknik mesin (Bharti, 2023).

Perancangan mesin merupakan bidang yang mengintegrasikan berbagai pengetahuan dasar teknik mesin untuk menghasilkan bentuk dan konfigurasi komponen yang memenuhi persyaratan fungsi. Dalam proses perancangan, insinyur harus mempertimbangkan beban, dimensi, material, metode produksi, keselamatan, biaya, efisiensi, serta kemudahan perawatan. Perkembangan perangkat lunak Computer-Aided Design dan Computer-Aided Engineering memungkinkan rancangan divisualisasikan dalam bentuk tiga

dimensi serta dianalisis melalui simulasi sebelum dibuat secara nyata. Teknologi tersebut mempercepat proses pengembangan produk sekaligus membantu mengidentifikasi potensi kelemahan rancangan sejak tahap awal. Dengan demikian, perancangan mesin bukan sekadar kegiatan menggambar bentuk suatu benda, melainkan proses pengambilan keputusan teknis yang menggabungkan kreativitas, analisis, pengalaman, dan pertimbangan terhadap kebutuhan pengguna (Alghazo et al., 2025).

Ruang lingkup teknik mesin selanjutnya mencakup proses manufaktur yang berhubungan dengan bagaimana rancangan diubah menjadi produk nyata. Pengetahuan manufaktur diperlukan untuk menentukan cara suatu material dipotong, dibentuk, disambung, dicetak, dikerjakan, atau diproduksi melalui teknologi tertentu. Perkembangan manufaktur modern mencakup pemesinan presisi, otomatisasi produksi, robotika, manufaktur aditif, serta sistem produksi berbasis data. Pemilihan proses manufaktur harus mempertimbangkan bentuk produk, jenis material, tingkat ketelitian, jumlah produksi, waktu pengerjaan, biaya, dan kualitas yang diharapkan. Oleh sebab itu, teknik mesin memiliki hubungan yang sangat kuat dengan dunia produksi karena keberhasilan sebuah desain pada akhirnya harus diwujudkan melalui proses manufaktur yang tepat dan terkendali (Guo et al., 2024).

Bidang energi juga menjadi bagian penting dari teknik mesin karena kebutuhan manusia terhadap energi terus meningkat dan menuntut sistem konversi yang semakin efisien. Insinyur mesin berperan dalam merancang,

menganalisis, dan mengembangkan berbagai sistem yang menghasilkan, mengubah, menyimpan, maupun memanfaatkan energi. Penerapannya mencakup mesin pembakaran, turbin, pembangkit listrik, sistem pendingin, kendaraan listrik, teknologi energi terbarukan, serta berbagai perangkat penyimpanan dan konversi energi. Perkembangan menuju energi yang lebih bersih juga mendorong teknik mesin untuk mengembangkan sistem dengan konsumsi energi yang lebih rendah dan dampak lingkungan yang lebih kecil. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa ruang lingkup teknik mesin tidak hanya berorientasi pada peningkatan kemampuan mesin, tetapi juga pada efisiensi dan keberlanjutan penggunaan energi (McClements, 2025).

Perkembangan teknik mesin modern juga memperluas cakupan bidang ini ke dalam otomasi, robotika, mekatronika, dan sistem kendali. Mesin yang sebelumnya bekerja berdasarkan mekanisme mekanis sederhana kini dapat dilengkapi sensor, aktuator, perangkat elektronik, dan sistem komputer yang memungkinkan pengoperasian secara otomatis. Robot industri, kendaraan otonom, sistem produksi cerdas, dan perangkat mekanis otomatis merupakan contoh hasil integrasi antara prinsip teknik mesin dengan bidang teknologi lainnya. Integrasi tersebut menuntut insinyur mesin memahami tidak hanya mekanika dan desain, tetapi juga sistem kendali, pemrograman, sensor, serta pengolahan informasi. Perkembangan ini memperlihatkan bahwa batas ruang lingkup teknik mesin semakin terbuka dan berkembang melalui hubungan erat dengan disiplin teknik lainnya (Alghazo et al., 2025).

Ruang lingkup teknik mesin juga mencakup bidang otomotif dan transportasi yang memanfaatkan prinsip mekanika, energi, material, aerodinamika, serta desain sistem untuk menghasilkan kendaraan yang aman dan efisien. Insinyur mesin terlibat dalam pengembangan mesin, sistem transmisi, sistem suspensi, sistem pengereman, struktur kendaraan, sistem termal, hingga pengembangan kendaraan listrik. Perubahan teknologi transportasi menyebabkan perhatian terhadap efisiensi energi, pengurangan emisi, penggunaan material ringan, dan sistem kendaraan cerdas semakin meningkat. Perkembangan kendaraan listrik juga mendorong munculnya kebutuhan terhadap pengelolaan panas baterai, desain sistem penggerak, serta integrasi perangkat mekanis dan elektronik. Kondisi tersebut menjadikan bidang transportasi sebagai salah satu ruang penerapan teknik mesin yang terus mengalami perubahan dan inovasi (Bharti, 2023).

Dalam bidang manufaktur modern, teknik mesin semakin berhubungan dengan konsep industri cerdas yang memanfaatkan data, sensor, kecerdasan buatan, otomatisasi, dan sistem terintegrasi. Mesin produksi dapat dirancang untuk mengumpulkan data kondisi operasi sehingga kinerja peralatan dapat dipantau dan dianalisis secara berkelanjutan. Informasi tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi gangguan, memperkirakan kebutuhan pemeliharaan, meningkatkan kualitas produk, serta mengoptimalkan penggunaan energi dan material. Perubahan ini menyebabkan seorang insinyur mesin perlu memahami teknologi digital sebagai bagian dari kemampuan

profesionalnya. Dengan demikian, ruang lingkup teknik mesin pada era industri modern tidak lagi terbatas pada komponen fisik, tetapi juga mencakup pengelolaan informasi yang mendukung pengoperasian sistem mekanis secara lebih cerdas dan efisien (Alghazo et al., 2025).

Kecerdasan buatan menjadi salah satu perkembangan baru yang memberikan pengaruh terhadap ruang lingkup teknik mesin, terutama dalam perancangan, simulasi, manufaktur, diagnosis kerusakan, dan pemeliharaan. Teknologi kecerdasan buatan dapat membantu menganalisis data dalam jumlah besar, mengenali pola, melakukan prediksi, serta mendukung proses pengambilan keputusan teknis. Dalam sistem mekanis, kemampuan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi kegagalan komponen, mengoptimalkan parameter produksi, meningkatkan ketepatan simulasi, dan membantu pengembangan rancangan baru. Penggunaan kecerdasan buatan tidak menggantikan prinsip dasar teknik mesin, melainkan memperkuat kemampuan analisis dan pemecahan masalah yang dimiliki insinyur. Oleh karena itu, perkembangan teknologi digital menuntut perluasan kompetensi teknik mesin agar mampu mengintegrasikan pengetahuan mekanis dengan kemampuan komputasi dan analisis data (Alghazo et al., 2025).

Ruang lingkup teknik mesin pada akhirnya mencakup pula aspek keberlanjutan, keselamatan, ekonomi, dan dampak sosial dari suatu teknologi. Sebuah mesin tidak dapat dinilai hanya berdasarkan kemampuan menghasilkan tenaga atau menyelesaikan pekerjaan, tetapi juga harus

dipertimbangkan berdasarkan konsumsi energi, penggunaan material, emisi, biaya pengoperasian, keselamatan pengguna, serta kemudahan pemeliharannya. Pendekatan tersebut mendorong insinyur untuk menghasilkan solusi yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga bertanggung jawab terhadap lingkungan dan masyarakat. Perubahan kebutuhan industri dan perkembangan teknologi menyebabkan pendidikan teknik mesin juga perlu memberikan perhatian lebih besar terhadap kemampuan berpikir lintas disiplin. Dengan demikian, ruang lingkup teknik mesin semakin berkembang dari sekadar penguasaan mesin menuju kemampuan menciptakan solusi rekayasa yang menyeluruh dan berkelanjutan (Jauregui-Correa & Sen, 2024).

Berdasarkan keseluruhan pembahasan tersebut, teknik mesin dapat dipahami sebagai disiplin ilmu yang memiliki ruang lingkup sangat luas karena mencakup mekanika, material, energi, termodinamika, fluida, desain, manufaktur, otomasi, robotika, transportasi, hingga teknologi digital dan kecerdasan buatan. Seluruh bidang tersebut saling terhubung dalam suatu proses rekayasa yang bertujuan menghasilkan sistem yang mampu memenuhi kebutuhan manusia secara aman, efisien, andal, dan berkelanjutan. Perkembangan teknologi menyebabkan batas antara teknik mesin dengan disiplin lainnya semakin terbuka sehingga kemampuan kolaborasi dan pemahaman lintas bidang menjadi semakin penting. Insinyur mesin masa kini tidak hanya dituntut mampu memahami cara kerja mesin, tetapi juga mampu merancang solusi terhadap persoalan teknologi yang semakin kompleks. Pemahaman terhadap pengertian dan

ruang lingkup tersebut menjadi dasar penting bagi mahasiswa untuk mempelajari berbagai cabang teknik mesin secara lebih terarah.

1.3 Prinsip Dasar Sains dan Matematika dalam Teknik Mesin

Teknik mesin merupakan bidang rekayasa yang dibangun di atas keterpaduan ilmu sains dan matematika sebagai dasar untuk memahami, menganalisis, serta merancang berbagai sistem mekanis. Fenomena seperti gerak benda, gaya, energi, temperatur, tekanan, aliran fluida, dan perubahan bentuk material harus dapat dijelaskan melalui prinsip ilmiah yang terukur. Matematika digunakan untuk menerjemahkan fenomena tersebut ke dalam persamaan sehingga hubungan antara berbagai variabel dapat dianalisis secara sistematis. Penguasaan prinsip dasar tersebut memungkinkan seorang insinyur memahami permasalahan teknis secara logis sebelum menentukan solusi yang sesuai. Oleh karena itu, sains dan matematika menjadi fondasi utama yang mendukung hampir seluruh kegiatan dalam bidang teknik mesin (Hibbeler, 2022). ↕

Matematika dalam teknik mesin berfungsi sebagai bahasa untuk menggambarkan hubungan kuantitatif yang terjadi pada suatu sistem teknik. Konsep aritmetika, aljabar, geometri, trigonometri, kalkulus, persamaan diferensial, aljabar linear, statistik, dan metode numerik digunakan sesuai dengan karakteristik persoalan yang dihadapi. Kalkulus digunakan untuk menganalisis perubahan besaran terhadap waktu atau posisi, sedangkan aljabar linear banyak digunakan

dalam penyelesaian sistem persamaan dan pemodelan berbagai fenomena rekayasa. Persamaan diferensial diperlukan ketika suatu sistem melibatkan perubahan yang berlangsung secara kontinu, seperti getaran, perpindahan panas, dan dinamika fluida. Dengan demikian, kemampuan matematika memberikan dasar analitis agar persoalan teknik dapat diterjemahkan menjadi bentuk yang dapat dihitung dan diprediksi (James & Dyke, 2020).

Fisika merupakan landasan sains yang sangat penting karena sebagian besar permasalahan teknik mesin berkaitan langsung dengan hukum-hukum fisika. Konsep mengenai gerak, gaya, momentum, energi, tekanan, temperatur, listrik, dan gelombang menjadi dasar untuk menjelaskan perilaku berbagai perangkat mekanis. Melalui fisika, mahasiswa teknik mesin memahami bahwa suatu mesin bekerja berdasarkan interaksi antara berbagai besaran yang mengikuti hukum tertentu dan dapat diukur. Pemahaman tersebut kemudian dikembangkan dalam mata kuliah teknik yang lebih khusus, seperti mekanika teknik, termodinamika, mekanika fluida, dan perpindahan panas. Hubungan antara fisika dasar dan bidang teknik tersebut menjadikan penguasaan konsep fisika sebagai bagian penting dalam pembentukan kemampuan analitis seorang calon insinyur (Serway & Jewett, 2021).

Konsep pengukuran merupakan bagian mendasar dalam penerapan sains dan matematika pada teknik mesin karena setiap analisis teknik membutuhkan besaran yang dapat dinyatakan secara kuantitatif. Besaran panjang, massa, waktu, temperatur, tekanan, gaya, energi, dan daya harus dinyatakan menggunakan satuan yang konsisten agar hasil

perhitungan dapat dipertanggungjawabkan. Kesalahan dalam menentukan satuan atau melakukan konversi dapat menyebabkan kesalahan yang signifikan pada hasil perancangan maupun evaluasi suatu mesin. Oleh sebab itu, pemahaman terhadap sistem satuan, dimensi, angka penting, ketelitian, dan ketidakpastian pengukuran menjadi bagian penting dalam pekerjaan teknik. Kemampuan tersebut membantu insinyur memastikan bahwa data eksperimen dan hasil perhitungan memiliki makna fisik yang benar (Hibbeler, 2022).

Vektor menjadi konsep matematika yang sangat penting dalam teknik mesin karena banyak besaran mekanis memiliki besar sekaligus arah. Gaya, kecepatan, percepatan, momentum, dan perpindahan merupakan contoh besaran yang harus dianalisis menggunakan pendekatan vektor. Operasi penjumlahan, pengurangan, perkalian skalar, dan perkalian vektor memungkinkan berbagai gaya dan gerakan yang bekerja pada suatu benda direpresentasikan secara matematis. Konsep tersebut menjadi dasar dalam analisis kesetimbangan, gerak benda, mekanisme mesin, struktur, serta berbagai sistem mekanis lainnya. Pemahaman vektor membantu mahasiswa melihat persoalan teknik secara geometris sekaligus matematis sehingga hubungan antarbesaran dapat dianalisis secara lebih tepat (Hibbeler, 2022).

Mekanika merupakan salah satu penerapan paling mendasar dari prinsip sains dan matematika dalam teknik mesin. Mekanika mempelajari keadaan benda yang diam maupun bergerak serta pengaruh gaya yang bekerja

terhadap kondisi tersebut. Statika digunakan ketika sistem berada dalam keadaan keseimbangan, sedangkan dinamika digunakan untuk menganalisis gerakan benda dan perubahan gerak akibat gaya. Prinsip Newton menjadi dasar dalam menghubungkan gaya dengan massa dan percepatan sehingga perilaku sistem mekanis dapat dihitung secara kuantitatif. Penerapan prinsip tersebut sangat luas, mulai dari analisis struktur mesin, poros, roda gigi, mekanisme penggerak, hingga kendaraan dan berbagai peralatan industri (Hibbeler, 2023).

Hukum kekekalan energi merupakan prinsip sains yang sangat penting dalam analisis mesin karena energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, melainkan dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Dalam sistem teknik, energi dapat hadir sebagai energi mekanik, termal, listrik, kimia, maupun bentuk lainnya yang saling berinteraksi selama proses berlangsung. Prinsip tersebut digunakan untuk menghitung kebutuhan energi, kerja yang dihasilkan, efisiensi mesin, serta kehilangan energi selama proses konversi. Penerapannya dapat ditemukan pada mesin pembakaran, turbin, kompresor, pompa, sistem pendingin, dan pembangkit energi. Pemahaman terhadap konsep energi memungkinkan insinyur mengevaluasi kinerja sistem sekaligus mencari cara untuk meningkatkan efisiensi penggunaannya (Çengel et al., 2022).

Termodinamika merupakan cabang ilmu yang menerapkan prinsip fisika dan matematika untuk mempelajari energi, panas, kerja, temperatur, dan perubahan keadaan suatu sistem. Dalam teknik mesin, termodinamika digunakan

untuk memahami bagaimana energi berpindah dan dikonversikan dalam berbagai perangkat teknik. Konsep sistem terbuka dan tertutup, hukum pertama dan kedua termodinamika, entalpi, entropi, serta efisiensi menjadi dasar untuk menganalisis berbagai mesin dan peralatan energi. Persamaan matematika digunakan untuk menggambarkan hubungan antara tekanan, volume, temperatur, dan energi selama proses berlangsung. Dengan demikian, termodinamika menjadi salah satu dasar penting dalam perancangan dan evaluasi sistem konversi energi pada teknik mesin (Çengel et al., 2022).

Mekanika fluida merupakan penerapan prinsip sains yang digunakan untuk memahami perilaku zat cair dan gas ketika berada dalam keadaan diam maupun bergerak. Persamaan kontinuitas, prinsip momentum, dan persamaan energi digunakan untuk menganalisis hubungan antara tekanan, kecepatan, massa jenis, dan kondisi aliran. Konsep matematika tersebut diterapkan dalam perancangan pompa, turbin, kompresor, sistem perpipaan, saluran, sistem pendingin, serta berbagai perangkat yang melibatkan aliran fluida. Analisis fluida juga memerlukan pemahaman terhadap kondisi aliran, kehilangan energi, gesekan, dan perubahan tekanan sepanjang sistem. Oleh karena itu, kemampuan menghubungkan hukum fisika dengan persamaan matematika menjadi dasar penting dalam memahami dan merancang sistem berbasis fluida (Çengel et al., 2020).

Perpindahan panas juga menunjukkan hubungan yang erat antara prinsip sains dan matematika dalam teknik mesin. Panas dapat berpindah melalui konduksi, konveksi, dan

radiasi, yang masing-masing memiliki mekanisme serta persamaan matematis berbeda. Analisis perpindahan panas digunakan untuk menentukan laju perpindahan energi termal, distribusi temperatur, serta kebutuhan sistem pendinginan atau pemanasan. Penerapannya dapat ditemukan pada mesin kendaraan, penukar kalor, sistem pendingin, tungku industri, pembangkit energi, dan perangkat elektronik. Pemahaman mengenai sifat material, temperatur, luas permukaan, koefisien perpindahan panas, dan kondisi lingkungan memungkinkan insinyur merancang sistem termal yang aman dan efisien (Çengel et al., 2021).

Matematika juga memiliki peranan penting dalam memahami kekuatan dan perilaku material yang digunakan pada mesin. Ketika suatu komponen menerima beban, material dapat mengalami tegangan, regangan, deformasi, dan pada kondisi tertentu mengalami kegagalan. Hubungan antara gaya, luas penampang, tegangan, regangan, dan sifat material dinyatakan melalui persamaan matematika yang memungkinkan kemampuan suatu komponen diperkirakan sebelum digunakan. Analisis tersebut penting dalam menentukan dimensi dan bentuk komponen agar mampu menahan beban kerja dengan tingkat keamanan yang memadai. Dengan demikian, penerapan matematika dalam mekanika material membantu menghubungkan karakteristik bahan dengan kebutuhan desain suatu mesin (Hibbeler, 2023).

Persamaan diferensial menjadi salah satu perangkat matematika yang penting ketika teknik mesin berhadapan dengan sistem yang berubah terhadap waktu atau posisi.

Getaran mekanis, perpindahan panas, aliran fluida, dinamika kendaraan, dan sistem kendali merupakan contoh persoalan yang dapat dinyatakan melalui persamaan diferensial. Penyelesaian persamaan tersebut memberikan informasi mengenai respons suatu sistem terhadap perubahan kondisi maupun gangguan yang terjadi selama operasi. Dalam praktiknya, penyelesaian dapat dilakukan secara analitis maupun menggunakan pendekatan numerik ketika bentuk persoalan terlalu kompleks untuk diselesaikan secara langsung. Kemampuan memahami persamaan diferensial menjadi penting karena banyak fenomena mekanis bersifat dinamis dan tidak dapat dijelaskan hanya melalui hubungan aljabar sederhana (James & Dyke, 2020).

Metode numerik menjadi semakin penting dalam teknik mesin karena perkembangan teknologi komputer memungkinkan penyelesaian persoalan rekayasa yang kompleks melalui perhitungan digital. Ketika suatu model matematis tidak dapat diselesaikan secara sederhana, metode numerik dapat digunakan untuk memperoleh pendekatan solusi dengan tingkat ketelitian tertentu. Analisis numerik banyak digunakan dalam simulasi struktur, dinamika fluida, perpindahan panas, getaran, desain mesin, dan optimasi. Penggunaan komputer juga memungkinkan insinyur melakukan pengujian terhadap berbagai kondisi tanpa harus selalu membuat prototipe fisik pada tahap awal. Dengan demikian, matematika numerik menjadi penghubung antara teori ilmiah dan pemodelan komputer dalam proses rekayasa modern (Hibbeler, 2024).

Statistika dan probabilitas turut memiliki peranan dalam teknik mesin, terutama ketika seorang insinyur harus menghadapi data eksperimen, variasi produksi, ketidakpastian pengukuran, dan keandalan komponen. Data hasil pengujian tidak selalu menghasilkan nilai yang sama karena dipengaruhi oleh variasi material, kondisi lingkungan, ketelitian alat, dan proses manufaktur. Melalui statistika, data tersebut dapat diolah untuk mengetahui kecenderungan, penyebaran, hubungan antarvariabel, dan tingkat kepercayaan terhadap suatu hasil. Pendekatan statistik juga digunakan dalam pengendalian kualitas, pengembangan produk, analisis keandalan, dan optimasi proses produksi. Pemanfaatan statistika membuat pengambilan keputusan teknik menjadi lebih objektif karena didasarkan pada analisis data yang terukur (Montgomery, 2020).

Penerapan sains dan matematika dalam teknik mesin pada akhirnya membentuk suatu proses berpikir rekayasa yang sistematis, mulai dari mengidentifikasi masalah, menentukan variabel, membangun model, melakukan perhitungan, menguji hasil, hingga menentukan solusi. Prinsip ilmiah memberikan dasar untuk memahami mengapa suatu fenomena terjadi, sedangkan matematika menyediakan alat untuk menyatakan dan menghitung hubungan antarfenomena tersebut. Keduanya kemudian dipadukan dengan pengetahuan desain, material, manufaktur, komputer, dan pengalaman teknis untuk menghasilkan produk yang dapat diterapkan dalam kehidupan nyata. Kurikulum teknik mesin modern juga menunjukkan keterkaitan yang kuat antara matematika, fisika, analisis

numerik, mekanika, termodinamika, fluida, dan desain sebagai dasar pembentukan kompetensi mahasiswa. Dengan demikian, penguasaan sains dan matematika merupakan fondasi yang menentukan kemampuan seseorang dalam memahami dan mengembangkan teknologi mesin secara bertanggung jawab.

1.4 Cabang dan Bidang Keahlian Teknik Mesin

Teknik mesin merupakan salah satu bidang keteknikan yang memiliki cakupan keilmuan sangat luas karena berhubungan dengan perancangan, analisis, pembuatan, pengoperasian, dan pemeliharaan berbagai sistem mekanis. Perkembangan teknologi menyebabkan teknik mesin tidak lagi hanya berfokus pada mesin konvensional, tetapi juga mencakup sistem energi, manufaktur, material, robotika, otomasi, transportasi, serta teknologi digital. Setiap cabang memiliki karakteristik dan permasalahan tersendiri, tetapi seluruhnya tetap berlandaskan prinsip mekanika, energi, material, matematika, dan fisika. Keberagaman tersebut menjadikan teknik mesin sebagai bidang yang dapat diterapkan pada hampir seluruh sektor industri dan kehidupan manusia. Oleh karena itu, pemahaman mengenai cabang dan bidang keahlian menjadi dasar penting untuk mengenali luasnya peran teknik mesin dalam perkembangan teknologi modern (Kumar et al., 2025).

Salah satu cabang utama teknik mesin adalah bidang sistem mekanikal yang berfokus pada perancangan, analisis, dan pengembangan berbagai sistem yang melibatkan komponen mekanis. Bidang ini mencakup elemen mesin,

mekanika, dinamika, getaran, mekanisme, serta perancangan sistem mekanis yang digunakan untuk menghasilkan atau mentransmisikan gerak dan gaya. Insinyur pada bidang ini harus mampu menentukan bentuk, ukuran, material, serta konfigurasi komponen berdasarkan beban dan kondisi kerja yang dihadapi. Perancangan juga harus mempertimbangkan keamanan, keandalan, efisiensi, kemudahan manufaktur, dan pemeliharaan. Dengan demikian, bidang sistem mekanikal menjadi salah satu fondasi utama dalam menghasilkan mesin yang mampu bekerja secara optimal dalam kondisi operasional yang ditentukan (Hibbeler, 2023).

Bidang desain dan konstruksi mesin merupakan bagian penting dari teknik mesin karena berhubungan langsung dengan proses mengubah kebutuhan teknis menjadi produk atau sistem yang dapat diwujudkan. Kegiatan dalam bidang ini meliputi pengembangan konsep, pemodelan geometris, analisis pembebanan, pemilihan material, perhitungan dimensi, hingga evaluasi keamanan rancangan. Perkembangan perangkat lunak desain berbantuan komputer memungkinkan proses perancangan dilakukan secara lebih cepat, akurat, dan terintegrasi dengan simulasi teknik. Seorang ahli desain mesin harus mampu memahami hubungan antara bentuk komponen, fungsi, gaya yang bekerja, proses manufaktur, serta umur pemakaian produk. Oleh sebab itu, bidang desain mesin membutuhkan perpaduan antara kemampuan analitis, kreativitas, pemahaman material, dan penguasaan teknologi digital (Alghazo et al., 2025).

Cabang teknik mesin yang berkaitan dengan energi dikenal sebagai teknik energi atau konversi energi yang mempelajari proses perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Bidang ini mencakup mesin kalor, turbin, kompresor, pompa, sistem pembangkit, sistem pendingin, serta berbagai teknologi energi lainnya. Analisis termodinamika dan perpindahan panas digunakan untuk mengetahui kinerja sistem sekaligus menentukan tingkat efisiensi energi yang dapat dicapai. Perkembangan kebutuhan energi mendorong bidang ini untuk tidak hanya mengembangkan teknologi berbasis bahan bakar konvensional, tetapi juga mengembangkan pemanfaatan energi terbarukan dan teknologi rendah emisi. Keahlian dalam bidang energi menjadi semakin penting karena tuntutan terhadap efisiensi dan keberlanjutan sistem energi terus meningkat (Çengel et al., 2022).

Bidang termal merupakan salah satu keahlian yang berfokus pada fenomena panas, temperatur, energi, serta proses perpindahan energi termal dalam suatu sistem. Kajian ini mencakup termodinamika, perpindahan panas, mesin kalor, sistem refrigerasi, pengkondisian udara, dan pengelolaan panas pada berbagai perangkat teknik. Sistem termal banyak ditemukan pada kendaraan, pembangkit listrik, bangunan, mesin industri, dan berbagai perangkat yang menghasilkan atau membutuhkan pengendalian temperatur. Insinyur yang bekerja dalam bidang ini harus mampu melakukan analisis energi dan temperatur untuk menentukan kondisi operasi yang aman serta efisien. Pengembangan teknologi termal juga semakin diarahkan pada peningkatan

efisiensi dan pengurangan kehilangan energi dalam berbagai proses industri (Çengel et al., 2021).

Mekanika fluida menjadi bidang keahlian tersendiri karena banyak mesin dan instalasi teknik bekerja dengan melibatkan aliran cairan maupun gas. Bidang ini mempelajari hubungan antara tekanan, kecepatan, massa jenis, viskositas, dan energi dalam suatu sistem aliran. Penerapannya meliputi desain pompa, kompresor, turbin, sistem perpipaan, saluran fluida, sistem hidrolik, sistem pneumatik, serta berbagai perangkat yang memanfaatkan aliran fluida. Analisis mekanika fluida juga digunakan dalam bidang kendaraan dan penerbangan untuk mempelajari interaksi antara aliran udara dengan permukaan benda. Penguasaan bidang ini memungkinkan insinyur menentukan rancangan sistem aliran yang mampu bekerja secara stabil, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan operasional (Çengel et al., 2020).

Bidang manufaktur merupakan cabang yang berhubungan dengan proses mengubah bahan baku menjadi produk atau komponen yang memiliki bentuk, ukuran, dan kualitas tertentu. Keahlian manufaktur mencakup proses pemesinan, pengecoran, pembentukan, pengelasan, penyambungan, pencetakan, manufaktur aditif, serta berbagai teknologi produksi modern. Dalam praktiknya, seorang ahli manufaktur harus memahami karakteristik material sekaligus kemampuan dan keterbatasan mesin produksi yang digunakan. Perkembangan manufaktur digital memungkinkan proses produksi semakin terintegrasi dengan desain berbantuan komputer, otomasi, robotika, dan sistem pengendalian berbasis data. Oleh karena itu, bidang

manufaktur memiliki peranan penting dalam menjembatani rancangan teknik dengan produk nyata yang dapat digunakan oleh masyarakat dan industri (Groover, 2020).

Teknik material merupakan bidang yang berhubungan dengan pemilihan, karakterisasi, pengolahan, dan pemanfaatan material untuk kebutuhan sistem mekanis. Material yang digunakan dalam teknik mesin dapat berupa logam, polimer, keramik, komposit, maupun material dengan karakteristik khusus yang dikembangkan untuk aplikasi tertentu. Pemilihan material harus mempertimbangkan kekuatan, kekakuan, ketahanan terhadap temperatur, korosi, keausan, kelelahan, serta kemampuan material untuk diproses menjadi komponen. Perkembangan teknologi material memungkinkan terciptanya komponen yang lebih ringan, kuat, tahan lama, dan sesuai dengan kebutuhan desain modern. Dengan demikian, keahlian material menjadi bagian penting dalam memastikan bahwa suatu mesin memiliki kinerja dan umur penggunaan yang sesuai dengan tujuan perancangannya (Callister & Rethwisch, 2020).

Bidang produksi dan sistem manufaktur memiliki cakupan yang lebih luas karena tidak hanya membahas proses pembuatan komponen, tetapi juga bagaimana keseluruhan proses produksi direncanakan dan dikendalikan. Keahlian ini mencakup perencanaan proses, pengendalian kualitas, pengukuran, metrologi, pengaturan aliran material, efisiensi produksi, serta pengelolaan sistem produksi. Dalam industri modern, proses tersebut semakin banyak menggunakan sensor, komputer, robot, dan sistem informasi untuk meningkatkan produktivitas serta mengurangi

kesalahan. Insinyur mesin pada bidang ini dituntut mampu menghubungkan aspek teknis dengan kebutuhan operasional dan ekonomi suatu sistem produksi. Kemampuan tersebut menjadikan bidang produksi sebagai salah satu bagian penting dalam pengembangan industri yang kompetitif dan berorientasi pada kualitas (Kumar et al., 2025).

Mekatronika merupakan bidang yang berkembang melalui integrasi teknik mesin dengan elektronika, sistem kendali, sensor, aktuator, dan pemrograman. Kehadiran mekatronika memungkinkan mesin memiliki kemampuan untuk mendeteksi kondisi lingkungan, mengambil keputusan berdasarkan data, dan melakukan tindakan secara otomatis. Sistem seperti robot industri, mesin otomatis, kendaraan cerdas, dan perangkat produksi modern banyak menggunakan prinsip mekatronika dalam pengoperasiannya. Insinyur mesin yang mendalami bidang ini perlu memahami mekanisme sekaligus dasar elektronika dan pengendalian agar dapat merancang sistem yang terintegrasi. Perkembangan tersebut memperlihatkan bahwa teknik mesin semakin bersifat multidisipliner dan membutuhkan kemampuan untuk bekerja bersama bidang teknik lainnya (Alghazo et al., 2025).

Robotika menjadi salah satu bidang keahlian yang semakin berkembang dalam teknik mesin karena robot pada dasarnya merupakan sistem mekanis yang membutuhkan struktur, aktuator, mekanisme gerak, sensor, dan sistem kendali. Teknik mesin berperan dalam merancang bentuk robot, mekanisme pergerakan, sistem transmisi, struktur, serta kemampuan robot dalam menerima dan meneruskan

gaya. Penerapan robotika dapat ditemukan pada industri manufaktur, logistik, kesehatan, eksplorasi, pertanian, dan berbagai lingkungan kerja yang membutuhkan tingkat ketelitian atau keselamatan tertentu. Perkembangan robot kolaboratif juga mendorong kebutuhan terhadap desain mekanis yang aman ketika robot berinteraksi secara langsung dengan manusia. Oleh sebab itu, robotika menjadi salah satu bidang yang memperluas penerapan teknik mesin menuju sistem otomatis yang semakin cerdas (Siciliano & Khatib, 2020).

Bidang otomotif merupakan salah satu area penerapan teknik mesin yang sangat luas karena kendaraan terdiri atas berbagai sistem mekanis, termal, fluida, material, dan kontrol yang saling berhubungan. Keahlian teknik mesin dalam bidang ini mencakup mesin penggerak, transmisi, sistem pengereman, suspensi, sistem pendinginan, struktur kendaraan, serta berbagai sistem pendukung lainnya. Perkembangan kendaraan listrik juga menghasilkan kebutuhan baru terhadap penguasaan sistem termal baterai, motor listrik, struktur ringan, dan integrasi sistem mekanis dengan elektronik. Perubahan tersebut membuat bidang otomotif terus berkembang dari kendaraan berbasis mesin pembakaran menuju sistem transportasi yang lebih efisien dan rendah emisi. Keahlian teknik mesin tetap memiliki peranan penting dalam setiap tahap perkembangan tersebut karena kendaraan tetap membutuhkan sistem mekanis yang aman dan andal (Heidari et al., 2024).

Teknik penerbangan dan kedirgantaraan juga memiliki hubungan erat dengan teknik mesin, khususnya dalam

bidang mekanika, material, termodinamika, perpindahan panas, dan dinamika fluida. Pengembangan pesawat dan sistem penerbangan membutuhkan analisis struktur yang mampu menahan beban, desain sistem propulsi, pengendalian temperatur, serta pemahaman terhadap aliran udara pada berbagai kondisi. Keahlian teknik mesin digunakan untuk memastikan bahwa komponen dan sistem mampu bekerja pada kondisi operasi yang kompleks dengan tingkat keselamatan yang tinggi. Selain pesawat, prinsip tersebut juga diterapkan pada kendaraan udara tanpa awak, sistem propulsi, dan berbagai teknologi penerbangan modern. Perkembangan teknologi kedirgantaraan menunjukkan bahwa kemampuan teknik mesin dapat diterapkan pada lingkungan yang menuntut ketelitian, keandalan, dan efisiensi sangat tinggi (Anderson, 2021).

Bidang pemeliharaan dan keandalan mesin merupakan bagian penting dalam memastikan suatu sistem mekanis dapat beroperasi secara aman dan berkelanjutan selama masa penggunaannya. Keahlian ini mencakup inspeksi, diagnosis kerusakan, analisis kegagalan, pemantauan kondisi, pelumasan, perawatan preventif, serta strategi pemeliharaan berbasis prediksi. Perkembangan sensor dan analisis data memungkinkan kondisi mesin dipantau secara terus-menerus sehingga potensi gangguan dapat diketahui sebelum berkembang menjadi kerusakan yang lebih besar. Pendekatan tersebut dapat mengurangi waktu berhenti operasi dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan aset industri. Dengan demikian, bidang pemeliharaan tidak hanya bersifat memperbaiki mesin yang rusak, tetapi juga

mengembangkan strategi untuk mempertahankan keandalan dan memperpanjang umur sistem mekanis (Mobley, 2020).

Perkembangan teknologi digital telah melahirkan bidang keahlian baru yang menggabungkan teknik mesin dengan simulasi komputer, analisis data, kecerdasan buatan, dan sistem manufaktur cerdas. Pemodelan numerik memungkinkan perilaku suatu sistem dianalisis sebelum produk dibuat secara fisik, sedangkan kecerdasan buatan dapat membantu proses prediksi, optimasi, diagnosis, dan pengambilan keputusan. Dalam lingkungan industri, kemampuan tersebut digunakan untuk meningkatkan desain produk, mengoptimalkan proses produksi, memperkirakan kegagalan, dan mengembangkan sistem yang lebih adaptif. Integrasi teknologi digital membuat seorang ahli teknik mesin perlu memiliki kemampuan komputasi yang lebih kuat dibandingkan sebelumnya. Perubahan ini memperlihatkan bahwa bidang keahlian teknik mesin terus berkembang mengikuti kebutuhan industri dan kemajuan teknologi informasi (Alghazo et al., 2025).

Secara keseluruhan, cabang dan bidang keahlian teknik mesin membentuk suatu kesatuan keilmuan yang saling berkaitan dalam menghasilkan solusi rekayasa bagi berbagai kebutuhan manusia. Sistem mekanikal, desain, energi, termal, fluida, material, manufaktur, mekatronika, robotika, otomotif, kedirgantaraan, hingga pemeliharaan dan teknologi digital memiliki dasar keilmuan yang sama, tetapi dikembangkan dengan fokus dan pendekatan yang berbeda. Keberagaman tersebut menunjukkan bahwa seorang insinyur mesin dapat memilih bidang keahlian sesuai dengan minat,

kemampuan, dan kebutuhan industri yang terus berubah. Perkembangan kurikulum teknik mesin modern juga memperlihatkan adanya pengelompokan bidang seperti desain sistem mekanis, manufaktur, teknologi konversi energi, dan metalurgi sebagai area keahlian yang dapat dikembangkan secara lebih mendalam. Pemahaman terhadap berbagai cabang tersebut menjadi landasan bagi mahasiswa untuk menentukan arah pengembangan kompetensi dan memahami luasnya peluang penerapan teknik mesin pada masa depan.

1.5 Peran Teknik Mesin dalam Industri dan Kehidupan

Teknik mesin memiliki peran yang sangat penting dalam perkembangan industri dan kehidupan manusia karena hampir seluruh aktivitas modern memanfaatkan sistem mekanis, energi, material, dan teknologi produksi yang menjadi bagian dari bidang ini. Peran tersebut tidak hanya terlihat pada pembuatan mesin, tetapi juga pada proses perancangan, pengembangan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, dan peningkatan kinerja berbagai peralatan. Dalam industri, teknik mesin menjadi salah satu dasar dalam membangun sistem produksi yang mampu menghasilkan barang secara cepat, tepat, aman, dan efisien. Perkembangan teknologi digital semakin memperluas peranan tersebut melalui integrasi mesin dengan sensor, sistem kendali, kecerdasan buatan, dan teknologi informasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa teknik mesin memiliki posisi strategis

dalam mendukung perkembangan teknologi dan produktivitas industri modern (Al-Obaidi et al., 2024).

Dalam sektor manufaktur, teknik mesin berperan dalam mengubah bahan mentah menjadi produk yang memiliki nilai guna melalui berbagai proses produksi. Insinyur mesin terlibat dalam perancangan mesin produksi, pemilihan proses manufaktur, pengembangan sistem otomatisasi, pengendalian kualitas, hingga peningkatan efisiensi proses kerja. Perkembangan manufaktur modern menyebabkan sistem produksi tidak lagi hanya mengandalkan tenaga manusia, tetapi menggabungkan mesin otomatis, robot, sensor, perangkat lunak, dan sistem pemantauan berbasis data. Penerapan teknologi tersebut memungkinkan perusahaan meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi kesalahan dalam proses produksi. Oleh karena itu, kemampuan teknik mesin menjadi salah satu unsur penting dalam membangun sistem manufaktur yang adaptif terhadap perubahan kebutuhan pasar dan perkembangan teknologi (Narkhede et al., 2024).

Peran teknik mesin dalam industri juga terlihat pada pengembangan mesin dan peralatan yang digunakan untuk meningkatkan produktivitas kerja. Mesin produksi dirancang untuk melakukan pekerjaan yang membutuhkan ketelitian, kecepatan, kekuatan, dan pengulangan yang sulit dicapai secara konsisten apabila hanya mengandalkan tenaga manusia. Proses perancangan tersebut membutuhkan pemahaman mengenai mekanika, material, energi, getaran, perpindahan panas, serta karakteristik operasional mesin. Pengembangan desain dilakukan melalui pemodelan dan

simulasi sehingga kemungkinan kesalahan dapat diketahui sebelum mesin diproduksi atau digunakan. Dengan pendekatan tersebut, teknik mesin membantu industri menghasilkan peralatan yang lebih andal, efisien, aman, dan sesuai dengan kebutuhan proses produksi (Al-Obaidi et al., 2024).

Dalam bidang energi, teknik mesin berperan dalam menghasilkan dan mengembangkan berbagai sistem yang digunakan untuk mengubah, menyalurkan, dan memanfaatkan energi. Mesin turbin, kompresor, pompa, sistem pembangkit, mesin pembakaran, sistem pendingin, serta berbagai perangkat konversi energi merupakan contoh teknologi yang membutuhkan keahlian teknik mesin. Pengembangan sistem energi semakin diarahkan pada peningkatan efisiensi dan pengurangan penggunaan sumber daya yang berlebihan sehingga kebutuhan terhadap perancangan mesin yang hemat energi menjadi semakin penting. Teknik mesin juga berkontribusi terhadap pengembangan teknologi energi terbarukan melalui perancangan berbagai sistem mekanis yang dapat memanfaatkan sumber energi alternatif. Peranan tersebut menjadikan teknik mesin sebagai salah satu bidang yang memiliki hubungan erat dengan ketahanan dan keberlanjutan sistem energi (Al-Obaidi et al., 2024).

Pada sektor transportasi, teknik mesin memiliki kontribusi besar dalam pengembangan kendaraan darat, laut, maupun udara. Sistem penggerak, transmisi, pengereman, suspensi, struktur, pendinginan, dan berbagai komponen mekanis lainnya dikembangkan berdasarkan prinsip teknik

mesin. Perubahan menuju kendaraan listrik juga tidak menghilangkan peranan teknik mesin, tetapi justru menghasilkan kebutuhan baru terhadap desain struktur ringan, pengelolaan panas baterai, sistem pendinginan, mekanisme penggerak, dan integrasi berbagai komponen. Pengembangan kendaraan modern membutuhkan keseimbangan antara performa, keselamatan, efisiensi energi, kenyamanan, dan dampak lingkungan. Dengan demikian, teknik mesin menjadi salah satu bidang utama yang mendukung perubahan teknologi transportasi menuju sistem yang semakin efisien dan berkelanjutan (Al-Obaidi et al., 2024).

Teknik mesin juga berperan dalam bidang otomasi dan robotika yang berkembang pesat seiring meningkatnya kebutuhan industri terhadap proses produksi yang cepat dan presisi. Robot industri membutuhkan struktur mekanis, sistem transmisi, aktuator, sensor, dan mekanisme gerak yang dirancang agar mampu melakukan pekerjaan secara akurat dan berulang. Insinyur mesin memiliki peranan dalam menentukan bentuk dan kekuatan struktur robot, jenis mekanisme penggerak, sistem transmisi, serta kemampuan robot dalam menerima dan meneruskan beban. Integrasi robotika dengan kecerdasan buatan dan teknologi digital membuat mesin mampu bekerja secara lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan. Perkembangan tersebut memperlihatkan bahwa teknik mesin menjadi salah satu dasar fisik yang memungkinkan teknologi otomatisasi dan sistem cerdas dapat diterapkan dalam lingkungan industri (Bajpai et al., 2024).

Dalam kehidupan sehari-hari, penerapan teknik mesin dapat ditemukan pada berbagai peralatan rumah tangga yang membantu manusia menyelesaikan pekerjaan secara lebih mudah dan efisien. Kulkas, mesin cuci, pompa air, pendingin udara, kipas, kompor, peralatan pengolah makanan, dan berbagai perangkat lainnya memiliki komponen mekanis serta sistem energi yang dirancang berdasarkan prinsip teknik mesin. Perancangan peralatan tersebut mempertimbangkan efisiensi energi, keamanan, ketahanan material, tingkat kebisingan, kenyamanan penggunaan, dan kemudahan pemeliharaan. Perkembangan teknologi membuat peralatan rumah tangga semakin terintegrasi dengan sistem elektronik dan digital, tetapi prinsip mekanis tetap menjadi bagian penting dalam pengoperasiannya. Dengan demikian, manfaat teknik mesin tidak hanya dirasakan dalam lingkungan industri, tetapi juga secara langsung dalam aktivitas rumah tangga (Al-Obaidi et al., 2024).

Teknik mesin memiliki peranan penting dalam bidang kesehatan melalui pengembangan berbagai perangkat yang membutuhkan mekanisme, material, energi, dan sistem gerak yang presisi. Peralatan seperti tempat tidur medis, alat bantu gerak, prosthesis, perangkat rehabilitasi, sistem pendingin peralatan kesehatan, hingga berbagai instrumen mekanis membutuhkan prinsip perancangan teknik yang tepat. Dalam pengembangannya, faktor keselamatan dan kenyamanan manusia harus menjadi perhatian utama karena perangkat tersebut dapat berhubungan langsung dengan tubuh atau kebutuhan pasien. Perkembangan manufaktur aditif juga

membuka peluang pembuatan komponen yang memiliki bentuk khusus dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan tertentu. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemampuan teknik mesin dapat digunakan untuk menghasilkan solusi yang mendukung peningkatan kualitas pelayanan dan teknologi kesehatan (Al-Obaidi et al., 2024).

Dalam bidang pertanian, teknik mesin membantu meningkatkan efisiensi kegiatan produksi melalui pengembangan berbagai alat dan mesin yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap pekerjaan manual. Mesin pengolah tanah, alat penanam, sistem irigasi, mesin pemanen, perangkat pengolahan hasil pertanian, dan berbagai peralatan pascapanen merupakan contoh penerapan teknologi mekanis dalam sektor pertanian. Penggunaan mesin memungkinkan pekerjaan dilakukan dalam waktu yang lebih singkat dengan kapasitas yang lebih besar dan tingkat konsistensi yang lebih baik. Perkembangan teknologi sensor, otomasi, dan sistem berbasis data juga memungkinkan mesin pertanian bekerja secara lebih presisi sesuai kondisi lahan dan kebutuhan tanaman. Oleh karena itu, teknik mesin turut mendukung transformasi pertanian menuju sistem produksi yang lebih produktif, efisien, dan adaptif (Al-Obaidi et al., 2024).

Teknik mesin juga berperan dalam pembangunan infrastruktur dan fasilitas industri melalui perancangan berbagai sistem mekanis yang mendukung operasional bangunan dan fasilitas produksi. Sistem pompa, ventilasi, pendingin udara, sistem perpipaan, elevator, eskalator, peralatan pemindah material, dan berbagai instalasi mekanis

membutuhkan perencanaan yang mempertimbangkan kapasitas, efisiensi, keselamatan, serta kondisi lingkungan. Keberadaan sistem tersebut sering kali tidak terlihat secara langsung, tetapi sangat menentukan kenyamanan dan keberlangsungan kegiatan manusia di dalam suatu bangunan atau fasilitas industri. Insinyur mesin bertanggung jawab memastikan bahwa sistem mekanis mampu bekerja sesuai kebutuhan dan memiliki tingkat keandalan yang memadai. Dengan demikian, kontribusi teknik mesin dalam pembangunan tidak hanya berkaitan dengan mesin produksi, tetapi juga mencakup fasilitas yang menunjang kehidupan dan aktivitas manusia (Al-Obaidi et al., 2024).

Peranan teknik mesin semakin berkembang dalam penerapan konsep Industri 4.0 yang mengintegrasikan mesin fisik dengan sistem digital, jaringan komunikasi, sensor, analisis data, dan kecerdasan buatan. Dalam sistem tersebut, mesin tidak hanya melakukan pekerjaan mekanis, tetapi juga mampu mengumpulkan informasi mengenai kondisi operasionalnya dan mengirimkan data untuk dianalisis. Konsep digital twin, sistem siber-fisik, pemantauan kondisi, dan pemeliharaan prediktif menjadi contoh bagaimana sistem mekanis dapat diintegrasikan dengan teknologi digital. Teknik mesin tetap memiliki peranan fundamental karena seluruh sistem digital tersebut pada akhirnya berinteraksi dengan perangkat fisik yang harus dirancang, dibuat, dan dipelihara. Perkembangan ini menyebabkan peran insinyur mesin semakin luas dan menuntut kemampuan memahami hubungan antara sistem mekanis dan teknologi digital (Bajpai et al., 2024).

Selain meningkatkan produktivitas, teknik mesin memiliki peranan dalam menciptakan proses industri yang lebih berkelanjutan dengan mengurangi konsumsi energi, penggunaan material, limbah, dan emisi. Perancangan mesin modern mulai mempertimbangkan keseluruhan siklus hidup produk, mulai dari pemilihan material hingga proses produksi, penggunaan, pemeliharaan, dan pengelolaan produk setelah masa pakainya berakhir. Pendekatan tersebut mendorong berkembangnya konsep desain untuk keberlanjutan, ekonomi sirkular, efisiensi sumber daya, serta penggunaan material yang dapat diproses kembali. Insinyur mesin dituntut mempertimbangkan dampak lingkungan sejak tahap awal perancangan agar teknologi yang dihasilkan tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga bertanggung jawab terhadap lingkungan. Perubahan orientasi tersebut memperluas peran teknik mesin dalam mendukung pembangunan industri yang berkelanjutan (Hąbek et al., 2024).

Teknik mesin juga berperan dalam meningkatkan keselamatan manusia melalui perancangan sistem yang mampu mengurangi risiko kecelakaan dan kegagalan peralatan. Setiap mesin harus dirancang dengan mempertimbangkan beban kerja, kondisi lingkungan, kemungkinan kerusakan, perlindungan operator, serta prosedur pemeliharaan. Analisis kegagalan dan pemantauan kondisi memungkinkan potensi kerusakan diketahui lebih awal sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum terjadi gangguan yang lebih serius. Dalam perkembangan teknologi modern, sensor dan sistem digital

semakin banyak digunakan untuk memantau kondisi mesin secara waktu nyata. Dengan demikian, teknik mesin tidak hanya bertujuan menghasilkan mesin yang mampu bekerja, tetapi juga memastikan bahwa mesin tersebut dapat digunakan secara aman dan dapat diandalkan dalam jangka waktu yang sesuai (Narkhede et al., 2024).

Peranan teknik mesin dalam kehidupan juga berkaitan dengan peningkatan kenyamanan, mobilitas, dan kualitas hidup manusia. Sistem transportasi memungkinkan manusia berpindah dengan cepat, peralatan rumah tangga mengurangi beban pekerjaan, sistem pendingin menciptakan kondisi lingkungan yang nyaman, sedangkan berbagai mesin produksi menyediakan barang yang dibutuhkan masyarakat. Di balik berbagai kemudahan tersebut terdapat proses perancangan dan pengembangan yang melibatkan prinsip mekanika, energi, material, manufaktur, dan pengendalian. Perkembangan teknologi menyebabkan perangkat yang digunakan manusia semakin kecil, cerdas, efisien, dan terintegrasi, tetapi tetap membutuhkan dasar mekanis yang kuat. Oleh sebab itu, teknik mesin memiliki hubungan langsung dengan perubahan cara manusia bekerja, bergerak, berproduksi, dan memenuhi kebutuhan sehari-hari (Al-Obaidi et al., 2024).

Pada masa mendatang, peran teknik mesin diperkirakan semakin berkembang karena industri membutuhkan teknologi yang mampu menggabungkan kemampuan mekanis dengan kecerdasan digital, efisiensi energi, dan keberlanjutan. Insinyur mesin tidak lagi hanya dituntut menguasai perhitungan dan perancangan

konvensional, tetapi juga perlu memahami analisis data, kecerdasan buatan, otomasi, simulasi, manufaktur digital, dan teknologi berkelanjutan. Perubahan tersebut menjadikan kemampuan belajar secara berkelanjutan sebagai bagian penting dari profesi teknik mesin karena teknologi yang digunakan dalam industri terus berkembang. Pendidikan dan pelatihan teknik juga semakin diarahkan agar mampu menghubungkan pengetahuan akademik dengan kebutuhan nyata dunia industri. Dengan demikian, perkembangan peran teknik mesin akan sangat dipengaruhi oleh kemampuan bidang ini dalam beradaptasi dengan perubahan teknologi dan kebutuhan masyarakat (Azofeifa et al., 2024).

Secara keseluruhan, teknik mesin memiliki peranan yang sangat luas dalam industri dan kehidupan karena menjadi dasar bagi pengembangan berbagai mesin, sistem energi, alat produksi, kendaraan, perangkat rumah tangga, teknologi kesehatan, robotika, dan sistem industri modern. Perkembangan bidang ini menunjukkan bahwa teknik mesin tidak dapat dipisahkan dari kemajuan peradaban karena kebutuhan manusia terhadap teknologi selalu mendorong munculnya inovasi baru. Integrasi antara mekanika, material, energi, manufaktur, otomatisasi, kecerdasan buatan, dan keberlanjutan membuat teknik mesin semakin memiliki posisi strategis dalam menghadapi tantangan masa depan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai peran teknik mesin perlu ditempatkan tidak hanya dalam konteks industri, tetapi juga dalam konteks sosial, ekonomi, lingkungan, dan peningkatan kualitas kehidupan manusia. Kemampuan tersebut menjadi dasar bagi terbentuknya generasi insinyur yang mampu

menghasilkan teknologi bermanfaat, aman, efisien, inovatif, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alghazo, M., Ahmed, V., & Bahroun, Z. (2025). Exploring the applications of artificial intelligence in mechanical engineering education. *Frontiers in Education*, 9, 1492308.
- Al-Obaidi, A. S. M., Husaeni, D. F. A., Setiyo, M., & Nandiyanto, A. B. D. (2024). The role of mechanical engineering in industry: Review and bibliometric analysis. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, 4(3), 308–317.
- Anderson, J. D. (2021). *Introduction to flight*. McGraw-Hill Education.
- Azofeifa, J. D., Rueda-Castro, V., Camacho-Zuñiga, C., Chans, G. M., Membrillo-Hernández, J., & Caratozzolo, P. (2024). Future skills for Industry 4.0 integration and innovative learning for continuing engineering education. *Frontiers in Education*, 9, 1412018.
- Bajpai, S., González, E., & colaboradores. (2024). Mechanics 4.0 and mechanical engineering education. *Machines*, 12(5), 320.
- Bharti, S. (2023). Exploring the dynamic and innovative field of mechanical engineering. *International Research Journal of Engineering, Science and Technology*, 12(4).
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction*. Wiley.
- Çengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoğlu, M. (2022). *Thermodynamics: An engineering approach*. McGraw-Hill

Education.

- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Turner, R. H. (2020). *Fundamentals of fluid mechanics*. McGraw-Hill Education.
- Çengel, Y. A., Ghajar, A. J., & Kanoglu, M. (2021). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications*. McGraw-Hill Education.
- Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems*. Wiley.
- Groumpos, P. P. (2021). A critical historical and scientific overview of all industrial revolutions. *IFAC-PapersOnLine*, 54(13), 464–471.
- Guo, W., Guo, M., & Ding, Z. (2024). Teaching mode design in mechanical engineering major courses integrating intelligent manufacturing. *Academic Journal of Education and Humanities*, 6(8).
- Habek, P., Palacz, M., & Saeed, F. (2024). Embedding sustainability into mechanical engineering master programs—A case study of the top technical universities in Europe. *Sustainability*, 16(2), 941.
- Heidari, H., Olabi, A. G., & Bahri, A. (2024). Recent advances in electric vehicle technologies and their applications. *Energy Reports*, 10, 1–18.
- Hibbeler, R. C. (2022). *Engineering mechanics: Statics*. Pearson.
- Hibbeler, R. C. (2023). *Engineering mechanics: Dynamics*. Pearson.
- Hibbeler, R. C. (2023). *Mechanics of materials*. Pearson.
- Hibbeler, R. C. (2024). *Engineering mechanics: Statics and*

dynamics. Pearson.

James, G., & Dyke, P. (2020). *Modern engineering mathematics*. Pearson.

Jauregui-Correa, J. C., & Sen, M. (2024). Revolutionizing engineering education: Adapting curricula to address artificial intelligence challenges and opportunities. *ASEAN Journal of Engineering Education*, 8(1), 64–69.

Kumar, U., Kumar, R., Singh, M., Singh, M., Singh, H., Singh, R., & Chabra, R. (2025). A critical review on history of industrial revolutions. *AIP Conference Proceedings*, 3185, 020097.

McClements, D. (2025). Mechanical engineering: Fundamentals, types, and uses. *Thomas Engineering and Consulting Technical Guides*.

Mobley, R. K. (2020). *Maintenance fundamentals*. Butterworth-Heinemann.

Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control*. Wiley.

Narkhede, G. (2024). Significance of Industry 4.0 technologies in major work functions of manufacturing for sustainable development of small and medium-sized enterprises. *Business Strategy & Development*.

Narkhede, G., Dohale, V., & Mahajan, Y. (2024). Darker side of Industry 4.0 and its impact on triple-bottom-line sustainability. *Sustainable Development*, 32(6), 5999–6016.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2021). *Physics for scientists and engineers*. Cengage Learning.

Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.). (2020). *Springer handbook of*

robotics. Springer.

Zhang, C., & Yang, J. (2020). *A history of mechanical engineering*. Springer Nature Singapore.

BAB 2

MATERIAL TEKNIK

2.1 Pendahuluan

a) Definisi *Material Teknik*

Material teknik adalah bahan yang digunakan dalam berbagai aplikasi teknik untuk membangun dan menghasilkan produk. Material-material ini dipilih berdasarkan sifat-sifat fisik, mekanik, dan kimianya, yang sangat penting dalam memastikan bahwa bahan tersebut mampu memenuhi tuntutan dan fungsi tertentu dalam desain dan pembuatan. Di dalam dunia rekayasa, pemilihan material bukan hanya sekedar masalah estetika, tetapi juga berhubungan langsung dengan ketahanan, efisiensi, dan keamanan suatu produk.

Secara umum, *material teknik* terdiri dari berbagai jenis bahan yang masing-masing memiliki karakteristik dan kegunaan yang berbeda, seperti logam, polimer, keramik, komposit, semikonduktor, dan biomaterial. Bahan-bahan ini dipelajari secara mendalam untuk memahami bagaimana struktur atom dan molekul mereka dapat memengaruhi sifat-sifat material tersebut.

b) Pentingnya Material dalam Rekayasa

Material memiliki peranan yang sangat krusial dalam bidang teknik. Material yang tepat akan menentukan kualitas, daya tahan, serta kinerja dari suatu produk atau struktur. Oleh karena itu, dalam setiap tahapan rekayasa, pemilihan dan pengolahan material dilakukan dengan sangat hati-hati untuk memastikan bahwa produk akhir memiliki karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan teknis dan fungsional.

Pada dasarnya, material digunakan untuk menyediakan kekuatan dan ketahanan terhadap kerusakan. Selain itu, material juga harus dapat diolah, dibentuk, dan diproses sesuai dengan kebutuhan spesifik dari suatu desain produk. Misalnya, dalam industri otomotif, material logam dipilih untuk kekuatannya, sedangkan polimer dipilih untuk fleksibilitas dan kemudahan pemrosesannya.

c) Tujuan Penggunaan Material Teknik dalam Desain dan Aplikasi

Tujuan utama dari penggunaan material teknik adalah untuk memenuhi kebutuhan fungsional dalam desain produk. Dalam proses perancangan, material harus dipilih berdasarkan kemampuan untuk menahan beban tertentu, tahan terhadap suhu ekstrem, serta mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang beragam. Penggunaan material yang tepat akan mempengaruhi efisiensi dan umur pakai produk, serta

memberikan solusi inovatif dalam pembuatan berbagai macam alat dan struktur.

Sebagai contoh, penggunaan baja dalam konstruksi bangunan memberikan kekuatan struktural yang diperlukan untuk menopang beban yang besar, sementara material seperti kaca atau keramik lebih digunakan untuk sifat optik atau ketahanan panasnya. Selain itu, dalam desain elektronik, material semikonduktor seperti silikon digunakan untuk komponen-komponen mikroelektronika yang sangat kecil dan efisien.

d) Klasifikasi Umum Material Teknik

Material teknik dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok utama yang memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda. Klasifikasi ini meliputi:

1) Logam

Logam adalah bahan yang sangat penting dalam industri teknik. Logam ferrous (berbasis besi) seperti baja dan besi digunakan karena kekuatan dan daya tahannya yang luar biasa. Logam non-ferrous seperti aluminium, tembaga, dan titanium digunakan untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap korosi atau sifat ringan.

2) Polimer

Polimer adalah bahan yang tersusun dari rantai molekul panjang dan digunakan dalam berbagai aplikasi, dari plastik yang fleksibel hingga karet alam

yang memiliki elastisitas tinggi. Polimer termoplastik dapat dilelehkan dan dibentuk kembali, sedangkan polimer termoset menjadi keras dan tidak dapat diproses kembali setelah dipanaskan.

3) Keramik

Keramik adalah material anorganik yang umumnya keras dan tahan panas, seperti kaca dan porselen. Mereka digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kekerasan tinggi dan ketahanan terhadap suhu ekstrem, serta dalam bidang elektronik sebagai isolator.

4) Komposit

Komposit adalah bahan yang terdiri dari dua atau lebih material dengan sifat berbeda yang digabungkan untuk menghasilkan sifat yang lebih baik. Contohnya termasuk fiberglass dan komposit berbasis karbon yang banyak digunakan dalam industri otomotif dan aerospace karena ringan dan kuat.

5) Semikonduktor

Semikonduktor adalah bahan yang memiliki konduktivitas listrik antara logam dan isolator. Silikon, misalnya, digunakan dalam pembuatan chip komputer dan perangkat elektronik lainnya yang memanfaatkan sifat semikonduktor untuk pengolahan sinyal listrik.

6) Biomaterial

Biomaterial adalah bahan yang digunakan dalam aplikasi medis dan bioteknologi. Mereka digunakan dalam pengembangan implan, prostetik, dan alat medis lainnya. Biomaterial harus memenuhi standar

biokompatibilitas, yang berarti tidak menimbulkan reaksi yang merugikan tubuh manusia.

2.2 Struktur Atom dan Ikatan Atom

2.2.1 Struktur Atom

Ikatan atom adalah gaya yang menghubungkan atom-atom dalam suatu material untuk membentuk molekul atau kristal. Ada empat jenis ikatan atom utama yang sangat mempengaruhi sifat-sifat material, yaitu ikatan ion, ikatan kovalen, ikatan logam, dan ikatan Van der Waals.

1. Ikatan Ion

Ikatan ion terbentuk ketika satu atom melepaskan elektron, sementara atom lain menerima elektron. Proses ini terjadi antara atom logam dan non-logam, yang membentuk pasangan ion bermuatan positif dan negatif. Sebagai contoh, dalam senyawa Natrium Klorida (NaCl), atom natrium (Na) memberikan satu elektron kepada atom klor (Cl), sehingga membentuk ion Na^+ dan Cl^- . Ion-ion ini saling tarik menarik karena muatan yang berbeda, membentuk struktur kristal yang sangat stabil.

Ciri – ciri material dengan ikatan ion yaitu cenderung memiliki titik leleh dan titik didih yang tinggi, mempunyai kekerasan yang tinggi tetapi cenderung rapuh, umumnya adalah isolator listrik dalam keadaan padat karena tidak ada electron bebas.

2. Ikatan Kovalen

Ikatan kovalen terbentuk ketika dua atom non-logam saling berbagi pasangan elektron untuk mencapai konfigurasi stabil yang menyerupai gas mulia. Contoh yang umum adalah dalam molekul hidrogen (H_2), dimana dua atom hidrogen berbagi sepasang elektron. Pada senyawa oksigen (O_2), dua atom oksigen berbagi dua pasang elektron untuk membentuk ikatan kovalen ganda.

Ciri – ciri material dengan ikatan kovalen yaitu umumnya bersifat keras dan tidak mudah terdeformasi, memiliki titik didih yang tinggi, isolator listrik karena tidak ada electron bebas yang dapat bergerak.

3. Ikatan Logam

Ikatan logam terjadi ketika atom-atom logam melepaskan elektron valensinya ke dalam "lautan elektron" yang bebas bergerak di antara ion-ion positif dalam struktur logam tersebut. Ikatan ini memberikan logam sifat-sifat khas, seperti konduktivitas listrik yang sangat baik, serta kekuatan dan kelenturan. Sebagai contoh, dalam baja atau tembaga, elektron valensi bergerak bebas, memungkinkan material untuk menghantarkan listrik dan panas dengan sangat baik.

Ciri – ciri dengan ikatan logam yaitu konduktor listrik dan panas yang sangat baik, mampu ditempa, dilenturkan dan dibentuk tanpa patah, bersifat mengkilap dan tidak mudah pecah.

4. Ikatan Van de Waals

Ikatan Van der Waals adalah gaya tarik menarik yang lebih lemah dibandingkan dengan ikatan ion, kovalen, atau logam. Ikatan ini terjadi karena interaksi antara molekul-molekul yang berdekatan yang disebabkan oleh fluktuasi sementara dalam distribusi elektron, yang menghasilkan muatan sementara. Gaya ini lebih sering ditemukan pada material seperti polimer dan elastomer, seperti pada karet.

Ciri – ciri material dengan ikatan Van der Waals yaitu cenderung lebih fleksibel dan mudah dibentuk, memiliki kekuatan mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan ikatan ion atau kovalen, mempunyai sifat elastis dan dapat merenggang atau melar.

2.3 Jenis – Jenis Material Teknik

2.3.1 Logam

Logam merupakan salah satu kelompok material yang sangat penting dalam berbagai aplikasi teknik karena kekuatannya yang tinggi, kemampuan untuk dibentuk, dan kemudahan dalam pengolahan. Logam dapat dibagi menjadi dua kategori besar: logam ferrous dan logam non-ferrous. Masing-masing kategori ini memiliki karakteristik dan aplikasi yang berbeda, tergantung pada sifat material dan komposisi kimianya.

a) Logam Ferrous

Logam ferrous adalah logam yang mengandung besi sebagai unsur utamanya. Keunggulan utama dari

logam ferrous adalah kekuatan dan ketahanan terhadap tekanan dan beban yang besar. Meskipun demikian, logam ferrous cenderung lebih rentan terhadap korosi (karat) jika tidak dilapisi atau diproses dengan baik. Oleh karena itu, logam ferrous biasanya dilapisi dengan lapisan pelindung atau dikombinasikan dengan elemen lain untuk meningkatkan ketahanannya terhadap korosi.

i. Besi (Fe)

Besi adalah logam dasar yang paling banyak digunakan di dunia, terutama dalam industri konstruksi dan manufaktur. Besi murni sendiri cukup rapuh, tetapi ketika dipadukan dengan elemen lain, seperti karbon, besi dapat membentuk paduan yang lebih kuat, seperti baja. Besi juga digunakan dalam pembuatan berbagai alat dan komponen mesin yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan.

ii. Baja

Baja adalah paduan antara besi dan karbon yang memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan besi murni. Berdasarkan kadar karbonnya, baja dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, seperti baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi. Baja banyak digunakan dalam konstruksi, otomotif, serta pembuatan alat berat dan mesin.

Baja juga dapat dipadu dengan elemen lainnya untuk menghasilkan paduan dengan sifat khusus, seperti baja tahan karat yang memiliki ketahanan lebih baik terhadap korosi.

b) Logam Non Ferrous

Logam non-ferrous adalah logam yang tidak mengandung besi sebagai unsur utama. Logam jenis ini memiliki keunggulan seperti ketahanan terhadap korosi yang lebih baik dan kepadatan yang lebih rendah, yang membuatnya ideal untuk aplikasi di mana sifat tersebut sangat dibutuhkan, seperti dalam industri penerbangan, elektronik, dan konstruksi bangunan.

i. Aluminium (Al)

Aluminium adalah logam ringan dengan ketahanan korosi yang sangat baik. Aluminium sering digunakan dalam industri penerbangan, otomotif, dan konstruksi bangunan, karena sifatnya yang ringan dan mudah dibentuk. Aluminium juga banyak digunakan dalam pembuatan kemasan, seperti kaleng minuman dan aluminium foil.

ii. Tembaga (Cu)

Tembaga adalah logam dengan konduktivitas listrik yang sangat baik, sehingga sering digunakan dalam pembuatan kabel dan peralatan elektronik. Tembaga juga tahan terhadap korosi dan memiliki ketahanan mekanik yang baik. Selain itu, tembaga juga digunakan dalam pembuatan pipa dan alat masak.

iii. Titanium (Ti)

Titanium adalah logam yang sangat kuat dan ringan dengan ketahanan korosi yang sangat baik. Material ini digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan tinggi namun tetap ringan, seperti dalam

industri aerospace, peralatan medis (implan), serta dalam pembuatan peralatan olahraga.

iv. Magnesium (Mg)

Magnesium adalah logam paling ringan yang banyak digunakan dalam industri otomotif dan penerbangan. Magnesium sering digunakan dalam pembuatan komponen mesin, seperti mesin pesawat dan kendaraan, karena sifatnya yang ringan namun cukup kuat.

Proses pembuatan logam melibatkan beberapa tahap mulai dari penambangan bijih logam hingga pengolahan dan pemurnian untuk menghasilkan logam yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Secara umum, proses pembuatan logam dapat dibagi menjadi beberapa tahap utama :

1. Penambangan Bijih

Bijih logam adalah mineral yang mengandung unsur logam yang dapat diproses lebih lanjut. Penambangan bijih logam dilakukan dengan berbagai metode, seperti tambang terbuka dan tambang bawah tanah, tergantung pada lokasi dan kedalaman bijih yang ditemukan. Proses penambangan ini menghasilkan bijih yang mengandung logam dalam bentuk senyawa yang harus dipisahkan melalui proses pemurnian.

2. Peleburan Bijih

Setelah bijih logam ditambang, bijih tersebut akan dilebur untuk memisahkan logam dari unsur-unsur pengotor lainnya. Salah satu metode peleburan yang umum digunakan adalah menggunakan tanur tinggi (blast furnace) untuk

mengubah bijih besi menjadi besi kasar. Untuk logam non-ferrous seperti tembaga, peleburan dilakukan dengan menggunakan tungku khusus yang disesuaikan dengan sifat logam yang akan diproses.

3. Pengolahan Paduan

Pengolahan logam paduan melibatkan pencampuran logam dasar dengan elemen lain untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan. Sebagai contoh, dalam pembuatan baja, karbon ditambahkan ke dalam besi untuk meningkatkan kekuatan logam tersebut. Dalam pembuatan logam non-ferrous seperti tembaga atau aluminium, logam lain dapat dicampurkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi atau untuk meningkatkan kekuatan mekanik.

4. Pemurnian Logam

Pemurnian adalah proses untuk menghilangkan pengotor dari logam yang telah dilebur. Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan elektrolisis, distilasi, atau metode kimia lainnya. Sebagai contoh, tembaga dapat dimurnikan menggunakan elektrolisis untuk menghasilkan tembaga dengan kemurnian tinggi.

2.3.2 Polimer

Polimer adalah bahan yang terdiri dari rantai panjang molekul yang terhubung melalui ikatan kovalen. Polimer memiliki sifat unik yang mempengaruhi penggunaannya dalam berbagai industri dan aplikasi. Berdasarkan perilaku fisiknya pada suhu tertentu, polimer dapat dikelompokkan menjadi termoplastik, termoset, dan elastomer. Setiap jenis

polimer ini memiliki karakteristik yang sangat berbeda, yang membuatnya cocok untuk berbagai penggunaan.

1. Termoplastik

Termoplastik adalah jenis polimer yang dapat meleleh dan dibentuk kembali ketika dipanaskan dan akan mengeras kembali saat didinginkan. Proses ini dapat diulang berkali-kali tanpa merusak struktur polimernya. Sifat ini membuat termoplastik sangat fleksibel dan mudah diproses dalam berbagai bentuk.

a) Karakteristik termoplastik

1) Mudah dibentuk dan diproses

Termoplastik dapat dilelehkan dan dibentuk ulang menggunakan teknik seperti ekstrusi, injeksi, dan cetakan.

2) Ketahanan terhadap suhu rendah

Beberapa jenis termoplastik tetap stabil dan fleksibel pada suhu rendah.

3) Daur ulang

Salah satu keunggulan utama termoplastik adalah dapat didaur ulang, membuatnya lebih ramah lingkungan dibandingkan jenis polimer lainnya.

b) Contoh termoplastik

1) Polietilena (PE)

Polietilena adalah salah satu polimer paling banyak digunakan di dunia, terutama untuk pembuatan kantong plastik, botol, dan berbagai jenis kemasan.

Polietilena memiliki ketahanan terhadap bahan kimia dan fleksibilitas yang baik.

2) PVC (*Polyvinyl Chloride*)

PVC banyak digunakan dalam konstruksi, terutama untuk pipa dan pelapis kabel. PVC memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi dan bahan kimia, sehingga sangat ideal untuk aplikasi luar ruangan atau industri.

c) Aplikasi termoplastik

- 1) Penggunaan polietilena dalam kemasan barang sehari-hari, seperti kantong plastik dan botol plastik.
- 2) Penggunaan PVC dalam konstruksi bangunan untuk pipa, pelapis kabel, dan sistem drainase.

2. Termoset

Termoset adalah jenis polimer yang, setelah dipanaskan dan dibentuk, tidak dapat dikeraskan kembali atau diproses ulang. Proses pengerasan ini terjadi melalui reaksi kimia yang mengubah struktur molekul polimer menjadi jaringan yang lebih kuat dan tahan lama. Karena sifatnya yang keras dan tidak bisa kembali meleleh, termoset digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan tinggi terhadap suhu dan tekanan.

a) Karakteristik Termoset

1) Ketahanan panas tinggi

Setelah proses pengerasan, termoset dapat menahan suhu yang sangat tinggi tanpa mengalami perubahan bentuk atau sifat.

2) Kekuatan mekanik tinggi

Termoset memiliki kekuatan mekanik yang sangat baik, yang membuatnya cocok untuk aplikasi yang memerlukan daya tahan struktural.

3) Tidak dapat didaur ulang

Salah satu kelemahan termoset adalah ketidakmampuannya untuk didaur ulang setelah diproses.

b) Contoh Termoset

1) Epoxy

Epoxy adalah termoset yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri, mulai dari pembuatan lapisan pelindung hingga pembuatan komposit dan bahan perekat. Epoxy memiliki daya rekat yang sangat baik dan ketahanan terhadap kelembaban dan suhu tinggi.

2) Melamin

Melamin digunakan dalam pembuatan bahan seperti papan partikel, lantai, dan pelapis furnitur karena ketahanan terhadap goresan dan ketahanannya terhadap suhu tinggi.

c) Aplikasi

- 1) Epoxy digunakan dalam pembuatan komposit, seperti dalam industri penerbangan dan otomotif untuk menghasilkan komponen yang ringan namun kuat.

- 2) Melamin digunakan dalam pembuatan lapisan pelindung pada perabot rumah tangga dan peralatan dapur karena sifatnya yang tahan lama.

3. Elastomer

Elastomer adalah jenis polimer yang memiliki kemampuan untuk meregang dan kembali ke bentuk semula setelah dihilangkan beban. Elastomer dapat menahan deformasi mekanik yang besar, dan sifat ini membuatnya sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan fleksibilitas dan daya tahan terhadap peregangan.

a) Karakteristik Elastomer

1) Fleksibilitas tinggi

Elastomer dapat meregang dan kembali ke bentuk aslinya bahkan setelah mengalami tekanan atau tarikan yang kuat.

2) Ketahanan terhadap suhu dan bahan kimia

Beberapa jenis elastomer, seperti karet sintetis, dapat menahan suhu tinggi dan bahan kimia tertentu tanpa rusak.

3) Kekuatan tarik yang rendah

Meskipun elastomer sangat fleksibel, mereka cenderung memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan termoset atau termoplastik.

b) Contoh Elastomer

1) Karet Alam

Karet alam adalah elastomer yang berasal dari getah pohon karet dan digunakan dalam berbagai

aplikasi, mulai dari ban kendaraan hingga alat kelistrikan dan medis.

2) Karet Sintetik

Karet sintetik seperti *styrene-butadiene rubber* (SBR) digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap suhu rendah dan bahan kimia. Karet ini banyak digunakan dalam pembuatan ban mobil, sepatu, dan peralatan industri.

c) Aplikasi

1) Karet alam digunakan dalam pembuatan ban kendaraan, sepatu, dan alat pelindung.

2) Karet sintetik digunakan dalam industri otomotif, elektronik, dan pembuatan pelapis untuk pipa dan sambungan.

4. Proses Pembuatan Polimer dan Aplikasinya dalam Kehidupan Sehari-hari

Proses pembuatan polimer melibatkan beberapa tahap penting, mulai dari polimerisasi hingga pembentukan material akhir. Ada dua proses utama dalam pembuatan polimer:

1) Polimerisasi

Proses kimia yang digunakan untuk mengubah monomer (molekul kecil) menjadi polimer (molekul besar). Ada dua jenis utama polimerisasi:

a) Polimerisasi adisi

Monomer ditambahkan satu per satu untuk membentuk rantai polimer, tanpa

mengeluarkan produk sampingan. Contohnya adalah pembuatan polietilena.

b) Polimerisasi kondensasi

Dua monomer bergabung untuk membentuk rantai polimer, disertai dengan pelepasan molekul kecil seperti air atau alkohol. Contohnya adalah pembuatan nylon.

2) Pembuatan Produk Polimer

Setelah polimer terbentuk, material dapat diproses lebih lanjut menggunakan metode seperti injeksi, ekstrusi, atau blow molding untuk membuat berbagai produk yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti kantong plastik, pipa, dan komponen otomotif.

Aplikasi Polimer dalam Kehidupan Sehari-hari

a) Termoplastik

Seperti polietilena dan PVC digunakan dalam pembuatan kemasan plastik, pipa, dan pelapis kabel yang kita temui hampir setiap hari.

b) Termoset

Digunakan dalam pembuatan perangkat elektronik dan struktur yang membutuhkan ketahanan tinggi terhadap suhu, seperti pelapis pada peralatan dapur dan perabot rumah tangga.

c) Elastomer

Digunakan untuk membuat barang-barang yang memerlukan fleksibilitas tinggi, seperti ban mobil, pelapis karet, dan berbagai aplikasi medis.

2.3.3 Keramik dan Kaca

1. Keramik

Keramik adalah kelompok material anorganik yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena sifatnya yang sangat khas, seperti kekerasan, ketahanan terhadap suhu tinggi, dan ketahanan terhadap korosi. Keramik terbentuk dari proses pemanasan bahan dasar yang sering kali melibatkan senyawa oksida, nitrida, karbida, dan borida. Material ini sering digunakan dalam teknologi canggih dan aplikasi sehari-hari, mulai dari ubin lantai hingga komponen elektronik.

A. Pengertian Keramik

Keramik dapat didefinisikan sebagai bahan anorganik yang diperoleh melalui proses pemanasan bahan-bahan seperti tanah liat, pasir, dan batuan lainnya pada suhu yang sangat tinggi. Keramik memiliki sifat yang tahan terhadap suhu ekstrem dan kekuatan yang baik, namun memiliki sifat rapuh, sehingga membutuhkan perlakuan khusus dalam desain dan aplikasi.

B. Struktur Kristal Keramik

Keramik biasanya memiliki struktur kristal yang sangat teratur, yang terdiri dari ion-ion atau molekul-molekul yang terikat dengan ikatan ionik atau kovalen. Struktur kristal ini memberikan ketahanan terhadap deformasi dan memberikan kekerasan yang sangat baik. Keramik dengan struktur kristal yang lebih kompleks, seperti silikat, memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap suhu tinggi dan korosi. Struktur kristal ini juga mempengaruhi sifat lainnya, seperti konduktivitas termal dan listrik.

1) Keramik Berkristal

Contoh keramik berkristal termasuk alumina (Al_2O_3), yang sering digunakan dalam pembuatan komponen elektronik, dan zirconia (ZrO_2) yang digunakan untuk aplikasi dalam kedokteran, seperti implan gigi.

2) Keramik Amorf

Contoh keramik amorf adalah kaca. Kaca tidak memiliki struktur kristal yang teratur, yang membuatnya lebih fleksibel dan dapat diproses menjadi bentuk yang kompleks.

C. Sifat Fisik Keramik

Keramik memiliki beberapa sifat fisik yang membedakannya dari bahan lain:

a) Kekerasan Tinggi

Keramik umumnya sangat keras dan tahan terhadap goresan, menjadikannya ideal untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan mekanik yang baik.

b) Ketahanan Terhadap Suhu Tinggi

Banyak jenis keramik dapat bertahan pada suhu yang sangat tinggi tanpa mengalami kerusakan atau degradasi. Ini membuat keramik sangat berguna dalam industri yang memerlukan material tahan panas, seperti industri pembangkit listrik dan mesin pesawat.

c) Ketahanan Terhadap Korosi

Keramik memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap banyak bahan kimia dan proses korosi. Ini menjadikannya pilihan ideal dalam lingkungan yang

keras, seperti dalam sistem pemurnian air atau aplikasi medis.

d) *Brittleness*

Salah satu kelemahan keramik adalah sifat rapuhnya. Meskipun sangat keras, keramik mudah retak atau pecah jika terkena benturan atau tekanan yang mendadak.

2. Kaca

Kaca adalah material anorganik yang terbuat dari bahan dasar seperti pasir, soda, dan kapur yang dilelehkan pada suhu tinggi. Kaca memiliki sifat optik yang sangat baik, sehingga banyak digunakan dalam pembuatan jendela, lensa, dan perangkat optik lainnya. Selain itu, kaca juga memiliki sifat mekanik yang baik, meskipun lebih rapuh dibandingkan dengan keramik.

A. Proses Pembuatan Kaca

Pembuatan kaca dimulai dengan mencampurkan bahan baku utama, yang biasanya terdiri dari pasir silika, soda abu, kapur, dan terkadang bahan tambahan lainnya untuk memberikan sifat tertentu pada kaca, seperti warna atau ketahanan termal. Campuran bahan tersebut kemudian dipanaskan pada suhu tinggi, sekitar 1.700°C , dalam tungku untuk mencairkan bahan-bahan tersebut. Setelah cair, kaca dapat dibentuk melalui berbagai teknik, seperti pencetakan, penuangan, atau pemanasan ulang untuk membentuk produk kaca yang diinginkan.

Kaca dapat dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan komposisi kimianya, seperti kaca float, kaca borosilikat,

kaca tempered, dan kaca optik, yang masing-masing memiliki sifat yang berbeda dan digunakan untuk aplikasi yang berbeda pula.

B. Sifat Optik dan Termal Kaca

Kaca memiliki beberapa sifat optik dan termal yang membuatnya sangat berguna dalam berbagai aplikasi:

a) Sifat Optik

Kaca memiliki transparansi yang sangat baik terhadap cahaya tampak, yang membuatnya ideal untuk aplikasi seperti jendela, lensa kamera, dan kaca optik lainnya.

b) Indeks Bias

Kaca memiliki indeks bias yang tinggi, yang menjadikannya sangat efektif dalam mengubah arah cahaya, seperti pada lensa.

c) Ketahanan Termal

Kaca borosilikat, misalnya, memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu yang sangat tinggi, membuatnya cocok untuk digunakan dalam peralatan laboratorium atau alat masak.

3. Aplikasi Keramik dan Kaca

a) Aplikasi Keramik

Keramik digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap suhu dan bahan kimia. Beberapa aplikasi utama keramik meliputi:

1) Industri Elektronik

Keramik digunakan dalam pembuatan kapasitor, isolator, dan substrat untuk komponen elektronik

karena sifatnya yang sangat baik dalam mengisolasi listrik dan menahan panas.

2) Industri Konstruksi

Keramik digunakan dalam pembuatan ubin lantai, keramik dinding, dan bahan bangunan lainnya. Keunggulan utama keramik dalam konstruksi adalah kekerasannya dan ketahanannya terhadap kelembaban dan suhu ekstrem.

3) Industri Kedokteran

Keramik, terutama zirconia, digunakan dalam aplikasi medis seperti implan gigi dan sendi buatan. Keramik biokompatibel ini memiliki ketahanan yang tinggi terhadap keausan dan korosi dalam tubuh manusia.

b) Aplikasi Kaca

Kaca memiliki banyak aplikasi dalam kehidupan sehari-hari dan industri, termasuk:

1) Industri Bangunan

Kaca banyak digunakan dalam pembuatan jendela dan fasad gedung, yang memungkinkan cahaya alami masuk ke dalam ruangan.

2) Industri Elektronik

Kaca digunakan dalam pembuatan layar ponsel, tablet, dan televisi karena transparansinya yang sangat baik dan kemampuannya untuk menahan goresan.

3) Industri Optik

Kaca digunakan untuk membuat lensaacamata, kamera, mikroskop, dan alat optik lainnya. Kualitas

optik kaca memungkinkan untuk aplikasi yang memerlukan pengendalian cahaya yang sangat presisi.

4) Industri Kedokteran

Kaca juga digunakan dalam pembuatan peralatan medis, seperti tabung reaksi, pipet, dan peralatan laboratorium lainnya yang memerlukan ketahanan terhadap bahan kimia dan suhu tinggi.

2.3.4 Komposit

1. Definisi Komposit

Komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih bahan dengan sifat yang berbeda yang digabungkan untuk menghasilkan material baru dengan sifat-sifat yang lebih baik daripada bahan penyusunnya. Tujuan utama dari penggunaan komposit adalah untuk mengoptimalkan kekuatan, fleksibilitas, dan ketahanan bahan dengan memanfaatkan kelebihan dari masing-masing komponen penyusun. Biasanya, salah satu bahan bertindak sebagai matriks (pengikat) dan bahan lainnya berfungsi sebagai penguat, memberikan keuntungan pada struktur dan kinerja material komposit.

Contohnya, dalam pembuatan fiberglass, serat kaca bertindak sebagai penguat sementara resin bertindak sebagai matriks yang mengikat serat-serat tersebut. Gabungan ini menghasilkan material yang kuat, ringan, dan tahan terhadap korosi.

2. Manfaat Menggabungkan Dua atau Lebih Bahan

Menggabungkan bahan yang berbeda dalam komposit memungkinkan pencapaian sifat-sifat yang tidak bisa dicapai oleh satu material tunggal. Beberapa manfaat utama dari material komposit meliputi:

a) Kekuatan yang lebih baik

Gabungan bahan-bahan yang kuat dengan matriks yang fleksibel menghasilkan material dengan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan tunggal. Misalnya, fiberglass lebih kuat dan lebih ringan daripada kaca atau plastik biasa.

b) Ringan dan Kuat

Komposit dapat dirancang untuk memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang lebih baik, menjadikannya ideal untuk aplikasi yang memerlukan material ringan tetapi tetap kuat, seperti pada industri otomotif dan aerospace.

c) Ketahanan Korosi yang Lebih Baik

Beberapa komposit memiliki ketahanan yang luar biasa terhadap korosi dan pengaruh lingkungan, sehingga lebih tahan lama dibandingkan dengan logam.

d) Fleksibilitas Desain

Komposit dapat diproduksi dalam berbagai bentuk dan ukuran yang sangat kompleks, memberikan fleksibilitas desain yang lebih besar daripada bahan konvensional.

3. Jenis-jenis Komposit

Komposit dapat dibedakan berdasarkan jenis penguat yang digunakan, yang dapat berupa serat, partikel, atau lapisan. Berikut adalah beberapa jenis komposit yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi:

a) Fiberglass

Fiberglass adalah salah satu jenis komposit yang terdiri dari serat kaca yang dibungkus dalam matriks resin (umumnya resin epoksi atau polyester). Fiberglass adalah bahan yang sangat kuat dan ringan, serta tahan terhadap korosi dan suhu tinggi.

a. Karakteristik

1. Memiliki kekuatan tarik yang tinggi.
2. Tahan terhadap kelembaban, suhu tinggi, dan bahan kimia.
3. Ringan dan mudah dibentuk.

b. Aplikasi

1. Industri Otomotif

Fiberglass digunakan untuk pembuatan body mobil, panel kendaraan, dan komponen struktural lainnya yang membutuhkan kekuatan dan ringan.

2. Industri Konstruksi

Digunakan untuk pembuatan atap, dinding, dan komponen bangunan lainnya yang membutuhkan ketahanan terhadap cuaca dan korosi.

b) Karbon Fiber

Karbon fiber adalah komposit yang terdiri dari serat karbon yang kuat dan ringan yang diikat dalam matriks resin. Karbon fiber memiliki kekuatan dan ketahanan yang sangat tinggi, serta konduktivitas termal yang rendah. Meskipun lebih mahal dibandingkan dengan fiberglass, karbon fiber sangat populer di aplikasi-aplikasi yang membutuhkan material dengan rasio kekuatan terhadap berat yang luar biasa.

a. Karakteristik

1. Sangat kuat dan ringan, lebih kuat dari baja namun lebih ringan.
2. Memiliki ketahanan terhadap korosi dan degradasi.
3. Menyerap sedikit air dan tahan terhadap bahan kimia.

b. Aplikasi

1. Industri Aerospace
Digunakan untuk komponen pesawat terbang, seperti sayap dan bagian fuselage, karena memberikan kekuatan luar biasa dengan berat yang sangat rendah.
2. Industri Otomotif
Digunakan dalam pembuatan mobil balap, body mobil mewah, dan komponen-komponen performa tinggi yang membutuhkan material kuat dan ringan.
3. Olahraga dan Rekreasi

Karbon fiber digunakan dalam pembuatan peralatan olahraga, seperti raket tenis, kayu golf, dan sepeda, untuk meningkatkan kekuatan dan performa.

3. Keramik Komposit

Keramik komposit adalah material yang menggabungkan keramik dengan bahan penguat lainnya, seperti serat atau logam, untuk meningkatkan ketahanan keramik terhadap kekuatan mekanik dan kelelahan. Meskipun keramik memiliki kekuatan yang tinggi dan ketahanan suhu yang sangat baik, keramik murni cenderung rapuh dan mudah pecah. Dengan menambahkan penguat, material ini menjadi lebih tahan terhadap kejutan termal dan mekanik.

a) Karakteristik

1. Tahan terhadap suhu tinggi dan korosi.
2. Dapat dirancang untuk menahan kejutan termal dan beban mekanik.

b) Aplikasi Keramik Komposit

1. Industri Otomotif dan Aerospace

Digunakan untuk komponen rem, turbin, dan komponen mesin yang membutuhkan ketahanan suhu tinggi dan kekuatan mekanik.

2. Industri Elektronik

Keramik komposit digunakan dalam pembuatan substrat untuk komponen elektronik yang memerlukan ketahanan suhu tinggi dan kekuatan mekanik.

c) Aplikasi Komposit

Komposit digunakan dalam berbagai industri yang memerlukan material dengan kombinasi kekuatan, ringan, dan ketahanan terhadap kondisi ekstrim. Beberapa aplikasi komposit yang umum meliputi:

1) Industri Otomotif

Komposit digunakan secara luas dalam industri otomotif untuk mengurangi bobot kendaraan dan meningkatkan efisiensi bahan bakar, sambil tetap mempertahankan kekuatan dan keamanan. Contohnya, karbon fiber dan fiberglass digunakan untuk komponen tubuh mobil, panel, dan body kit, yang membantu mengurangi berat kendaraan tanpa mengorbankan kekuatan strukturalnya.

2) Industri Aerospace

Dalam industri aerospace, komposit digunakan untuk membuat pesawat terbang lebih ringan dan efisien. Karbon fiber, misalnya, digunakan untuk struktur sayap, fuselage, dan berbagai komponen lainnya dalam pesawat terbang untuk meningkatkan kinerja dan mengurangi konsumsi bahan bakar.

3) Industri Konstruksi

Komposit banyak digunakan dalam konstruksi untuk bahan bangunan yang kuat, tahan lama, dan ringan. Misalnya, fiberglass digunakan untuk membuat panel dinding, atap, dan produk bangunan lainnya yang tahan terhadap cuaca dan tidak mudah korosi. Selain itu, komposit juga

digunakan untuk pembuatan jembatan dan infrastruktur lainnya yang membutuhkan kekuatan tinggi namun tetap ringan.

2.3.5 Semikonduktor

1. Struktur dan Sifat Semikonduktor

Semikonduktor adalah material yang memiliki konduktivitas listrik yang terletak di antara konduktor (seperti logam) dan isolator (seperti keramik). Semikonduktor dapat mengalirkan arus listrik hanya di bawah kondisi tertentu, yang membuatnya sangat berguna dalam perangkat elektronik. Material semikonduktor paling umum adalah silikon, yang banyak digunakan dalam pembuatan komponen elektronik seperti transistor, dioda, dan chip komputer.

a. Struktur Semikonduktor

Struktur semikonduktor bersifat kristalin, yang berarti atom-atom semikonduktor disusun secara teratur dalam pola tiga dimensi. Struktur kristal ini memungkinkan semikonduktor untuk memiliki pita energi (*energy bands*) yang jelas, yang terdiri dari pita valensi dan pita konduksi.

a) Pita Valensi

Pita energi yang diisi dengan elektron pada suhu rendah. Elektron-elektron ini terikat erat pada atom dan tidak bebas bergerak.

b) Pita Konduksi

Pita energi yang lebih tinggi, di mana elektron dapat bergerak bebas, memungkinkan konduksi listrik.

Untuk semikonduktor, elektron harus menerima energi (misalnya, dari panas atau cahaya) untuk berpindah ke pita konduksi.

b. Konduktivitas Semikonduktor

Semikonduktor memiliki konduktivitas listrik yang dapat dikendalikan. Pada suhu kamar, semikonduktor seperti silikon hanya memiliki sedikit elektron bebas di pita konduksi, sehingga konduktivitasnya rendah. Namun, dengan adanya dopan (penambahan elemen pengotor), konduktivitasnya dapat ditingkatkan. Elektron dapat dipindahkan ke pita konduksi melalui energi eksternal, seperti suhu tinggi, medan listrik, atau cahaya.

c. Doping

Doping adalah proses menambahkan elemen pengotor (dopan) ke semikonduktor untuk mengubah sifatnya. Ada dua jenis doping utama:

i. Doping tipe n (negatif)

Menambahkan elemen dengan lebih banyak elektron (seperti fosfor pada silikon) yang memberikan elektron bebas tambahan.

ii. Doping tipe p (positif)

Menambahkan elemen dengan sedikit elektron (seperti boron pada silikon) yang menciptakan "lubang" (kekosongan elektron) yang dapat bergerak dan bertindak seperti pembawa muatan positif.

2. Aplikasi dalam Elektronik

Semikonduktor memiliki peran yang sangat penting dalam dunia elektronik dan merupakan komponen dasar dalam berbagai perangkat teknologi modern. Aplikasi semikonduktor di antaranya meliputi:

a. Transistor

Transistor adalah komponen semikonduktor yang berfungsi sebagai penguat atau saklar dalam sirkuit elektronik. Dengan doping yang tepat, transistor dapat mengalihkan arus listrik dan mengontrol aliran sinyal. Ini menjadikan transistor sebagai komponen utama dalam perangkat seperti komputer, telepon seluler, dan radio.

b. Chip Komputer (*Microchip*)

Salah satu aplikasi utama semikonduktor adalah dalam pembuatan chip komputer. Silikon digunakan untuk memproduksi integrated circuits (IC) atau sirkuit terpadu yang merupakan dasar dari hampir semua perangkat elektronik, seperti komputer, ponsel, dan perangkat elektronik lainnya. Chip silikon dapat mengintegrasikan ribuan bahkan jutaan transistor dalam satu chip kecil, yang memungkinkan pemrosesan data yang cepat dan efisien.

c. Dioda dan LED (*Light Emitting Diodes*)

Dioda adalah komponen semikonduktor yang memungkinkan arus listrik mengalir hanya dalam satu arah. LED adalah jenis dioda yang memancarkan cahaya saat arus listrik mengalir melaluinya. LED digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari

indikator pada perangkat elektronik hingga layar televisi dan pencahayaan.

d. Sel Surya

Semikonduktor seperti silikon juga digunakan dalam pembuatan sel surya untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Material semikonduktor ini memungkinkan konversi foton dari cahaya matahari menjadi elektron yang dapat mengalir sebagai arus listrik.

3. Proses Pembuatan Semikonduktor

Pembuatan semikonduktor adalah proses yang sangat kompleks yang melibatkan beberapa tahap pengolahan bahan baku, pemurnian, dan fabrikasi untuk menghasilkan chip semikonduktor yang berkualitas tinggi.

a. Pembuatan Kristal Silikon

Proses pertama dalam pembuatan semikonduktor adalah pembuatan kristal silikon murni, yang dimulai dengan penambangan bijih silika. Kemudian, silikon murni diproduksi melalui proses pemurnian yang sangat cermat untuk menghilangkan kontaminasi. Salah satu metode umum yang digunakan adalah proses Czochralski, di mana silikon murni dipanaskan dan dicairkan, lalu kristal silikon ditarik secara perlahan untuk membentuk kristal tunggal besar.

b. Doping dan Pembuatan Struktur

Setelah kristal silikon siap, langkah berikutnya adalah doping silikon untuk mengubah sifat konduktivitasnya. Proses ini dilakukan dengan menyuntikkan elemen pengotor seperti fosfor atau boron ke dalam kristal

silikon dengan menggunakan proses diffusi atau implantasi ion. Ini memungkinkan pembuatan lapisan semikonduktor tipe p dan n yang diperlukan untuk membuat komponen seperti transistor.

c. Fotolitografi dan Pembuatan Sirkuit Terpadu

Selanjutnya, lapisan tipis material semikonduktor (silikon) akan diproses melalui fotolitografi, yang menggunakan cahaya untuk mentransfer pola sirkuit ke permukaan silikon. Dengan menggunakan teknik ini, pola sirkuit yang sangat kecil dan kompleks dapat dibuat untuk menghasilkan komponen elektronik seperti transistor, kapasitor, dan resistor dalam satu chip.

d. Penyelesaian dan Pengujian

Setelah sirkuit terpadu terbentuk, chip semikonduktor diuji untuk memastikan bahwa ia berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Proses pengujian ini melibatkan pemeriksaan performa, daya tahan, dan keandalan chip dalam berbagai kondisi operasional.

2.3.6 Biomaterial

1) Definisi Biomaterial dan Penggunaannya dalam Dunia Medis

Biomaterial adalah bahan yang digunakan dalam aplikasi medis untuk berinteraksi dengan jaringan tubuh manusia. Biomaterial ini dapat berupa material alami atau sintetis yang dirancang untuk meniru atau menggantikan fungsi biologis dalam tubuh. Penggunaannya sangat luas dalam dunia medis, mulai dari alat medis seperti alat bedah,

prostetik, hingga penggunaan dalam terapi regeneratif seperti implan dan bahan yang mendukung pertumbuhan jaringan.

Biomaterial dapat digunakan untuk menggantikan atau memperbaiki fungsi tubuh yang hilang atau rusak, serta untuk meningkatkan kualitas hidup pasien dengan mendukung atau memfasilitasi proses penyembuhan. Salah satu contoh paling umum adalah implantasi prostetik, yang menggantikan bagian tubuh yang hilang, atau alat bantu medis yang membantu memulihkan fungsi tubuh setelah cedera atau penyakit.

2) Jenis Biomaterial

Biomaterial dapat dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan fungsinya dan interaksi dengan tubuh. Jenis-jenis biomaterial ini termasuk plastik medis, bahan implantasi, dan bahan regeneratif

a) Plastik Medis

Plastik medis adalah bahan polimer yang digunakan dalam pembuatan berbagai alat medis. Plastik medis memiliki keunggulan karena kemudahan dalam pembentukan dan biokompatibilitas yang baik. Plastik ini digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dalam pembuatan alat suntik, kantong darah, dan peralatan medis lainnya.

Contoh Plastik Medis

- i. Polietilena (PE) dan Polipropilena (PP) digunakan dalam pembuatan alat medis sekali pakai, seperti kantong infus dan masker bedah,

karena kemampuannya untuk bertahan dalam kondisi sterilisasi.

- ii. Polikarbonat digunakan dalam pembuatan peralatan medis yang memerlukan kekuatan mekanik, seperti wadah penyimpanan obat dan alat bantu pernapasan.

b) Bahan Implantasi

Bahan implantasi adalah biomaterial yang digunakan untuk menggantikan atau memperbaiki bagian tubuh yang rusak atau hilang. Implantasi ini termasuk protesa (pengganti anggota tubuh), implan gigi, dan pembedahan tulang. Bahan-bahan ini dirancang untuk berfungsi dalam tubuh manusia dalam jangka waktu lama tanpa menyebabkan reaksi negatif dari sistem imun tubuh.

Contoh Bahan Implantasi

i. Titanium

Material ini sering digunakan dalam pembuatan implan gigi dan pengganti sendi karena sifatnya yang ringan, kuat, tahan terhadap korosi, dan biokompatibel.

ii. Stainless Steel

Bahan ini banyak digunakan untuk pembuatan peralatan medis seperti pin tulang dan pengikat fraktur karena kekuatan dan ketahanannya terhadap deformasi.

3) Bahan Regeneratif

Bahan regeneratif digunakan dalam terapi regeneratif untuk mendukung atau merangsang penyembuhan jaringan tubuh. Bahan ini melibatkan penggunaan *scaffold* (kerangka) yang digunakan untuk menumbuhkan sel dan jaringan baru, atau menggunakan biomaterial untuk membantu regenerasi organ dan jaringan yang rusak.

Contoh Bahan Regeneratif

i. Kolagen

Kolagen adalah protein alami yang ditemukan dalam jaringan ikat manusia dan digunakan sebagai bahan *scaffold* untuk mendukung pertumbuhan sel dalam terapi regeneratif.

ii. Hydrogel

Hydrogel digunakan dalam pembuatan *scaffold* yang dapat menyimpan air dan membantu proses penyembuhan dengan menyediakan lingkungan yang lembab bagi sel dan jaringan.

4) Tantangan dalam Pengembangan Biomaterial dan Biokompatibilitas

Meskipun biomaterial menawarkan banyak manfaat dalam dunia medis, ada berbagai tantangan yang dihadapi dalam pengembangan dan penerapan bahan-bahan ini, terutama terkait dengan biokompatibilitas dan interaksi dengan tubuh manusia.

1) Biokompatibilitas

Biokompatibilitas mengacu pada kemampuan biomaterial untuk berinteraksi dengan tubuh manusia

tanpa menyebabkan reaksi imun atau peradangan yang merugikan. Bahan yang tidak biokompatibel dapat menyebabkan penolakan oleh tubuh atau infeksi, yang dapat merusak perangkat medis atau memperburuk kondisi pasien.

a) Reaksi Imun

Salah satu tantangan terbesar dalam pengembangan biomaterial adalah memastikan bahwa bahan tersebut tidak menimbulkan reaksi imun yang merugikan. Misalnya, implan logam seperti titanium dan stainless steel harus dipastikan tidak menyebabkan iritasi atau penolakan tubuh, yang bisa mengarah pada kegagalan implan.

b) Penghancuran dan Pembusukan

Beberapa biomaterial, terutama yang berasal dari bahan alami, dapat terdegradasi oleh enzim atau mikroorganisme dalam tubuh. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa bahan tersebut memiliki daya tahan yang cukup untuk bertahan dalam tubuh tanpa menimbulkan efek samping.

2) Kekuatan dan Ketahanan

Untuk bahan implantasi, tantangan lainnya adalah memastikan bahwa bahan yang digunakan memiliki kekuatan mekanik yang cukup untuk menahan beban dan tekanan yang diberikan oleh tubuh. Bahan yang terlalu rapuh atau lemah dapat menyebabkan kegagalan implan, yang memerlukan prosedur medis tambahan.

Contoh Tantangan

Implan tulang dan gigi harus cukup kuat untuk menahan gaya dan tekanan yang datang dari aktivitas fisik sehari-hari, namun tetap ringan dan nyaman untuk pasien.

3) Pembuatan dan Sterilisasi

Pembuatan biomaterial yang memenuhi standar medis sangat rumit dan membutuhkan kontrol kualitas yang ketat. Selain itu, banyak biomaterial, seperti alat bedah dan peralatan medis, harus dapat disterilkan dengan metode seperti autoklafing tanpa merusak struktur atau sifat bahan. Ini menjadi tantangan tersendiri karena beberapa bahan mungkin tidak tahan terhadap suhu tinggi atau bahan kimia yang digunakan dalam proses sterilisasi.

4) Biodegradabilitas dan Keberlanjutan

Untuk beberapa aplikasi biomaterial, seperti bahan regeneratif, penting agar material tersebut dapat terurai dalam tubuh setelah melakukan fungsi yang diperlukan. Pengembangan biomaterial dengan biodegradabilitas yang baik menjadi tantangan karena material tersebut harus mengurai dengan cara yang aman dan tidak menghasilkan produk sampingan yang berbahaya bagi tubuh.

2.4 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material adalah kemampuan bahan untuk menahan beban atau tekanan tanpa mengalami kerusakan atau kegagalan. Memahami sifat mekanik sangat penting

dalam desain rekayasa untuk memastikan bahwa material yang digunakan dalam struktur atau perangkat tertentu akan berfungsi dengan baik di bawah kondisi yang dihadapi. Sifat mekanik ini meliputi berbagai parameter, termasuk kekuatan material, elastisitas, kekerasan, keuletan, dan ketangguhan.

2.4.1 Kekuatan Material

Kekuatan material mengacu pada kemampuan suatu material untuk menahan beban tanpa gagal atau rusak. Secara umum, kekuatan material diukur dengan menguji ketahanan material terhadap berbagai jenis gaya atau beban, seperti gaya tarik, kompresi, atau geser. Ada beberapa jenis kekuatan material yang diukur, yang paling sering adalah kekuatan luluh (*yield strength*) dan kekuatan tarik (*tensile strength*).

a) Kekuatan Luluh (*Yield Strength*)

Kekuatan luluh adalah gaya atau tegangan pada titik di mana material mulai mengalami deformasi plastis yang permanen. Pada titik ini, material tidak akan kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Kekuatan luluh penting untuk mendesain komponen yang harus bekerja di bawah beban yang tidak menyebabkan kerusakan permanen.

Pentingnya Kekuatan Luluh dalam Desain

1. Dalam rekayasa struktural, kekuatan luluh digunakan untuk menentukan batas aman beban yang dapat diterima oleh material tanpa menyebabkan kerusakan permanen.
2. Material dengan kekuatan luluh tinggi dapat digunakan dalam aplikasi yang memerlukan

ketahanan terhadap beban besar, seperti pada jembatan, gedung bertingkat, dan komponen mesin.

b) Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik adalah gaya maksimum yang dapat ditahan oleh material saat diberi beban tarik sebelum mengalami kegagalan atau patah. Kekuatan tarik adalah salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan material, khususnya dalam aplikasi di mana material akan mengalami tarikan atau peregangan.

Pengukuran Kekuatan Tarik

1. Kekuatan tarik diukur menggunakan uji tarik, di mana material yang diuji dikenakan beban tarik secara perlahan hingga material tersebut pecah atau putus. Dari uji tarik ini, dihasilkan kurva tegangan-regangan yang memberikan informasi penting tentang kekuatan material.

Pentingnya Kekuatan Tarik dalam Desain

2. Kekuatan tarik sangat penting dalam desain kabel, kawat, batang, dan elemen struktural lainnya yang akan mengalami tarikan. Material dengan kekuatan tarik tinggi digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap deformasi atau kerusakan akibat tarikan yang besar.

2.4.2 Pengujian Tegangan - Strain

Pengujian Tegangan-Strain digunakan untuk mengukur respons material terhadap gaya eksternal yang diterapkan

dan untuk menghasilkan kurva tegangan-regangan yang menggambarkan hubungan antara tegangan (gaya per unit luas) dan regangan (perubahan panjang relatif) material. Kurva ini sangat berguna untuk memahami bagaimana material akan berperilaku di bawah berbagai kondisi beban.

a) Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah gaya per unit area yang diterapkan pada material. Secara matematis, tegangan dihitung dengan rumus.

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

Dimana :

σ = Tegangan

F = Gaya yang diterapkan

A = Luas Penampang Material yang dikenai gaya

b) Regangan (*Strain*)

Regangan adalah perubahan panjang relatif yang terjadi pada material akibat gaya yang diterapkan. Regangan dihitung dengan rumus :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Dimana :

ε = Regangan

ΔL = Perubahan panjang material akibat gaya

L_0 = Panjang awal material

c) Kurva Tegangan-Regangan

Kurva tegangan-regangan menggambarkan bagaimana tegangan dan regangan saling berhubungan saat material diuji. Kurva ini biasanya dibagi menjadi beberapa tahap penting:

i. Tegangan Elastis

Pada awalnya, material akan mengalami deformasi elastis, di mana material kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Pada tahap ini, hubungan antara tegangan dan regangan adalah linier, dan material mengikuti hukum Hooke (tergantung pada modulus elastisitasnya).

ii. Batas Proporcional (*Proportional Limit*)

Ini adalah titik di mana kurva tegangan-regangan mulai melengkung. Sebelum titik ini, material akan kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Setelah titik ini, material mulai mengalami deformasi plastis.

iii. Batas Luluh (*Yield Point*)

Titik di mana material mulai mengalami deformasi plastis yang permanen, yaitu ketika material melewati kekuatan luluh. Ini menandakan bahwa material tidak akan kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan.

iv. Kekuatan Tarik Maksimum (*Ultimate Tensile Strength*)

Titik di mana material mencapai kekuatan tarik maksimum sebelum mengalami kerusakan atau patah. Setelah titik ini, material akan mulai mengendur atau mengembang hingga akhirnya pecah.

v. Fraktur (*Fracture Point*)

Titik di mana material akhirnya patah atau pecah setelah mengalami deformasi yang signifikan.

- d) Interpretasi Kurva Tegangan-Strain
 - i. Kurva tegangan-regangan memberikan wawasan tentang sifat elastis dan plastis material.
 - ii. Kurva ini memungkinkan perancang untuk menentukan apakah material cocok untuk aplikasi tertentu berdasarkan kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan keuletannya.
- e) Pentingnya Pengujian Tegangan-Strain dalam Desain
 - i. Pengujian ini digunakan untuk menentukan bahan mana yang dapat menangani beban atau tekanan tinggi tanpa mengalami kegagalan.
 - ii. Pengujian tegangan-regangan memberikan informasi penting tentang batas elastis material dan kemampuan material untuk menahan deformasi plastis, yang sangat penting dalam aplikasi seperti jembatan, bangunan, dan mesin.

2.4.2 Kekerasan Material

1) Pengertian Kekerasan Material

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik material yang menggambarkan kemampuannya untuk menahan penetrasi, goresan, atau deformasi plastis akibat gaya eksternal. Kekerasan sering kali berhubungan erat dengan ketahanan material terhadap aus, keausan, dan deformasi permanen. Secara umum, pengujian kekerasan digunakan sebagai metode kontrol kualitas dalam industri manufaktur karena sifatnya yang relatif cepat dan non-destruktif.

2) Pengujian kekerasan Brinell, Vickers, dan Rockwell

Terdapat berbagai metode pengujian kekerasan, yang paling umum digunakan adalah :

a. Pengujian kekerasan Brinell (HB)

Metode Brinell menggunakan bola baja atau tungsten carbide dengan diameter standar (biasanya 10 mm) yang ditekan ke permukaan material menggunakan beban tertentu. Diameter cekungan yang dihasilkan kemudian diukur untuk menentukan nilai kekerasan. Rumus untuk menghitung kekerasan Brinell yaitu :

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

Dimana :

P = Beban Uji (kgf)

D = Diameter bola indenter (mm)

d = Diameter cekungan yang terbentuk (mm)

Kelebihan metode ini adalah dapat digunakan untuk material dengan struktur kasar atau tidak seragam, namun tidak cocok untuk material tipis.

b. Pengujian Kekerasan Vickers (HV)

Metode Vickers menggunakan indenter berbentuk piramida berlian dengan sudut 136°. Beban yang digunakan bervariasi, dan nilai kekerasan dihitung berdasarkan panjang

diagonal jejak indentasi yang dihasilkan. Rumus perhitungannya adalah:

$$HV = \frac{1.854 P}{d^2}$$

Dimana :

P = Beban Uji (kgf)

d = Panjang diagonal rata – rata identitas (mm)

Keunggulan metode ini adalah akurasinya yang tinggi serta kemampuan menguji material yang sangat keras, namun memerlukan alat pengukuran yang lebih canggih.

c. Pengujian Kekerasan Rockwell (HR)

Metode Rockwell mengukur kedalaman penetrasi indenter ke dalam material di bawah beban minor dan mayor. Ada beberapa skala dalam Rockwell, di antaranya :

- a) Skala B (HRB) : Menggunakan bola baja 1/16 inci dengan beban 100 kgf (digunakan untuk material lunak seperti kuningan dan aluminium)
- b) Skala C (HRC) : Menggunakan kerucut berlian (Brale) dengan beban 150 kgf (digunakan untuk material keras seperti baja).

Keuntungan metode ini adalah kemudahan penggunaan dan hasil yang dapat langsung dibaca tanpa pengukuran tambahan.

- d. Hubungan kekerasan dengan kekuatan Tarik
Terdapat korelasi antara nilai kekerasan dan kekuatan tarik material. Secara empiris, hubungan antara kekerasan Brinell (HB) dan tegangan tarik (TS) dalam MPa dapat dinyatakan dengan:

$$TS = 3.45 \times HB$$

Hubungan serupa juga berlaku untuk kekerasan Vickers (HV):

$$TS = 3.2 \times HV$$

Rumus ini digunakan dalam industri untuk memperkirakan kekuatan tarik material tanpa perlu melakukan pengujian tarik yang lebih rumit.

- e. Sifat material berdasarkan uji kekerasan
Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, sifat mekanik material dapat dikategorikan sebagai berikut:
- a) Material Lunak (seperti aluminium, timah, dan kuningan) memiliki nilai kekerasan rendah dan cenderung mudah mengalami deformasi plastis.

- b) Material Sedang (seperti baja karbon rendah) menunjukkan keseimbangan antara kekerasan dan keuletan.
- c) Material Keras (seperti baja paduan tinggi dan keramik) memiliki nilai kekerasan tinggi, ketahanan aus yang baik, tetapi cenderung lebih getas.

2.4.3 Keuletan dan Ketangguhan

1) Keuletan (*Ductility*)

Keuletan merupakan kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis yang signifikan sebelum mengalami kegagalan atau patah. Material yang memiliki keuletan tinggi dapat mengalami perpanjangan (elongasi) atau pengurangan luas penampang yang besar sebelum patah. Keuletan sangat penting dalam aplikasi teknik, terutama untuk material yang digunakan dalam kondisi dinamis atau beban berulang.

Terdapat dua parameter utama yang digunakan untuk mengukur keuletan:

a) Elongasi (% Elongation, % EL)

Elongasi adalah persentase perubahan panjang suatu spesimen setelah mengalami pembebanan tarik hingga patah, yang dinyatakan dengan rumus:

$$\%EL = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$$

Dimana :

L_f = Panjang akhir spesimen setelah uji Tarik (mm)

L_o = Panjang awal spesimen sebelum uji Tarik (mm)

- b) Pengurangan Luas Penampang (%RA – Reduction of area)

Pengurangan luas penampang mengindikasikan seberapa besar reduksi luas penampang setelah terjadi fraktur.

$$\%RA = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100\%$$

Dimana :

A_o = Luas Penampang awal (mm^2)

A_f = Luas Penampang setelah patah (mm^2)

Material dengan nilai elongasi dan pengurangan luas penampang yang tinggi, seperti baja lunak dan aluminium, lebih tahan terhadap deformasi tanpa mengalami patah.

- 2) Ketangguhan (*Toughness*)

Ketangguhan adalah kemampuan material untuk menyerap energi sebelum mengalami kegagalan atau patah. Semakin tinggi ketangguhan suatu material, semakin banyak energi yang dapat diserap tanpa mengalami fraktur. Ketangguhan sangat penting dalam aplikasi yang melibatkan benturan atau perubahan beban mendadak, seperti struktur jembatan, pesawat, dan kendaraan.

Ketangguhan suatu material dapat diukur melalui uji impak (impact test), yang meliputi:

a) Uji Charpy

Dalam uji Charpy, spesimen berbentuk balok dengan takikan diletakkan pada dua tumpuan dan dihantam dengan bandul berayun. Energi yang diserap selama patahnya spesimen menunjukkan tingkat ketangguhan material.

b) Uji Izod

Uji ini mirip dengan uji Charpy tetapi spesimen dijepit dalam posisi tegak, dengan takikan menghadap ke arah pukulan.

Material yang memiliki kombinasi keuletan tinggi dan kekuatan tinggi seperti baja tahan karat sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan ketangguhan tinggi.

3) Pengujian Kelelahan (*Fatigue*) dan Dampaknya pada Ketangguhan Material

Kelelahan (*fatigue*) adalah fenomena di mana material mengalami kegagalan setelah terkena beban berulang dalam jangka waktu yang lama, meskipun tegangan yang diterapkan lebih kecil dari batas luluhnya. Kegagalan akibat kelelahan sering kali bersifat mendadak dan terjadi tanpa deformasi plastis yang signifikan.

a. Tahapan Kegagalan Kelelahan

1. Inisiasi retak

Mikro-retakan muncul pada titik konsentrasi tegangan, seperti sudut tajam, goresan, atau cacat permukaan.

2. Propagasi retak

Retakan kecil terus berkembang di sepanjang butiran material akibat beban berulang.

3. Patah akhir

Ketika luas penampang yang tersisa tidak lagi mampu menahan beban, patah terjadi secara tiba-tiba.

b. Pengujian Kelelahan

Pengujian kelelahan dilakukan untuk menentukan batas kelelahan (*fatigue limit*), yaitu tegangan maksimum yang dapat ditahan material dalam jumlah siklus tertentu tanpa mengalami kegagalan. Uji yang umum digunakan:

1. Rotating Beam Test

Spesimen diputar sambil dikenai beban siklik.

2. Axial Fatigue Test

Beban tarik dan tekan diberikan secara berulang.

3. Bending Fatigue Test

Pembebanan lentur berulang diterapkan pada spesimen.

c. Dampak Fatigue pada Ketangguhan

Material yang mengalami kelelahan akan menunjukkan penurunan ketangguhan karena adanya akumulasi mikro-retakan yang mengurangi kemampuannya dalam menyerap energi. Oleh karena itu, material dengan ketangguhan tinggi cenderung lebih tahan terhadap kegagalan akibat kelelahan, terutama jika memiliki struktur mikro yang seragam dan minim cacat.

2.4.4 Creep

Definisi dan Contoh Creep dalam Logam dan Polimer

Creep adalah deformasi plastis yang terjadi secara perlahan pada suatu material ketika dikenakan beban tetap dalam jangka waktu yang lama, terutama pada suhu tinggi. Fenomena ini umum terjadi pada logam, polimer, dan keramik, terutama dalam aplikasi yang beroperasi pada suhu tinggi, seperti turbin gas, pipa boiler, dan reaktor nuklir. Contoh creep dalam berbagai material:

Logam

Pada bilah turbin pesawat jet yang bekerja dalam suhu tinggi dan beban konstan, material dapat mengalami perpanjangan secara perlahan.

Polimer

Pipa PVC yang menahan tekanan fluida dalam jangka panjang dapat mengalami deformasi permanen meskipun beban tidak berubah.

Pengaruh Suhu Tinggi dan Waktu terhadap Deformasi Material

Creep sangat dipengaruhi oleh suhu tinggi dan waktu pemaparan beban. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui kurva creep, yang terbagi menjadi tiga tahap utama:

Primary Creep (Creep Primer)

Deformasi terjadi dengan laju cepat pada awal pembebanan, tetapi melambat karena kerja penguatan material.

Secondary Creep (Creep Sekunder)

Laju deformasi stabil, mendekati konstan. Ini adalah tahap paling lama dalam kebanyakan kasus.

Tertiary Creep (Creep Tersier)

Deformasi meningkat dengan cepat akibat mikro-retak dan perubahan struktur mikro, yang akhirnya menyebabkan kegagalan material.

Kecepatan creep bergantung pada mekanisme difusi atom dalam material, yang semakin dominan pada suhu tinggi. Oleh karena itu, dalam rekayasa material, penguatan struktur mikro dan pemilihan material tahan creep menjadi aspek penting dalam desain komponen untuk kondisi suhu ekstrem.

2.4.5 Fatigue

1) Pengaruh Siklus Beban terhadap Ketahanan Material

Fatigue adalah kegagalan material akibat pembebanan berulang (siklik) dalam jangka waktu lama, meskipun tegangan yang diterapkan lebih kecil dari batas luluh material. Fatigue umumnya terjadi pada komponen mesin, jembatan, dan pesawat, di mana struktur mengalami variasi beban secara terus-menerus.

Fatigue terjadi dalam tiga tahapan utama:

1) Inisiasi Retak

Mikro-retak mulai terbentuk di daerah dengan konsentrasi tegangan tinggi, seperti lubang, sudut tajam, atau cacat permukaan.

2) Propagasi Retak

Retak kecil mulai tumbuh dengan setiap siklus beban, semakin memperlemah material.

3) Patah Akhir

Setelah luas penampang kritis berkurang, material mengalami kegagalan tiba-tiba tanpa peringatan deformasi yang signifikan.

Karena kegagalan fatigue sering tidak menunjukkan tanda-tanda sebelumnya, metode deteksi dini seperti pengujian ultrasonik dan radiografi diperlukan untuk mencegah kecelakaan akibat retak fatigue

2) Kurva S-N (Stress – Number Of Cycles) dalam pengujian Fatigue

Ketahanan material terhadap fatigue diuji menggunakan kurva S-N, yang menunjukkan hubungan antara tegangan siklik (S) dan jumlah siklus hingga patah (N).

1. Sumbu X (log scale): Jumlah siklus (N), biasanya dalam satuan logaritmik.
2. Sumbu Y (linear scale): Tegangan maksimum (S) yang diterapkan pada material.

Dari kurva ini, ada dua pola utama yaitu :

- 1) Material dengan Batas Fatigue (Fatigue Limit): Pada beberapa material seperti baja karbon dan paduan titanium, terdapat ambang batas di mana jika tegangan di bawah batas ini, material tidak akan

mengalami fatigue meskipun siklusnya tidak terbatas.

- 2) Material tanpa Batas Fatigue: Material seperti aluminium dan tembaga tidak memiliki batas fatigue yang jelas, sehingga semakin banyak siklus, semakin besar kemungkinan terjadi kegagalan.

Pengujian fatigue biasanya dilakukan dengan metode:

- a. Rotating Beam Test: Beban tarik dan tekan diterapkan secara bergantian dalam arah radial.
- b. Axial Fatigue Test: Material dikenakan beban tarik dan tekan berulang dalam arah longitudinal.

Peningkatan daya tahan terhadap fatigue dapat dilakukan dengan:

- a. Menghilangkan cacat permukaan yang menjadi titik inisiasi retak.
- b. Menggunakan perlakuan panas untuk mengurangi tegangan sisa.
- c. Melakukan shot peening untuk memperkuat permukaan material.

Dengan memahami karakteristik fatigue dan creep, insinyur dapat memilih material yang lebih tahan terhadap beban siklik dan kondisi suhu tinggi, sehingga meningkatkan keandalan struktur teknik.

2.5 Proses Pembuatan Material

Material teknik dibuat melalui berbagai proses yang kompleks dan spesifik, bergantung pada sifat dan aplikasi

material tersebut. Proses manufaktur ini mencakup logam dan paduan, polimer, keramik dan kaca, serta komposit.

2.5.1 Pembuatan Logam dan Paduan

Logam dan paduan dibuat melalui proses ekstraksi dari bijih mentah dan kemudian diolah menjadi bentuk yang sesuai dengan aplikasi teknik.

A. Proses Peleburan Bijih Besi Menjadi Baja

Besi dan baja diproduksi dari bijih besi menggunakan tanur tinggi (*blast furnace*). Proses ini mencakup beberapa tahapan utama.

1) Reduksi bijih besi

Bijih besi dicampur dengan kokas dan batu kapur lalu dipanaskan dalam tanur tinggi hingga mencapai suhu sekitar 1500°C.

2) Pembentukan besi kasar (pig iron)

Hasil reaksi berupa besi cair yang masih mengandung karbon tinggi.

3) Konversi menjadi baja

Melalui proses konverter, kandungan karbon dikurangi dengan meniupkan oksigen sehingga menghasilkan baja dengan sifat yang lebih sesuai untuk aplikasi teknik.

B. Proses Pembuatan Paduan Logam

Logam seperti aluminium, tembaga, dan nikel diproses dari bijihnya menggunakan metode pemurnian seperti *electrorefining* dan *Bayer process* (untuk aluminium).

C. Pengolahan Logam

Setelah logam diproduksi, material ini dapat diolah lebih lanjut melalui berbagai metode:

- 1) Penempaan (Forging) – Logam dipanaskan dan dibentuk dengan tekanan tinggi untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya.
- 2) Pengecoran (Casting) – Logam cair dituangkan ke dalam cetakan untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan.
- 3) Pengelasan (Welding) – Menggabungkan dua atau lebih bagian logam dengan pemanasan hingga titik leleh.

2.5.2 Proses Pembuatan Polimer

Polimer adalah material organik yang dibuat dari rantai panjang molekul hidrokarbon. Ada dua jenis utama polimer: termoplastik dan termoset.

- a) Polimerisasi dan Pembuatan Termoplastik serta Termoset
 - 1) Termoplastik – Dapat dilelehkan kembali setelah pendinginan, contoh: polietilena dan polipropilena.
 - 2) Termoset – Setelah mengalami pemanasan dan pengerasan, tidak dapat dilelehkan kembali, contoh: resin epoksi dan bakelit.
- b) Aplikasi dan Tantangan dalam Pembuatan Polimer
 - 1) Aplikasi: Polimer digunakan dalam berbagai industri, termasuk otomotif, elektronik, dan medis.
 - 2) Tantangan: Produksi polimer menghadapi tantangan dalam pengelolaan limbah plastik dan pencemaran lingkungan

2.5.3 Proses Pembuatan Keramik dan Kaca

Keramik dan kaca adalah material non-logam yang dibuat melalui proses pembakaran dan pemadatan pada suhu tinggi.

a) Proses Pembuatan Keramik

1. Pembentukan – Menggunakan metode seperti *hydroplastic forming* dan *slip casting* untuk mencetak tanah liat.
2. Sintering – Proses pemanasan hingga mendekati titik leleh untuk meningkatkan kekuatan mekanik

b) Pembuatan Kaca

1. Pengolahan bahan baku – Silika, soda, dan kapur dilebur dalam tungku dengan suhu tinggi.
2. Pendinginan terkendali – Mencegah tegangan internal dan meningkatkan transparansi kaca.

2.5.4 Pembuatan Komposit

Material komposit dibuat dengan menggabungkan dua atau lebih material yang memiliki sifat berbeda untuk menghasilkan kombinasi sifat unggul.

a) Teknik Pembuatan Komposit

- 1) Pultrusion – Metode produksi batang atau tabung serat komposit yang terus menerus.
- 2) Filament Winding – Proses membungkus serat secara spiral pada suatu mandrel untuk menciptakan struktur tabung.
- 3) Prepreg – Serat diperkuat dengan resin sebelum diproses lebih lanjut.

- b) Penggunaan Komposit dalam Industri Berat
 - 1) Digunakan dalam industri dirgantara, otomotif, dan konstruksi karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi serta ketahanan terhadap korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, M. F., Shercliff, H., & Cebon, D. (2019). *Materials: Engineering, Science, Processing and Design* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Budinski, K. G., & Budinski, M. K. (2010). *Engineering materials: Properties and selection* (9th ed.). Pearson.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Chawla, K. K. (2012). *Composite materials: Science and engineering* (3rd ed.). Springer.
- Dietrich, G., & Johnson, R. (2017). *Materials processing and manufacturing science*. Springer.
- Flinn, R. A., & Trojan, P. K. (2010). *Engineering materials and their applications* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Ghosh, S. (2015). *Manufacturing science and engineering*. CRC Press.
- Groover, M. P. (2019). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (6th ed.). Wiley.
- Hull, D., & Clyne, T. W. (2017). *An introduction to composite materials* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2017). *Manufacturing engineering & technology* (8th ed.). Pearson.

- Martin, J. (2006). *Materials for engineering*. Woodhead Publishing.
- Shackelford, J. F. (2014). *Introduction to materials science for engineers* (8th ed.). Pearson.
- Smith, W. F., & Hashemi, J. (2019). *Foundations of materials science and engineering* (6th ed.). McGraw-Hill.

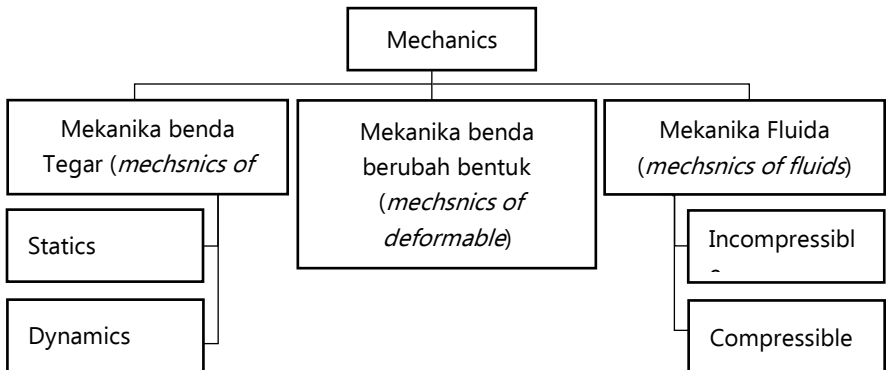
BAB 3

MEKANIKA TEKNIK

3.1 Istilah Mekanika Teknik

Mekanika Teknik adalah ilmu yang mempelajari gaya dan gerakan yang terjadi pada benda atau struktur yang berada dalam kondisi stabil atau mengalami perubahan. Penjelasan statika struktur adalah mekanika benda tegar (*mechanics of rigid bodies*), mekanika benda berubah bentuk (*mechanics of deformable*), dan mekanika fluida (*mechanics of fluids*). (Beer et al. 1987)

Gambar 3. 1 : Bagan Cabang Ilmu Mekanika



Fokus utamanya pada pembahasan kali ini adalah untuk memahami bagaimana benda atau struktur tersebut merespons gaya-gaya yang diberikan, baik dalam keadaan diam (*statics*) maupun bergerak (*dynamics*).

Pengertian Statika Struktur

Statika struktur merupakan cara kita menganalisa suatu benda dalam keadaan kaku atau diam, mempelajari tentang gaya-gaya bekerja pada struktur dan benda tanpa menyebabkan gerakan. Ini mencakup konsep keseimbangan gaya, analisis struktur, dan penerapan prinsip-prinsip mekanika untuk desain yang aman dan efisien.

Pengertian Dinamika

Dinamika mempelajari tentang gerakan benda dan gaya-gaya yang disebabkan gerakan dari benda tersebut. Berbeda dengan statika benda diam yang berfokus pada keseimbangan, dinamika menganalisis benda yang bergerak, serta bagaimana gaya memengaruhi perubahan gerakan.

Ruang Lingkup dan Pentingnya Mekanika Teknik

Secara lebih spesifik, Mekanika Teknik mencakup analisis terhadap kekuatan, deformasi, dan kestabilan suatu struktur atau material, serta aplikasi prinsip-prinsip tersebut untuk merancang dan menganalisis sistem teknik yang efisien dan aman.

Dalam bidang ini, sering digunakan konsep-konsep seperti tegangan, regangan, momen, gaya geser, dan lain-lain untuk memahami bagaimana komponen struktur akan bertindak dalam berbagai kondisi yang mungkin terjadi.

Sejarah Singkat dan Perkembangan Mekanika Teknik

Studi mengenai mekanika telah ada sejak zaman kuno, dengan tokoh-tokoh penting seperti Archimedes (287–212

SM) yang membahas prinsip pengungkit dan prinsip pengapungan, kemudian kemajuan awal tentang hukum kombinasi vektor gaya oleh Stevinus (1548-1620) dan persoalan dinamika teknik dimulai oleh Galileo (1564-1642). Namun, rumusan yang memadai dari prinsip-prinsip dasar mekanika baru ditemukan pada masa Isaac Newton (1642–1727). Newton merumuskan hukum gerak dan hukum gravitasi yang menjadi dasar bagi mekanika klasik. (Mariam et al. 1994)

Setelah Newton, para ilmuwan seperti d'Alembert, Lagrange, dan Hamilton melanjutkan untuk mengembangkan dan memodifikasi prinsip-prinsip tersebut, sehingga memperkaya wawasan dalam mekanika. Keabsahan prinsip-prinsip ini tetap tak tergoyahkan hingga munculnya teori relativitas yang diperkenalkan oleh Albert Einstein pada tahun 1905. Meskipun keterbatasan mekanika Newton telah dikenali, mekanika tersebut masih tetap menjadi landasan bagi ilmu rekayasa di zaman modern ini.

3.2 Dasar-Dasar Mekanika

Dasar-dasar mekanika mencakup konsep-konsep fundamental yang penting untuk memahami perilaku benda di bawah pengaruh gaya. Berikut adalah beberapa poin kunci dalam dasar-dasar mekanika :

1. Definisi Gaya

Gaya adalah tekanan atau tarikan yang menyebabkan partikel mengalami perubahan dalam gerakan (percepatan) atau bentuk.

2. Hukum Newton

Hukum Newton yang banyak dipergunakan pada mekanika teknik sebagai berikut :

a. Hukum Newton I

Sebuah benda tetap dalam keadaan diam atau bergerak lurus beraturan terkecuali ada gaya yang bekerja partikel tersebut.

b. Hukum Newton II

Percepatan suatu benda sebanding dengan gaya yang diterapkan dan berbanding terbalik dengan massanya.

$$\sum F = ma \quad (3.1)$$

c. Hukum Newton III

Untuk setiap aksi, ada reaksi yang sama dan berlawanan.

$$Aksi = Reaksi \quad (3.2)$$

3. Vektor dan Operasi Vektor

Pengertian Vektor

Vektor adalah besaran yang memiliki dua komponen utama: magnitudo (besar) dan arah.

Vektor sering aplikasikan untuk menggambarkan berbagai fenomena fisik, seperti gaya, kecepatan, dan percepatan. Dalam notasi matematis, vektor sering kali dituliskan dengan huruf tebal atau dengan tanda panah di atas huruf (misalnya, $\mathbf{v}$ atau $\vec{v}$).

Notasi Vektor

Vektor dapat diwakili dalam bentuk komponen. Dalam konteks dua dimensi, vektor $\vec{A}$ dapat ditulis sebagai:

$$\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} \quad (3.3)$$

di mana:

A_x = arah vektor di sumbu x (horizontal),

A_y = arah vektor di sumbu y (vertikal),

$\hat{i}$ dan $\hat{j}$ = vektor satuan di arah sumbu x dan y.

Jenis Operasi Vektor

a. Penjumlahan Vektor

Untuk menjumlahkan dua vektor $\vec{A}$ dan $\vec{B}$, kita menjumlahkan komponen-komponen yang sama:

$$\vec{C} = \vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x) \hat{i} + (A_y + B_y) \hat{j} \quad (3.4)$$

b. Pengurangan Vektor

Untuk mengurangi vektor $\vec{B}$ dari $\vec{A}$, kita kurangi komponen-komponen yang sama:

$$\vec{C} = \vec{A} - \vec{B} = (A_x - B_x) \hat{i} + (A_y - B_y) \hat{j} \quad (3.5)$$

c. Perkalian Skalar dengan Vektor

Saat vektor dikalikan dengan sebuah skalar k , magnitudo vektor akan meningkat atau menurun sesuai nilai skalar tersebut, tetapi arah vektor tetap:

$$\vec{C} = k \vec{A} = (k \cdot A_x) \hat{i} + (k \cdot A_y) \hat{j} \quad (3.6)$$

di mana k merupakan bilangan skalar.

d. Perkalian Vektor (Dot Product)

Dot product antara dua vektor $\vec{A}$ dan $\vec{B}$, adalah hasil dari jumlah dari hasil kali komponen-komponen yang sesuai:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = (A_x \cdot B_x) + (A_y \cdot B_y) \quad (3.7)$$

Hasil dari operasi ini adalah skalar yang menunjukkan seberapa besar satu vektor memengaruhi yang lain.

e. Perkalian Vektor (*Cross Product*)

Cross product antara dua vektor $\vec{A}$ dan $\vec{B}$ menghasilkan vektor baru $\vec{C}$ yang tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh kedua vektor tersebut:

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B} \quad (3.8)$$

Hasilnya adalah vektor dengan magnitudo:

$$|\vec{C}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin(\theta) \quad (3.9)$$

Menentukan sesuai kaidah tangan kanan.

Contoh Penggunaan Vektor

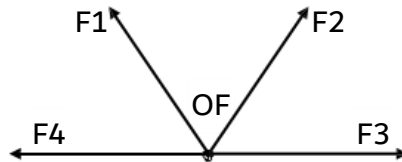
- Gaya:** Vektor gaya menjelaskan tidak hanya kekuatan yang diterapkan tetapi juga arah penerapannya.
- Kecepatan:** Vektor kecepatan menunjukkan seberapa cepat dan ke arah mana suatu objek bergerak.

4. Komposisi Gaya

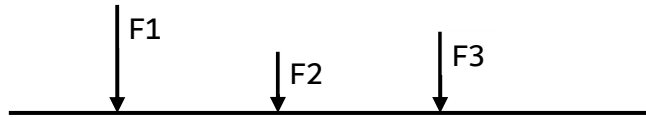
- Gaya Kolinier adalah gaya-gaya yang bekerja sepanjang garis lurus yang sama. Dengan kata lain, gaya-gaya ini memiliki garis aksi yang sama, meskipun arah dan besarnya mungkin berbeda.



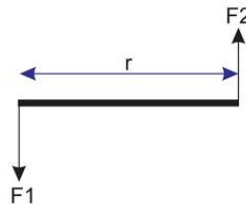
- Gaya Konkuren adalah sekumpulan gaya yang garis aksinya berpotongan pada satu titik yang sama. Dengan kata lain, semua gaya dalam kelompok ini bertemu di satu titik pusat.



- c. Gaya koplanar adalah sekumpulan gaya yang bekerja pada bidang yang sama. Dengan kata lain, semua vektor gaya terletak pada satu bidang datar.

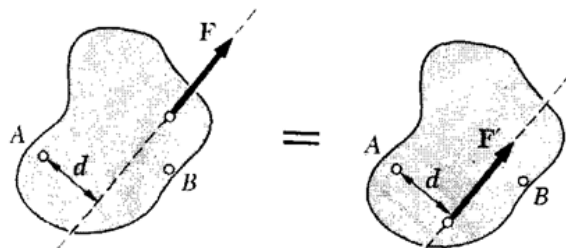


- d. Gaya kopel adalah pasangan dua gaya yang memiliki besar yang sama, arah yang berlawanan, dan garis aksi yang sejajar tetapi tidak berimpit. Gaya kopel menyebabkan benda berputar tanpa translasi.



5. Momen

Momen adalah ukuran kecenderungan suatu gaya untuk memutar suatu objek di sekitar sumbu tertentu. Momen sering juga disebut sebagai torsi.



Momen gaya, atau sering disebut torsi, adalah ukuran kemampuan gaya untuk memutar suatu benda di sekitar sumbu tertentu. Secara matematis, momen gaya (τ) didefinisikan sebagai perkalian antara besar gaya (F) dan jarak tegak lurus (d) dari sumbu putar ke garis aksi gaya.

$$\tau = F \times d \quad (3.10)$$

Dimana :

τ = Momen gaya (Nm)

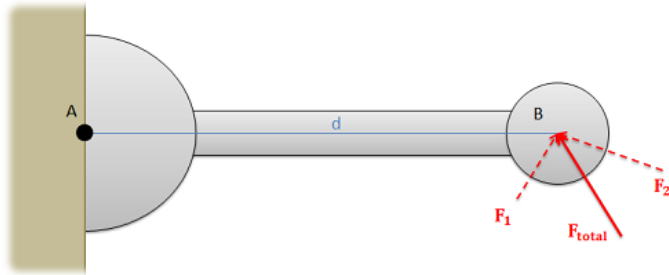
F = Gaya (N)

d = Lengan momen atau jarak tegak lurus (m)

Pengertian Prinsip Varignon

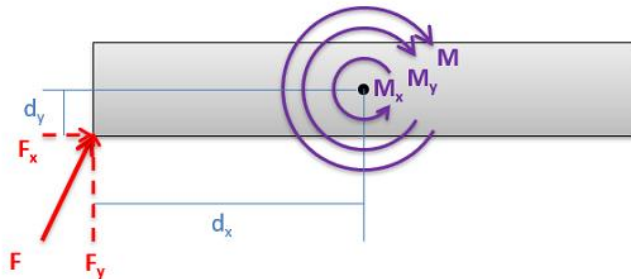
Prinsip Varignon adalah prinsip di dalam mekanika yang berkaitan dengan momen gaya. Prinsip ini menyatakan bahwa momen resultan dari beberapa gaya yang bekerja pada suatu titik sama dengan total momen dari masing-masing gaya pada titik tersebut.

Pada dasarnya, jika kita memiliki dua atau lebih gaya jika kita memiliki dua atau lebih gaya yang terjadi bersamaan, jumlah momen yang dihasilkan oleh masing-masing gaya terhadap satu titik akan sama dengan momen yang dihasilkan oleh jumlah gaya-gaya tersebut terhadap titik yang sama.



Gambar 3. 2 : Prinsip Varignon

Jika beberapa gaya (seperti F_1 dan F_2) digabungkan menjadi satu gaya total (F_{total}), maka efek putaran (momen) yang dihasilkan oleh gaya total tersebut terhadap suatu titik (misalnya, titik A) akan persis sama dengan jumlah efek putaran yang dihasilkan oleh masing-masing gaya individu (F_1 dan F_2) terhadap titik yang sama (titik A).



Gambar 3. 3 : Gaya F yang mempengaruhi efek putaran (Momen)

$$M = M_x + M_y = (F_x \cdot d_y) + (F_y \cdot d_x) \quad (3.11)$$

Di mana:

F = gaya,

F_x dan F_y = komponen gaya,

d_x dan d_y = jarak dari titik poros.

Penerapan Prinsip Varignon

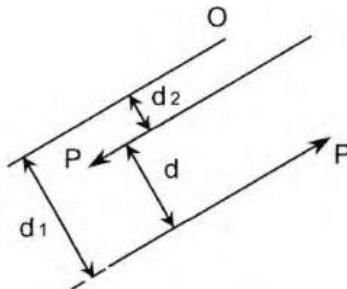
Prinsip Varignon sangat berguna dalam analisis gaya-gaya yang bekerja pada benda tegar. Beberapa penerapan utama Prinsip ini meliputi:

- a. Penyederhanaan Perhitungan Momen: Prinsip ini memungkinkan kita untuk menghitung momen resultan dengan lebih mudah, terutama ketika ada banyak gaya yang bekerja pada suatu titik.
- b. Analisis Struktur: Prinsip ini digunakan untuk menganalisis momen-momen yang bekerja pada struktur seperti jembatan dan bangunan.
- c. Analisis Mekanika: Dalam mekanika, Prinsip ini digunakan untuk menganalisis gerak rotasi benda tegar.

6. Kopel

Kopel adalah dua buah gaya yang berpasangan yang memiliki besaran yang sama dengan arah yang berlawanan, pada garis aksi yang sejajar, tetapi tidak berimpit.

Kopel menghasilkan efek rotasi pada benda tanpa menyebabkan tranlasi (gerakan lurus).



Gambar 3. 4 : Dua buah gaya berpasangan yang berlawanan arah menghasilkan rotasi (Kopel)

Pada gambar diatas menunjukkan dua gaya P sejajar yang berlawanan arah, momen kedua gaya terhadap titik sembarang, diupamakan terhadap titik O dapat ditulis rumus sebagai :

$$M = P.d_1 - P.d_2 = P.(d_1 - d_2) \quad (3.12)$$

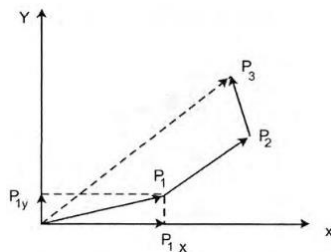
Atau

$$M_o = P.d$$

Dapat disimpulkan Kopel adalah pasangan gaya yang menghasilkan rotasi tanpa translasi. Momen kopel mengukur kemampuan kopel untuk memutar benda. Konsep ini penting dalam mekanika dan teknik.

7. Resultan

Dua gaya atau lebih yang bekerja pada suatu benda dengan arah segaris atau sama disebut resultan gaya searah. Kita menyebutnya sebagai resultan gaya searah. Dalam situasi ini, perhitungan resultan gaya menjadi cukup sederhana.



Gambar 3. 5 : Resultan Gaya yang ditunjukkan pada 2 gaya atau lebih

Pada gambar 3.5 menunjukkan hasil resultan dari tiga gaya P_1, P_2 , dan P_3 .

Garis kerja resultan (R) dapat diperoleh dengan menggambarkan semua gaya dalam arah yang benar dengan menyambungkan dengan masing-masing gaya secara berurutan. Sehingga diperoleh penjumlahan vektir gaya :

$$R = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = \sum P \quad (3.13)$$

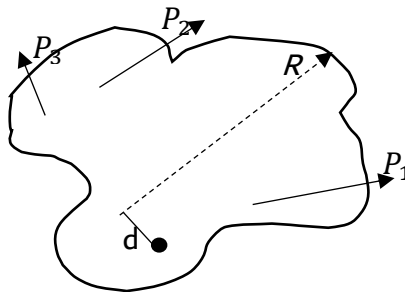
Sedangkan :

$$R_x = \sum P_x \text{ dan } R_y = \sum P_y \quad (3.14)$$

Sehingga :

$$R = \sqrt{\sum P_x^2 + \sum P_y^2} \quad (3.15)$$

Dan besar sudut kemiringan R terhadap sumbu – x adalah $\theta \text{ arc . tan } \frac{\sum F_y}{\sum F_x}$



Gambar di atas menunjukkan bahwa Resultan (R) dari sistem gaya, panjang (d) dihitung dari hubungan :

$$R \cdot d = \sum M_o \quad (3.16)$$

Dengan demikian maka :

$$R_x = \sum P_y \text{ sehingga } R \cdot d = \sum M_o \quad (3.17)$$

Sehingga :

$$R = \sqrt{\sum P_x^2 + \sum P_y^2} \quad (3.18)$$

Dan besar sudut kemiringan R terhadap sumbu – x adalah $\theta \text{ arc . tan } \frac{\sum F_y}{\sum F_x}$

8. Konsep Sistem Satuan Internasional

Sistem satuan pengukuran standar yang digunakan secara global dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan, teknologi, dan perdagangan. Sistem ini menyediakan kerangka kerja yang konsisten dan akurat untuk mengukur berbagai besaran fisika.

Sistem ini terdiri dari satuan dasar yang digunakan untuk mengukur besaran fisika fundamental, serta sejumlah satuan turunan yang diperoleh dari kombinasi satuan-satuan dasar tersebut.

Sistem Satuan Internasional

Kecepatan	:	m/s
Gaya	:	N
Percepatan	:	m/s ²
Momen	:	N.m atau N.mm
Massa	:	Kg
Panjang	:	m atau mm
Daya	:	W
Tekanan	:	N/m ² atau Pascal (Pa)
Tegangan	:	N/m ² atau MPa
Dll		

Simbol Satuan

Faktor Pengali	Pengali	Awalan	Simbol
1 000 000 000 000	10^{12}	Tera	T
1 000 000 000	10^9	Giga	G
1 000 000	10^6	Mega	M
1 000	10^3	Kilo	k
1 00	10^2	Hekto	h
1 0	10^1	Deka	da
0,1	10^{-1}	Desi	d
0,01	10^{-2}	Senti	c
0,001	10^{-3}	Milli	M
0,000 01	10^{-4}	Mikro	μ
0,000 000 001	10^{-9}	Nano	n
0,000 000 000 001	10^{-12}	Piko	P

3.3 Keseimbangan Statika

Keseimbangan statika adalah kondisi di mana suatu objek tetap diam atau dalam keadaan tidak bergerak meskipun ada gaya-gaya yang bekerja padanya. Dalam keseimbangan statika, gaya total dan momen total yang bekerja pada objek harus sama dengan nol.

1. Konsep Sistem Satuan Internasional

Kesetimbangan statika dapat disebut istilah *static equilibrium* adalah suatu partikel dalam kondisi setimbang (*in equilibrium*) Jika :

- Tetap diam (jika sebelumnya keadaan diam), atau;
- Mempunyai kecepatan konstan (jika sebelumnya bergerak).

Konsep ini didasarkan pada Hukum Pertama Newton, yang menyatakan bahwa jika resultan gaya yang bekerja pada suatu partikel adalah nol, maka partikel tersebut akan tetap diam atau bergerak dengan kecepatan konstan.

2. Syarat-Syarat Keseimbangan Statika

Untuk memastikan suatu objek berada dalam kesetimbangan statika, dua kondisi matematis harus dipenuhi:

- Kondisi Translasi (Keseimbangan Gaya)

Kondisi pertama menyatakan bahwa jumlah vektor dari semua gaya eksternal yang bekerja pada objek harus sama dengan nol. Ini mencegah objek mengalami percepatan linier (translasi).

$$\sum F = 0 \quad (3.19)$$

Ini dapat diuraikan ke dalam komponen-komponen pada sistem koordinat Kartesian (sumbu X, Y, dan Z):

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0; \sum M = 0 \quad (3.20)$$

b. Kondisi Rotasi (Keseimbangan Momen)

Kondisi kedua, yang hanya berlaku untuk benda tegar (rigid body), menyatakan bahwa jumlah momen atau torsi yang bekerja pada objek terhadap titik mana pun harus sama dengan nol. Ini mencegah objek mengalami percepatan sudut (rotasi).

$$\sum M = 0 \quad (3.21)$$

Kondisi ini juga dapat diuraikan ke dalam komponen sumbu:

$$\sum M_x = 0; \sum M_y = 0; \sum M_z = 0 \quad (3.22)$$

3. Kestimbangan Partikel vs. Kestimbangan Benda Tegar

Penerapan kondisi kestimbangan bergantung pada jenis objek yang dianalisis:

Kestimbangan Partikel

Dalam analisis partikel, objek dianggap sebagai titik massa tanpa dimensi, sehingga hanya gaya yang bekerja padanya yang relevan. Gaya-gaya ini dianggap sejajar atau konkuren pada satu titik. Oleh karena itu, kondisi keseimbangan partikel hanya memerlukan terpenuhinya syarat translasi:

$$\sum F = 0 \quad (3.23)$$

Kestimbangan Benda Tegar

Benda tegar adalah objek dengan dimensi yang signifikan, di mana jarak antar-partikelnya tidak berubah. Gaya-gaya yang bekerja pada benda tegar

dapat menyebabkan translasi maupun rotasi. Oleh karena itu, untuk kesetimbangan benda tegar, kedua syarat (translasi dan rotasi) harus dipenuhi:

$$\sum F = 0 \text{ \& \> } \sum M = 0 \quad (3.24)$$

4. Diagram Benda Bebas (Free Body Diagram - FBD)

Diagram Benda Bebas (FBD) adalah alat fundamental yang wajib dibuat. FBD adalah sketsa objek yang diisolasi dari lingkungannya, di mana semua gaya eksternal dan momen yang bekerja padanya digambarkan secara jelas.

Tujuan utama FBD adalah untuk mengisolasi objek dari lingkungannya, memungkinkan kita untuk mengidentifikasi semua gaya yang relevan. Proses ini mencakup pengenalan gaya aktif seperti beban yang diterapkan dan berat objek itu sendiri serta gaya reaksi dari tumpuan atau benda lain yang bersentuhan dengannya. Dengan memvisualisasikan arah gaya ini secara akurat, FBD menjadi dasar penting untuk memungkinkan penerapan persamaan kesetimbangan secara matematis. Hanya dengan FBD yang benar, kita dapat memastikan bahwa semua gaya yang bekerja pada sistem telah diperhitungkan, membuka jalan untuk analisis statika yang akurat.

Langkah-langkah membuat FBD:

- a. Isolasi Objek: Gambarlah objek yang akan dianalisis secara terpisah.

- b. Identifikasi Gaya Aktif: Gambarkan gaya-gaya yang bekerja secara langsung pada objek (misalnya, berat objek, gaya terapan).
- c. Identifikasi Reaksi: Ganti semua tumpuan (misalnya, kabel, engsel, rol, permukaan kontak) dengan gaya reaksi yang sesuai.
- d. Tentukan Koordinat: Tetapkan sistem koordinat yang relevan (misalnya, X-Y) untuk mempermudah analisis.

Tanpa FBD yang akurat, analisis kesetimbangan tidak dapat dilakukan dengan benar.

Menentukan Gaya Reaksi Tumpuan

Gaya reaksi sangat penting dalam FBD. Setiap jenis tumpuan membatasi gerakan tertentu dan karenanya memberikan gaya reaksi yang sesuai:

- a. Tumpuan Rol: Hanya mencegah gerakan tegak lurus terhadap permukaan. Ditunjukkan oleh satu gaya reaksi tunggal yang tegak lurus terhadap permukaan,
- b. Tumpuan Sendi (Pin/Hinge): Mencegah translasi horizontal dan vertikal, tetapi memungkinkan rotasi. Ditunjukkan oleh dua gaya reaksi, biasanya R_x dan R_y ,
- c. Tumpuan Jepit (Fixed Support): Mencegah translasi (horizontal dan vertikal) serta rotasi. Ditunjukkan oleh dua gaya reaksi (R_x dan R_y), dan satu momen reaksi (M).

FBD adalah fondasi dari seluruh analisis statika. Jika FBD dibuat salah, semua perhitungan kesetimbangan berikutnya akan salah, meskipun persamaan kesetimbangan diterapkan dengan benar. Oleh karena itu, ketelitian dalam mengidentifikasi dan menggambarkan semua gaya eksternal pada FBD adalah hal yang paling utama dalam Mekanika Teknik.

3.4 Analisis Struktur, Gaya Internal, dan Gaya Gesek

Pada pembahasan ini, mengeksplorasi aplikasi prinsip kesetimbangan statika pada sistem yang lebih kompleks, termasuk struktur yang terdiri dari beberapa anggota (seperti truss dan frame), gaya yang bekerja di dalam anggota struktur (gaya internal), dan fenomena gaya gesek.

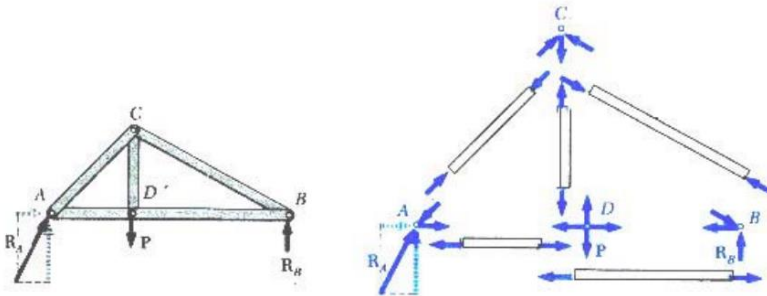
1. Analisis Struktur

Analisis Struktur adalah proses menentukan gaya internal pada setiap anggota struktur dan reaksi tumpuan yang disebabkan oleh beban eksternal. Kami membagi analisis ini menjadi tiga jenis struktur utama:

A. Truss (Rangka Batang)

Truss (Rangka Batang) adalah struktur yang terdiri dari anggota-anggota lurus yang disambungkan di titik-titik sambungan (sendi atau pin). Asumsi utama pada truss adalah semua anggota hanya mengalami gaya aksial (tarik atau tekan) dan tidak ada momen yang

bekerja di titik sambungan seperti diperlihatkan pada gambar 3.6.



Gambar 3. 6 : Rangka Batang dan FBD pada sambungan

Analisis truss umumnya dilakukan menggunakan dua metode:

- Metode Sambungan (*Method of Joints*): Menganalisis keseimbangan pada setiap titik sambungan secara individu. Ini efektif untuk menentukan gaya pada setiap anggota truss.
- Metode Potongan (*Method of Sections*): Memotong truss melalui beberapa anggota yang ingin dianalisis, lalu menganalisis keseimbangan bagian yang terpotong tersebut. Metode ini lebih cepat untuk menemukan gaya pada anggota spesifik tanpa perlu menghitung gaya pada seluruh truss.

B. Rangka (*Frame*) dan Mesin (*Machine*)

Frame dan Machine adalah struktur yang memiliki anggota multikaya (multi-force members) dan setidaknya satu anggota memiliki lebih dari dua gaya

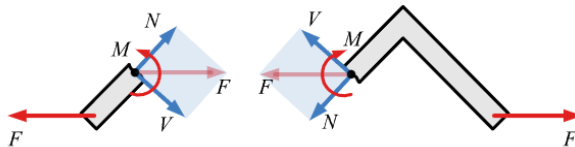
yang bekerja. Tidak seperti truss, sambungan pada frame dan machine mungkin mentransmisikan momen.

- a. Frame biasanya merupakan struktur yang dirancang untuk menahan beban statis dan tetap kaku.
- b. Mesin adalah struktur yang dirancang untuk mentransmisikan atau memodifikasi gaya.

Analisis frame dan machine dilakukan dengan memisahkan struktur menjadi komponen-komponennya dan menganalisis FBD setiap komponen, memastikan keseimbangan gaya dan momen pada setiap bagian.

2. Gaya Internal

Gaya Internal adalah gaya yang bekerja di dalam suatu anggota struktur atau material. Gaya-gaya ini timbul sebagai respons terhadap beban eksternal yang diterapkan pada struktur. Gaya ini biasanya dianalisis pada balok (*beam*).



Gambar 3. 7 : Gaya-gaya Internal

Ketika sebuah balok dibebani, terdapat tiga jenis gaya internal yang mungkin muncul pada suatu potongan:

- a. Gaya Normal [N] (*Normal Force*): Gaya aksial yang bekerja tegak lurus terhadap penampang, menyebabkan tarik atau tekan pada anggota.
- b. Gaya Geser [V] (*Shear Force*): Gaya transversal yang bekerja sejajar dengan penampang, cenderung menggeser satu bagian anggota relatif terhadap bagian lain.
- c. Momen Lentur [M] (*Bending Moment*): Momen yang bekerja pada penampang, cenderung menyebabkan anggota melengkung (lentur).

3. Gaya Gesek (*Friction*)

Gaya Gesek adalah gaya yang ditimbulkan pada permukaan kontak antara dua benda yang menahan kecenderungan atau gerakan aktual antara kedua benda tersebut. Gaya gesek bekerja secara sejajar dengan permukaan kontak dan berlawanan dengan arah vektor gaya.

Ada dua jenis gaya gesek utama:

A. Gaya Gesek Statis

Gaya gesek statis bekerja saat benda berada dalam keadaan diam relatif terhadap permukaan kontak. Gaya ini meningkat seiring dengan gaya yang akan menggerakkan benda, hingga mencapai nilai maksimum.

Ketika benda tepat akan bergerak (*impending motion*), gaya gesek statis mencapai nilai puncaknya,

$F_{s,max} = \mu_s N$, dimana μ_s adalah koefisien gesek statis dan N adalah gaya normal.

B. Gaya Gesek Kinetis

Gaya gesek kinetis bekerja ketika benda sudah bergerak relatif terhadap permukaan kontak. Gaya gesek kinetis biasanya memiliki nilai yang lebih rendah dan konstan daripada gaya gesek statis maksimum.

Gaya Gesekan Kinetis : $F_k = \mu_k N$, dimana μ_k adalah koefisien gesek kinetis.

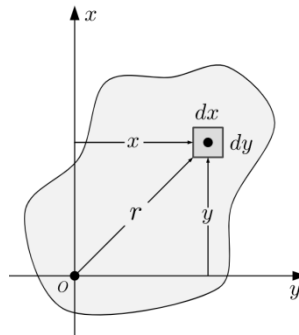
Analisis gaya gesek sangat penting dalam Mekanika Teknik untuk memahami perilaku benda yang bertumpu pada permukaan (misalnya, balok pada bidang miring, gesekan pada bantalan, atau sabuk).

3.5 Momen Inersia

Momen Inersia adalah konsep fundamental dalam mekanika yang mengukur ketahanan suatu objek terhadap perubahan kondisi rotasinya. Konsep ini memiliki dua bentuk utama: Momen Inersia Luas (yang relevan untuk analisis statika struktur dan kekakuan) dan Momen Inersia Massa (yang relevan untuk analisis dinamika dan rotasi benda tegar).

1. Momen Inersia Luas (*Area Moment of Inertia*)

Momen Inersia Luas, sering disebut juga Momen Kedua Luas (*Second Moment of Area*), adalah sifat geometris dari sebuah penampang. Ini adalah ukuran resistensi penampang terhadap lentur (*bending*) atau tekuk (*buckling*).



Gambar 3. 8 : Momen Inersia terhadap luas

Dalam konteks analisis struktural, momen inersia luas sangat penting karena menentukan kekakuan balok. Semakin besar momen inersia luas suatu penampang, semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk melenturkannya.

Momen inersia luas terhadap sumbu x dan y didefinisikan melalui integral:

$$I_x = \int y^2 dA \quad (3.25)$$

$$I_y = \int x^2 dA \quad (3.26)$$

2. Momen Inersia Massa (*Mass Moment of Inertia*)

Momen Inersia Massa adalah besaran fisik yang mengukur bagaimana massa suatu benda didistribusikan relatif terhadap sumbu rotasi. Dalam analisis dinamika, momen inersia massa adalah analogi rotasional dari massa: semakin besar momen inersia massa, semakin sulit untuk mengubah kecepatan sudut benda tersebut.

Momen inersia massa didefinisikan sebagai:

$$I = \int r^2 dm \quad (3.27)$$

Di mana (r) adalah jarak elemen massa dm dari sumbu rotasi.

3. Prinsip Sumbu Sejajar (Parallel Axis Theorem)

Prinsip Sumbu Sejajar adalah alat penting yang memungkinkan kita untuk menghitung momen inersia suatu benda terhadap sumbu apa pun, jika momen inersia terhadap sumbu yang melewati sentroid (pusat massa) benda tersebut diketahui.

Jika I_c adalah momen inersia terhadap sumbu sentroidal, maka momen inersia (I) terhadap sumbu paralel yang bergerak (d) dari sumbu sentroidal diberikan oleh:

$$\text{Untuk Momen Inersia luas} \quad I = I_c + Ad^2 \quad (3.28)$$

:

$$\text{Untuk Momen Inersia massa:} \quad I = I_c + md^2 \quad (3.29)$$

Prinsip ini sangat berguna dalam menganalisis penampang komposit (gabungan) dan bentuk-bentuk standar, karena memungkinkan kita untuk menjumlahkan momen inersia dari bagian-bagian individu.

4. Momen Inersia Benda Komposit

Banyak bentuk penampang struktural adalah kombinasi dari bentuk-bentuk sederhana (persegi panjang, segitiga, lingkaran). Momen inersia dari penampang komposit dapat dihitung dengan menjumlahkan momen inersia dari masing-masing komponennya, asalkan Prinsip Sumbu Sejajar diterapkan dengan benar untuk memindahkan

momen inersia setiap komponen ke sumbu referensi yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Beer, F.P. (1989). Mekanika Bahan (Statika Struktur). Edisi ke-4. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hibbeler, R.C. (2009). *Engineering Mechanics: Statics*. Twelfth edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Meriam, J.L. and Kraige, L.G. (1994). *Mekanika Teknik (Statika)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Popov, E.P. (1984). Mekanika Teknik. Edisi ke-2. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Suryaman, dkk. (2025). *Mengenal Dunia Teknik Mesin : Konsep, Aplikasi, dan Teknologi Terkini*. Penerbit Yayasan Literasi Sains Indonesia.

BAB 4

TERMODINAMIKA DAN SISTEM ENERGI

4.1 Konsep Dasar Termodinamika

Termodinamika merupakan cabang ilmu teknik yang mempelajari hubungan antara energi, panas, kerja, temperatur, dan perubahan keadaan suatu sistem. Dalam teknik mesin, termodinamika menjadi dasar untuk memahami bagaimana energi dapat disimpan, dipindahkan, dan diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya melalui berbagai proses. Prinsip-prinsip termodinamika digunakan untuk menganalisis mesin, pembangkit energi, sistem pendingin, kompresor, turbin, pompa, serta berbagai perangkat konversi energi. Kajian termodinamika tidak hanya menjelaskan besarnya energi yang terlibat, tetapi juga memberikan dasar untuk menentukan arah proses dan batas efisiensi suatu sistem. Dengan demikian, pemahaman konsep dasar termodinamika menjadi bagian penting dalam pembentukan kemampuan analitis mahasiswa teknik mesin (Çengel et al., 2024).

Konsep awal dalam termodinamika berkaitan dengan sistem, lingkungan, dan batas yang memisahkan keduanya. Sistem merupakan bagian tertentu dari alam semesta yang menjadi objek kajian, sedangkan segala sesuatu di luar sistem disebut lingkungan. Batas sistem dapat berupa batas nyata maupun batas imajiner yang ditentukan sesuai kebutuhan analisis. Berdasarkan karakteristik pertukaran massa dan

energi, sistem dapat dibedakan menjadi sistem tertutup, sistem terbuka, dan sistem terisolasi. Penentuan sistem secara tepat sangat diperlukan karena akan memengaruhi bentuk persamaan dan pendekatan yang digunakan dalam analisis termodinamika. Pemahaman mengenai sistem dan lingkungan menjadi langkah awal sebelum mempelajari perubahan energi pada suatu proses teknik (Yan, 2022).

Sistem tertutup merupakan sistem yang tidak mengalami perpindahan massa melewati batasnya, tetapi masih memungkinkan terjadinya perpindahan energi dalam bentuk panas atau kerja. Contoh sistem tersebut dapat ditemukan pada gas yang berada di dalam silinder berpiston, ketika gas mengalami pemuaian atau kompresi akibat perubahan kondisi operasi. Dalam analisis sistem tertutup, perhatian utama diberikan terhadap perubahan energi yang tersimpan dalam sistem serta energi yang masuk atau keluar melalui interaksi dengan lingkungan. Konsep ini banyak digunakan untuk menganalisis proses pada perangkat yang memiliki massa tetap selama periode pengamatan. Pemahaman mengenai sistem tertutup memberikan dasar untuk menerapkan prinsip kekekalan energi pada berbagai permasalahan teknik mesin (Schmidt, 2022).

Berbeda dengan sistem tertutup, sistem terbuka memungkinkan terjadinya perpindahan massa dan energi melewati batas sistem. Sistem seperti ini dikenal pula sebagai volume atur karena wilayah yang dianalisis ditentukan berdasarkan ruang tertentu yang dilalui aliran massa. Turbin, kompresor, pompa, nosel, penukar kalor, dan ruang pembakaran merupakan contoh perangkat teknik yang dapat

dianalisis sebagai sistem terbuka. Dalam sistem tersebut, energi dibawa oleh massa yang masuk dan keluar sehingga analisis harus mempertimbangkan aliran massa, energi internal, energi kinetik, serta energi potensial. Konsep volumeatur menjadi sangat penting dalam teknik mesin karena sebagian besar peralatan konversi energi bekerja melalui proses aliran kontinu (Kumar, 2022).

Besaran keadaan atau sifat termodinamika merupakan parameter yang digunakan untuk menggambarkan kondisi suatu sistem pada keadaan tertentu. Temperatur, tekanan, volume, massa jenis, energi internal, entalpi, dan entropi merupakan beberapa sifat yang banyak digunakan dalam analisis termodinamika. Sifat tersebut dapat dibedakan menjadi sifat intensif dan sifat ekstensif berdasarkan ketergantungannya terhadap jumlah materi dalam sistem. Sifat intensif tidak bergantung pada ukuran atau jumlah massa sistem, sedangkan sifat ekstensif berubah sesuai dengan jumlah materi yang terdapat di dalam sistem. Pemahaman mengenai sifat termodinamika memungkinkan keadaan suatu sistem dinyatakan secara kuantitatif sehingga perubahan yang terjadi selama proses dapat dianalisis dengan lebih sistematis (Yan, 2022).

Temperatur merupakan salah satu sifat dasar yang sangat penting dalam termodinamika karena menunjukkan kondisi termal suatu benda dan menentukan arah perpindahan panas. Dua benda yang memiliki temperatur berbeda cenderung mengalami perpindahan energi termal dari benda dengan temperatur lebih tinggi menuju benda dengan temperatur lebih rendah sampai tercapai

keseimbangan termal. Prinsip tersebut berkaitan dengan hukum nol termodinamika yang menjadi dasar ilmiah bagi konsep temperatur dan penggunaan alat ukur suhu. Dalam teknik mesin, pengukuran temperatur sangat penting untuk memantau kondisi operasi mesin, mengendalikan proses termal, dan menjaga keamanan peralatan. Pemahaman mengenai temperatur menjadi dasar bagi kajian yang lebih lanjut mengenai panas, kerja, dan perubahan energi dalam suatu sistem (Kumar, 2022).

Tekanan merupakan besaran penting lainnya yang menggambarkan gaya yang bekerja secara tegak lurus terhadap suatu permukaan per satuan luas. Dalam sistem termodinamika, tekanan memiliki hubungan erat dengan temperatur dan volume, terutama pada gas dan fluida yang mengalami perubahan keadaan. Pengukuran tekanan banyak digunakan pada mesin pembakaran, sistem perpipaan, kompresor, turbin, pompa, sistem refrigerasi, dan berbagai perangkat bertekanan. Perbedaan tekanan juga menjadi salah satu penyebab terjadinya aliran fluida dari suatu wilayah menuju wilayah lainnya. Oleh karena itu, pemahaman tentang tekanan menjadi dasar penting untuk menganalisis keseimbangan, aliran, dan perubahan energi pada berbagai sistem teknik (Schmidt, 2022).

Keadaan termodinamika menunjukkan kondisi suatu sistem yang dapat dijelaskan melalui sejumlah sifat tertentu, sedangkan proses merupakan perubahan keadaan yang dialami sistem dari kondisi awal menuju kondisi akhir. Selama proses berlangsung, satu atau beberapa sifat sistem dapat mengalami perubahan akibat adanya interaksi dengan

lingkungan. Proses dapat berlangsung melalui pemanasan, pendinginan, ekspansi, kompresi, pencampuran, atau berbagai bentuk interaksi lainnya. Apabila sistem mengalami serangkaian proses dan kembali ke keadaan awal, rangkaian tersebut disebut siklus termodinamika. Konsep keadaan, proses, dan siklus sangat penting karena berbagai mesin energi pada dasarnya bekerja melalui rangkaian perubahan keadaan yang berlangsung secara berulang (Yan, 2022).

Energi merupakan konsep utama dalam termodinamika karena setiap perubahan keadaan suatu sistem selalu berkaitan dengan perpindahan atau perubahan energi. Energi dapat berada dalam berbagai bentuk, seperti energi internal, energi kinetik, energi potensial, energi kimia, dan energi listrik. Dalam sistem teknik, energi dapat berpindah melalui panas, kerja, atau aliran massa yang membawa kandungan energi tertentu. Analisis energi dilakukan untuk mengetahui jumlah energi yang masuk, tersimpan, berubah bentuk, maupun keluar dari sistem selama suatu proses. Pemahaman tersebut memungkinkan insinyur menentukan kebutuhan energi dan mengevaluasi kinerja suatu perangkat konversi energi secara kuantitatif (Çengel et al., 2024).

Panas dan kerja merupakan dua bentuk utama interaksi energi antara sistem dan lingkungannya yang memiliki karakteristik berbeda dari energi yang tersimpan dalam sistem. Panas berkaitan dengan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur, sedangkan kerja berhubungan dengan perpindahan energi akibat adanya gaya atau mekanisme lain yang menghasilkan

perpindahan terarah. Dalam analisis termodinamika, panas dan kerja dipandang sebagai energi yang melintasi batas sistem selama berlangsungnya suatu proses. Pemahaman terhadap kedua bentuk interaksi tersebut diperlukan untuk menentukan perubahan energi sistem dan menerapkan hukum pertama termodinamika. Konsep ini menjadi dasar dalam analisis berbagai proses yang melibatkan pemanasan, pendinginan, ekspansi, kompresi, maupun pengoperasian mesin (Schmidt, 2022).

Hukum pertama termodinamika merupakan penerapan prinsip kekekalan energi pada sistem termodinamika. Hukum ini menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat berpindah dan mengalami perubahan bentuk. Dalam analisis sistem, perubahan energi total harus seimbang dengan energi yang masuk dan energi yang keluar melalui berbagai bentuk interaksi. Prinsip tersebut digunakan untuk menghitung hubungan antara panas, kerja, dan perubahan energi suatu sistem selama proses berlangsung. Penerapannya sangat luas pada mesin kalor, turbin, kompresor, pompa, sistem refrigerasi, dan berbagai peralatan konversi energi lainnya sehingga menjadi salah satu dasar utama dalam analisis teknik mesin (Kumar, 2022).

Hukum kedua termodinamika memberikan pemahaman mengenai arah alami suatu proses dan keterbatasan dalam mengubah panas menjadi kerja. Meskipun hukum pertama menyatakan bahwa jumlah energi harus tetap seimbang, hukum kedua menunjukkan bahwa tidak seluruh energi yang tersedia dapat dikonversikan

menjadi kerja yang bermanfaat. Prinsip tersebut menjelaskan mengapa perpindahan panas secara alami berlangsung dari temperatur tinggi menuju temperatur rendah dan mengapa mesin kalor memiliki batas efisiensi tertentu. Hukum kedua juga menjadi dasar bagi konsep reversibilitas, irreversibilitas, dan kualitas energi dalam suatu sistem. Oleh karena itu, hukum kedua memiliki peranan penting dalam menentukan tingkat kesempurnaan dan efisiensi proses konversi energi (Lee & Ramamurthi, 2022).

Entropi merupakan salah satu konsep penting yang diperkenalkan dalam kaitannya dengan hukum kedua termodinamika. Besaran ini digunakan untuk menggambarkan perubahan keadaan termodinamika serta tingkat irreversibilitas yang terjadi dalam suatu proses. Pada proses nyata, gesekan, perpindahan panas melalui perbedaan temperatur hingga pencampuran fluida dapat menyebabkan pembangkitan entropi. Semakin besar irreversibilitas suatu proses, semakin besar pula potensi energi yang tidak dapat dimanfaatkan secara optimal untuk menghasilkan kerja. Pemahaman mengenai entropi memungkinkan insinyur mengevaluasi kualitas proses dan mengidentifikasi bagian sistem yang memiliki peluang untuk ditingkatkan efisiensinya (Lee & Ramamurthi, 2022).

Konsep keseimbangan termodinamika juga menjadi bagian penting dalam memahami keadaan suatu sistem. Keseimbangan tercapai ketika tidak terdapat kecenderungan perubahan makroskopis yang berlangsung secara spontan dalam sistem pada kondisi tertentu. Keseimbangan dapat mencakup aspek termal, mekanik, dan kimia yang masing-

masing berkaitan dengan temperatur, tekanan, serta komposisi sistem. Dalam analisis teknik, keadaan keseimbangan sering digunakan sebagai kondisi acuan untuk menentukan sifat dan perilaku suatu zat sebelum atau sesudah mengalami proses. Pemahaman tentang keseimbangan membantu insinyur menyederhanakan permasalahan kompleks dan menentukan kondisi operasi yang sesuai bagi berbagai perangkat termal dan mekanis (Schmidt, 2022).

Konsep dasar termodinamika juga mencakup pemahaman mengenai zat murni, fase, dan perubahan fase yang banyak ditemukan dalam sistem energi. Suatu zat dapat berada dalam fase padat, cair, atau gas, dan dapat mengalami perubahan fase akibat perubahan tekanan atau temperatur. Air dan uap air merupakan contoh yang banyak digunakan dalam analisis sistem pembangkit tenaga karena perubahan fasenya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan kerja mekanis. Pemahaman mengenai hubungan antara tekanan, temperatur, volume, energi internal, entalpi, dan entropi diperlukan untuk menentukan kondisi zat pada setiap tahap proses. Kajian sifat zat tersebut menjadi dasar dalam analisis siklus tenaga uap, sistem refrigerasi, dan berbagai sistem termal lainnya (Çengel et al., 2024).

Secara keseluruhan, konsep dasar termodinamika memberikan landasan untuk memahami bagaimana energi bekerja dalam sistem teknik dan bagaimana suatu proses dapat dianalisis secara kuantitatif. Konsep sistem, lingkungan, sifat termodinamika, keadaan, proses, temperatur, tekanan, panas, kerja, energi, serta hukum pertama dan kedua

membentuk kerangka pemikiran yang saling berhubungan. Penguasaan konsep tersebut memungkinkan mahasiswa memahami prinsip kerja berbagai mesin dan sistem energi sebelum mempelajari siklus termodinamika yang lebih kompleks. Dalam teknik mesin, termodinamika tidak hanya digunakan untuk menghitung energi, tetapi juga untuk mengevaluasi efisiensi, menentukan kondisi operasi, dan mengembangkan teknologi konversi energi yang lebih baik. Oleh karena itu, pemahaman konsep dasar termodinamika menjadi fondasi penting dalam mempelajari sistem energi dan berbagai aplikasi teknik mesin modern.

4.2 Sistem, Proses, dan Hukum-Hukum Termodinamika

Sistem termodinamika merupakan bagian tertentu dari alam semesta yang dipilih sebagai objek kajian untuk menganalisis perubahan energi dan keadaan suatu materi. Penentuan sistem dilakukan dengan menetapkan batas yang memisahkan bagian yang dikaji dari lingkungan di sekitarnya. Batas tersebut dapat berupa permukaan nyata maupun batas imajiner yang ditentukan sesuai kebutuhan analisis. Dalam teknik mesin, konsep sistem menjadi dasar untuk mempelajari berbagai perangkat seperti mesin kalor, turbin, kompresor, pompa, penukar kalor, dan sistem pendingin. Penetapan sistem yang tepat akan menentukan jenis energi dan interaksi yang harus diperhitungkan selama berlangsungnya suatu proses (Struchtrup, 2024).

Berdasarkan karakteristik perpindahan massa dan energi, sistem termodinamika dapat dibedakan menjadi

sistem tertutup, sistem terbuka, dan sistem terisolasi. Sistem tertutup tidak memungkinkan massa melewati batas sistem, tetapi energi dalam bentuk panas atau kerja masih dapat berpindah antara sistem dan lingkungan. Sistem terbuka memungkinkan massa dan energi melewati batasnya sehingga umumnya digunakan untuk menganalisis perangkat yang bekerja dengan aliran fluida secara kontinu. Sementara itu, sistem terisolasi tidak mengalami pertukaran massa maupun energi dengan lingkungan sehingga perubahan keadaan di dalamnya berlangsung tanpa interaksi eksternal. Pembagian tersebut memberikan kerangka analisis yang sistematis terhadap berbagai perangkat dan proses dalam teknik mesin (Whitman, 2023).

Sistem tertutup banyak dijumpai pada perangkat yang memiliki jumlah massa tetap selama periode analisis, seperti gas yang berada di dalam silinder berpiston. Ketika piston bergerak, volume gas dapat berubah sehingga terjadi perpindahan energi dalam bentuk kerja antara sistem dan lingkungan. Apabila sistem juga mengalami pemanasan atau pendinginan, perpindahan energi dalam bentuk panas perlu diperhitungkan bersama perubahan energi internal sistem. Analisis sistem tertutup memungkinkan hubungan antara perubahan keadaan, panas, kerja, dan energi internal ditentukan berdasarkan prinsip kekekalan energi. Pemahaman tersebut menjadi dasar dalam menganalisis proses kompresi dan ekspansi yang banyak digunakan dalam mesin dan peralatan teknik (Schmidt, 2022).

Sistem terbuka atau volume kendali digunakan ketika massa mengalir masuk dan keluar dari wilayah yang sedang

dianalisis. Contohnya terdapat pada turbin yang menghasilkan kerja melalui ekspansi fluida, kompresor yang membutuhkan kerja untuk meningkatkan tekanan fluida, serta pompa yang digunakan untuk meningkatkan tekanan cairan. Pada sistem semacam ini, energi tidak hanya berpindah melalui panas dan kerja, tetapi juga dibawa oleh massa yang melintasi batas sistem. Oleh sebab itu, analisis memerlukan pertimbangan terhadap energi internal, entalpi, energi kinetik, dan energi potensial dari aliran fluida. Konsep volume kendali sangat penting karena sebagian besar peralatan konversi energi dalam teknik mesin beroperasi melalui aliran massa yang berlangsung secara kontinu (Majumdar, 2021).

Keadaan termodinamika menunjukkan kondisi suatu sistem pada saat tertentu yang dapat dijelaskan melalui sejumlah sifat termodinamika. Temperatur, tekanan, volume, massa jenis, energi internal, entalpi, dan entropi merupakan beberapa sifat yang digunakan untuk menggambarkan keadaan tersebut. Apabila nilai sifat-sifat tertentu telah diketahui secara memadai, keadaan sistem dapat ditentukan dan perubahan yang terjadi selama proses dapat dianalisis. Sifat termodinamika dibedakan menjadi sifat intensif yang tidak bergantung pada jumlah massa dan sifat ekstensif yang bergantung pada ukuran sistem. Pemahaman mengenai keadaan dan sifat sistem menjadi dasar penting sebelum menganalisis berbagai proses termodinamika dalam aplikasi teknik (Whitman, 2023).

Proses termodinamika merupakan perubahan yang dialami suatu sistem dari keadaan awal menuju keadaan akhir

sebagai akibat adanya interaksi energi atau perubahan kondisi lingkungan. Selama proses berlangsung, satu atau beberapa sifat termodinamika dapat mengalami perubahan, sedangkan hubungan antara keadaan awal dan akhir dapat digunakan untuk menentukan besarnya perubahan energi. Proses dapat berlangsung dalam berbagai bentuk, seperti pemanasan, pendinginan, ekspansi, kompresi, pencampuran, dan perubahan fase. Dalam analisis teknik, jalannya suatu proses perlu diperhatikan karena panas dan kerja merupakan besaran yang bergantung pada lintasan proses, bukan hanya keadaan awal dan akhir. Pemahaman mengenai proses memungkinkan perilaku suatu sistem dianalisis secara lebih tepat sesuai kondisi operasinya (Schmidt, 2024).

Proses termodinamika dapat diklasifikasikan berdasarkan kondisi tertentu yang dipertahankan selama berlangsungnya perubahan keadaan. Proses isothermal berlangsung pada temperatur tetap, proses isobarik berlangsung pada tekanan tetap, sedangkan proses isokhorik berlangsung pada volume tetap. Selain itu, terdapat proses adiabatik yang tidak melibatkan perpindahan panas antara sistem dan lingkungan, serta proses politropik yang menggambarkan hubungan tertentu antara tekanan dan volume selama perubahan keadaan. Setiap jenis proses memiliki karakteristik yang berbeda sehingga persamaan dan pendekatan analisis yang digunakan juga dapat berbeda. Pemilihan jenis proses yang tepat membantu penyederhanaan perhitungan dan memberikan gambaran mengenai perilaku sistem dalam kondisi operasi tertentu (Struchtrup, 2024).

Suatu proses dapat berlangsung secara reversibel atau ireversibel bergantung pada tingkat kesetimbangan dan adanya faktor-faktor yang menyebabkan kehilangan kemampuan menghasilkan kerja. Proses reversibel merupakan proses ideal yang berlangsung melalui tahapan keadaan kesetimbangan sehingga sistem dapat dikembalikan ke keadaan semula tanpa meninggalkan perubahan bersih pada sistem dan lingkungan. Sebaliknya, proses nyata pada umumnya bersifat ireversibel karena melibatkan gesekan, perbedaan temperatur hingga perpindahan panas, turbulensi, pencampuran, dan perubahan tekanan yang tidak seimbang. Konsep reversibilitas digunakan sebagai pembanding ideal untuk menilai seberapa dekat kinerja suatu perangkat terhadap kondisi maksimum yang secara teoritis dapat dicapai (Struchtrup, 2024).

Hukum nol termodinamika memberikan dasar bagi pemahaman mengenai kesetimbangan termal dan konsep temperatur. Hukum ini menyatakan bahwa apabila suatu sistem berada dalam kesetimbangan termal dengan sistem kedua, sementara sistem kedua berada dalam kesetimbangan termal dengan sistem ketiga, maka sistem pertama juga berada dalam kesetimbangan termal dengan sistem ketiga. Prinsip tersebut memungkinkan temperatur diperlakukan sebagai sifat yang dapat dibandingkan antara berbagai sistem. Penerapan hukum nol sangat penting dalam pengukuran temperatur karena menjadi dasar bagi penggunaan termometer dan sistem pengukuran termal. Dalam teknik mesin, konsep tersebut diperlukan untuk memastikan bahwa pengukuran temperatur dapat

merepresentasikan kondisi termal suatu sistem secara konsisten (Whitman, 2023).

Hukum pertama termodinamika merupakan pernyataan mengenai kekekalan energi yang diterapkan pada sistem termodinamika. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat berpindah dari satu sistem ke sistem lain atau mengalami perubahan bentuk. Pada sistem tertutup, perubahan energi sistem berhubungan dengan panas yang diterima dan kerja yang dilakukan atau diterima sistem. Pada sistem terbuka, analisis energi juga mempertimbangkan energi yang dibawa oleh massa yang masuk dan keluar melalui batas volume kendali. Penerapan hukum pertama menjadi dasar dalam menghitung kebutuhan energi, kerja yang dihasilkan, dan perubahan energi pada berbagai peralatan teknik mesin (Cengel et al., 2024).

Hukum pertama menunjukkan keseimbangan jumlah energi, tetapi belum menentukan apakah suatu proses dapat berlangsung secara alami atau ke arah mana proses tersebut terjadi. Keterbatasan tersebut dijelaskan oleh hukum kedua termodinamika yang memberikan prinsip mengenai arah proses dan kualitas energi. Hukum kedua menjelaskan bahwa proses alami memiliki arah tertentu dan tidak semua energi panas dapat diubah seluruhnya menjadi kerja berguna. Prinsip tersebut menjadi dasar untuk memahami kinerja mesin kalor, sistem pendingin, pompa kalor, serta berbagai perangkat konversi energi. Dengan demikian, hukum kedua melengkapi hukum pertama dengan memberikan batas fundamental terhadap kemampuan suatu sistem dalam mengubah energi menjadi kerja (Schmidt, 2024).

Konsep entropi merupakan bagian penting dari hukum kedua karena digunakan untuk menggambarkan perubahan keadaan termodinamika dan tingkat ketakterbalikan suatu proses. Pada proses nyata, pembangkitan entropi dapat terjadi akibat gesekan, perpindahan panas melalui perbedaan temperatur hingga pencampuran dan proses aliran yang tidak ideal. Semakin besar pembangkitan entropi, semakin besar pula tingkat irreversibilitas yang terjadi dalam sistem. Analisis entropi memungkinkan insinyur mengidentifikasi bagian proses yang menyebabkan kehilangan potensi kerja dan menentukan peluang peningkatan kinerja sistem. Oleh karena itu, entropi tidak hanya menjadi besaran teoritis, tetapi juga memiliki fungsi penting dalam evaluasi efisiensi perangkat energi (Struchtrup, 2024).

Hukum ketiga termodinamika berkaitan dengan perilaku entropi suatu sistem ketika temperatur mendekati nol mutlak. Prinsip ini memberikan landasan untuk memahami batas perilaku termodinamika pada temperatur yang sangat rendah dan hubungan antara keadaan mikroskopis materi dengan sifat termodinamikanya. Dalam penerapan teknik mesin konvensional, hukum ketiga tidak selalu digunakan secara langsung seperti hukum pertama dan kedua, tetapi tetap memiliki peranan dalam pengembangan basis data sifat termodinamika dan analisis material pada kondisi ekstrem. Pemahaman hukum ketiga juga membantu memperjelas kedudukan entropi sebagai sifat keadaan yang memiliki acuan tertentu. Dengan demikian, ketiga hukum tersebut membentuk kerangka

fundamental yang saling melengkapi dalam ilmu termodinamika (Liu, 2025).

Hubungan antara sistem, proses, dan hukum-hukum termodinamika dapat dilihat secara terpadu dalam analisis perangkat teknik mesin yang melakukan konversi energi. Sebuah turbin, misalnya, dapat dipandang sebagai sistem terbuka yang menerima aliran fluida pada kondisi tertentu dan menghasilkan kerja melalui perubahan keadaan fluida. Analisis terhadap perangkat tersebut memerlukan penentuan batas sistem, identifikasi keadaan masuk dan keluar, penentuan jenis proses, serta penerapan hukum pertama dan kedua. Hukum pertama digunakan untuk memastikan keseimbangan energi, sedangkan hukum kedua digunakan untuk mengevaluasi irreversibilitas dan batas kinerja perangkat. Pendekatan terpadu tersebut menjadi dasar untuk merancang dan mengevaluasi sistem energi secara rasional dan efisien (Cengel et al., 2024).

Pemahaman mengenai sistem dan proses termodinamika pada akhirnya menjadi landasan bagi pengembangan berbagai sistem energi yang digunakan dalam kehidupan dan industri. Mesin pembakaran, pembangkit listrik, sistem refrigerasi, pompa kalor, turbin gas, turbin uap, dan berbagai perangkat energi lainnya bekerja melalui rangkaian proses yang dapat dianalisis menggunakan prinsip termodinamika. Penerapan hukum-hukum termodinamika memungkinkan insinyur menentukan kebutuhan energi, menghitung kerja, memperkirakan efisiensi, serta mengidentifikasi sumber kehilangan energi dalam suatu sistem. Kemampuan tersebut semakin penting

dalam pengembangan teknologi energi yang menuntut efisiensi lebih tinggi dan pemanfaatan sumber daya yang lebih bertanggung jawab. Dengan demikian, penguasaan konsep sistem, proses, dan hukum-hukum termodinamika merupakan fondasi penting bagi mahasiswa dalam mempelajari sistem energi pada teknik mesin.

4.3 Sifat dan Perubahan Energi pada Sistem Teknik

Energi merupakan salah satu konsep fundamental dalam termodinamika yang digunakan untuk menjelaskan kemampuan suatu sistem dalam melakukan perubahan atau menghasilkan kerja. Dalam sistem teknik, energi dapat hadir dalam berbagai bentuk yang saling berhubungan, seperti energi internal, energi kinetik, energi potensial, energi kimia, dan energi yang berkaitan dengan medan tertentu. Setiap bentuk energi memiliki karakteristik dan peranan yang berbeda bergantung pada jenis sistem serta kondisi operasinya. Pemahaman terhadap sifat energi diperlukan untuk menganalisis bagaimana energi disimpan, dipindahkan, dan dikonversikan selama berlangsungnya suatu proses teknik. Konsep tersebut menjadi dasar dalam perancangan dan evaluasi berbagai perangkat konversi energi pada bidang teknik mesin (Cengel et al., 2024).

Energi internal merupakan energi yang tersimpan di dalam suatu sistem sebagai akibat dari aktivitas mikroskopis partikel penyusunnya. Energi ini mencakup kontribusi gerak translasi, rotasi, vibrasi, serta interaksi antarmolekul yang terdapat dalam suatu zat. Besarnya energi internal

dipengaruhi oleh kondisi termodinamika sistem dan dapat mengalami perubahan ketika sistem menerima atau melepaskan energi. Dalam analisis teknik, perubahan energi internal menjadi salah satu komponen penting dalam menentukan keseimbangan energi pada sistem tertutup maupun sistem terbuka. Pemahaman mengenai energi internal juga diperlukan untuk menjelaskan perilaku zat ketika mengalami pemanasan, pendinginan, kompresi, ekspansi, maupun perubahan fase (Schmidt, 2022).

Energi kinetik merupakan energi yang berkaitan dengan gerakan suatu benda atau aliran fluida sebagai keseluruhan. Besarnya energi kinetik bergantung pada massa dan kuadrat kecepatan sehingga perubahan kecepatan dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap keseimbangan energi sistem. Dalam teknik mesin, energi kinetik memiliki peranan penting pada analisis aliran fluida melalui nosel, turbin, kompresor, pompa, dan berbagai saluran aliran. Pada perangkat tertentu, perubahan energi kinetik dapat dikonversikan menjadi bentuk energi lain atau sebaliknya sesuai dengan prinsip kerja perangkat tersebut. Oleh sebab itu, energi kinetik perlu diperhitungkan ketika kecepatan aliran mengalami perubahan yang berarti selama proses berlangsung (Kumar, 2022).

Energi potensial merupakan energi yang dimiliki suatu benda akibat kedudukannya terhadap suatu acuan tertentu dalam medan gravitasi. Besarnya energi potensial dipengaruhi oleh massa benda, percepatan gravitasi, dan perubahan ketinggian dari posisi acuan. Dalam sistem teknik, energi potensial dapat menjadi bagian penting dalam analisis

aliran fluida pada instalasi yang memiliki perbedaan elevasi, seperti sistem perpipaan, bendungan, pompa, dan pembangkit tenaga air. Perubahan energi potensial dapat menyebabkan perubahan kondisi aliran dan berinteraksi dengan bentuk energi lainnya selama suatu proses berlangsung. Meskipun pada beberapa sistem perubahan energi potensial relatif kecil, kontribusinya tetap harus diperhitungkan apabila terdapat perbedaan ketinggian yang signifikan (Whitman, 2023).

Energi dapat mengalami perpindahan antara sistem dan lingkungan melalui mekanisme tertentu, terutama melalui panas dan kerja. Panas merupakan energi yang berpindah akibat adanya perbedaan temperatur, sedangkan kerja merupakan perpindahan energi yang berkaitan dengan gaya atau mekanisme terarah lainnya. Kedua bentuk perpindahan tersebut tidak dikategorikan sebagai sifat yang tersimpan dalam sistem, tetapi sebagai energi yang melintasi batas sistem selama suatu proses. Pembedaan antara energi yang tersimpan dan energi yang berpindah sangat penting karena menentukan cara suatu sistem dianalisis secara termodinamika. Pemahaman tersebut memungkinkan neraca energi disusun secara tepat untuk mengetahui hubungan antara energi masuk, energi keluar, dan perubahan energi sistem (Struchtrup, 2024).

Sifat energi dalam suatu sistem dapat dibedakan berdasarkan cara energi tersebut berhubungan dengan keadaan materi dan jumlah zat yang dianalisis. Energi internal, entalpi, dan entropi merupakan contoh besaran yang digunakan untuk menggambarkan keadaan

termodinamika suatu sistem. Beberapa sifat tersebut bersifat ekstensif karena nilainya bergantung pada jumlah massa, sedangkan besaran spesifiknya menjadi sifat intensif yang dinyatakan per satuan massa. Pembagian tersebut penting dalam perhitungan teknik karena memungkinkan besaran energi digunakan untuk sistem dengan ukuran yang berbeda. Dengan menggunakan sifat spesifik, analisis dapat dilakukan secara lebih praktis pada perangkat teknik yang melibatkan aliran massa dan perubahan kondisi operasi (Schmidt, 2024).

Entalpi merupakan sifat termodinamika yang sangat penting dalam analisis sistem aliran karena menggabungkan energi internal dengan kontribusi tekanan dan volume. Besaran tersebut sering digunakan dalam analisis turbin, kompresor, pompa, penukar kalor, dan perangkat lain yang melibatkan aliran massa masuk dan keluar. Perubahan entalpi dapat digunakan untuk menggambarkan perubahan kandungan energi suatu fluida selama mengalami proses tertentu. Dalam sistem terbuka, entalpi menjadi bagian penting dari energi yang dibawa oleh massa ketika melintasi batas volume kendali. Penggunaan entalpi membantu menyederhanakan persamaan neraca energi dan memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perubahan energi dalam sistem aliran (Cengel et al., 2024).

Perubahan energi dalam sistem dapat terjadi karena adanya interaksi dengan lingkungan atau akibat perubahan kondisi internal sistem. Ketika suatu sistem menerima panas, energi internalnya dapat meningkat dan menyebabkan perubahan temperatur, tekanan, volume, atau fase tergantung pada karakteristik zat dan proses yang

berlangsung. Sebaliknya, pelepasan panas dapat menyebabkan penurunan energi internal atau perubahan kondisi lainnya. Perubahan energi juga dapat terjadi melalui kerja, misalnya ketika gas mengalami ekspansi dan mendorong piston atau ketika gas dikompresi oleh piston sehingga menerima kerja dari lingkungan. Hubungan antara perubahan energi dan interaksi tersebut menjadi dasar penerapan hukum pertama termodinamika pada berbagai sistem teknik (Whitman, 2023).

Pada sistem tertutup, perubahan energi total berkaitan dengan perpindahan panas dan kerja yang melintasi batas sistem. Analisis dilakukan dengan memperhatikan perubahan energi internal, energi kinetik, dan energi potensial antara keadaan awal dan keadaan akhir. Apabila perubahan energi kinetik dan potensial dapat diabaikan, analisis menjadi lebih sederhana karena perhatian utama diarahkan pada perubahan energi internal serta panas dan kerja yang terjadi. Pendekatan tersebut banyak digunakan untuk menganalisis proses pada silinder berpiston, tangki tertutup, bejana tekan, dan perangkat lain yang memiliki jumlah massa tetap. Dengan demikian, karakteristik energi pada sistem tertutup dapat dipahami melalui hubungan antara kondisi awal, interaksi energi, dan kondisi akhir sistem (Schmidt, 2022).

Pada sistem terbuka, perubahan energi tidak hanya dipengaruhi oleh panas dan kerja, tetapi juga oleh perpindahan massa yang membawa energi melintasi batas sistem. Setiap aliran massa membawa energi yang berkaitan dengan energi internal, tekanan, kecepatan, dan kedudukannya. Oleh karena itu, analisis energi pada volume

kendali memerlukan perhatian terhadap kondisi aliran masuk dan keluar serta karakteristik perangkat yang digunakan. Turbin, kompresor, pompa, nosel, dan penukar kalor merupakan contoh perangkat yang dapat dianalisis menggunakan pendekatan tersebut. Pemahaman terhadap perpindahan energi melalui aliran massa menjadi dasar untuk menentukan kinerja berbagai peralatan konversi energi dalam teknik mesin (Majumdar, 2021).

Perubahan energi juga dapat berlangsung melalui proses konversi dari satu bentuk energi ke bentuk lainnya. Pada turbin, misalnya, energi yang terkandung dalam aliran fluida dapat dikonversikan menjadi kerja mekanis pada poros. Sebaliknya, pada kompresor, kerja mekanis diberikan kepada fluida untuk meningkatkan tekanan dan kandungan energinya. Pada mesin pembakaran, energi kimia bahan bakar dikonversikan melalui proses pembakaran menjadi energi termal yang kemudian dapat menghasilkan kerja mekanis. Proses konversi tersebut menunjukkan bahwa energi tidak hilang begitu saja, tetapi berubah bentuk sesuai dengan karakteristik sistem dan proses yang berlangsung di dalamnya (Kumar, 2022).

Efisiensi menjadi parameter penting dalam mengevaluasi perubahan dan pemanfaatan energi pada sistem teknik. Efisiensi menunjukkan seberapa besar bagian energi yang diberikan kepada suatu sistem dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan keluaran yang diinginkan. Dalam kondisi nyata, tidak seluruh energi masukan dapat dikonversikan menjadi keluaran yang berguna karena terdapat berbagai bentuk kehilangan dan irreversibilitas.

Gesekan, perpindahan panas yang tidak ideal, hambatan aliran, dan proses pencampuran merupakan beberapa faktor yang dapat menurunkan kinerja sistem. Oleh karena itu, analisis energi tidak hanya bertujuan mengetahui jumlah energi yang terlibat, tetapi juga menentukan seberapa efektif energi tersebut dimanfaatkan dalam suatu perangkat teknik (Struchtrup, 2024).

Perubahan energi dalam sistem teknik juga berkaitan erat dengan hukum kedua termodinamika yang menjelaskan kualitas energi dan arah suatu proses. Energi secara kuantitatif tetap terjaga, tetapi kemampuan energi untuk menghasilkan kerja dapat berkurang akibat terjadinya irreversibilitas. Konsep entropi digunakan untuk menggambarkan kecenderungan tersebut dan membantu mengidentifikasi proses yang menyebabkan penurunan kualitas energi. Dalam sistem energi modern, pemahaman mengenai kualitas energi menjadi semakin penting karena efisiensi tidak cukup dinilai hanya berdasarkan keseimbangan jumlah energi. Evaluasi terhadap kualitas dan potensi kerja energi memungkinkan perancangan sistem yang lebih efektif serta membantu mengurangi pemborosan sumber daya (Schmidt, 2024).

Sifat dan perubahan energi memiliki penerapan yang luas pada berbagai sistem teknik mesin, mulai dari mesin pembakaran dalam hingga pembangkit tenaga dan sistem refrigerasi. Pada mesin pembakaran, energi kimia bahan bakar diubah menjadi energi termal melalui pembakaran dan selanjutnya dikonversikan menjadi kerja mekanis. Pada sistem refrigerasi, kerja yang diberikan kepada kompresor

digunakan untuk memindahkan panas dari daerah bertemperatur rendah menuju lingkungan yang memiliki temperatur lebih tinggi. Pada pembangkit listrik, energi dari sumber primer dikonversikan melalui beberapa tahapan menjadi energi mekanis dan kemudian energi listrik. Setiap tahapan konversi tersebut dapat dianalisis menggunakan prinsip keseimbangan dan perubahan energi (Cengel et al., 2024).

Pemahaman terhadap sifat dan perubahan energi pada akhirnya menjadi dasar dalam pengembangan sistem teknik yang lebih efisien, andal, dan berkelanjutan. Insinyur perlu mengetahui bentuk energi yang tersedia, mekanisme perpindahannya, serta faktor yang menyebabkan sebagian energi tidak dapat dimanfaatkan secara optimal. Analisis tersebut dapat digunakan untuk menentukan ukuran perangkat, memilih kondisi operasi, memperkirakan kebutuhan bahan bakar, serta mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan. Perkembangan teknologi energi juga mendorong penerapan analisis termodinamika pada sistem yang semakin kompleks, termasuk sistem konversi energi terbarukan dan teknologi dengan integrasi berbagai bentuk energi. Dengan demikian, pemahaman mengenai sifat dan perubahan energi merupakan bagian fundamental dalam penguasaan termodinamika dan perancangan sistem energi pada bidang teknik mesin.

4.4 Mesin Kalor dan Sistem Konversi Energi

Mesin kalor merupakan salah satu perangkat penting dalam teknik mesin yang bekerja dengan memanfaatkan

perpindahan energi termal untuk menghasilkan kerja mekanis. Prinsip dasarnya adalah menerima energi dalam bentuk panas dari sumber bertemperatur tinggi, mengubah sebagian energi tersebut menjadi kerja, kemudian melepaskan sebagian energi yang tersisa ke lingkungan bertemperatur lebih rendah. Proses tersebut menunjukkan hubungan erat antara panas, kerja, temperatur, dan sifat termodinamika fluida kerja. Dalam penerapannya, mesin kalor menjadi dasar bagi berbagai teknologi pembangkitan daya dan penggerak mekanis yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari maupun kegiatan industri. Pemahaman mengenai prinsip kerja mesin kalor menjadi landasan penting untuk mempelajari sistem konversi energi secara lebih mendalam (Desmet, 2022).

Sistem konversi energi merupakan rangkaian perangkat yang dirancang untuk mengubah energi dari satu bentuk menjadi bentuk lain yang lebih sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Energi kimia bahan bakar dapat diubah menjadi energi termal melalui pembakaran, kemudian dikonversikan menjadi energi mekanis dan akhirnya menjadi energi listrik melalui perangkat generator. Dalam sistem lain, energi matahari, energi air, energi angin, atau energi panas bumi dapat dikonversikan melalui tahapan yang berbeda sesuai karakteristik sumber energinya. Setiap tahapan konversi membutuhkan proses tertentu yang menyebabkan perubahan sifat energi dan kondisi kerja sistem. Oleh karena itu, analisis termodinamika diperlukan untuk mengetahui keseimbangan energi dan tingkat efektivitas setiap tahapan konversi tersebut (Struchtrup, 2024).

Mesin kalor dapat dibedakan berdasarkan cara energi panas diberikan kepada fluida kerja, terutama menjadi mesin pembakaran dalam dan mesin pembakaran luar. Pada mesin pembakaran dalam, proses pembakaran berlangsung di dalam ruang kerja mesin sehingga produk pembakaran secara langsung berperan dalam menghasilkan tekanan dan kerja. Mesin pembakaran luar menggunakan sumber panas dari luar ruang fluida kerja, seperti pada sistem turbin uap yang memperoleh energi dari pemanasan air hingga menghasilkan uap bertekanan tinggi. Kedua jenis mesin tersebut memiliki karakteristik konstruksi, proses termodinamika, dan pola perpindahan energi yang berbeda. Perbedaan tersebut menentukan penggunaan, efisiensi, serta karakteristik kinerja masing-masing sistem (Kumar, 2022).

Mesin pembakaran dalam banyak digunakan sebagai sumber tenaga pada kendaraan, peralatan pertanian, mesin industri, dan berbagai perangkat bergerak lainnya. Pada mesin jenis ini, energi kimia yang tersimpan dalam bahan bakar dilepaskan melalui proses pembakaran dan menghasilkan gas bertemperatur serta bertekanan tinggi. Gas tersebut kemudian mengalami ekspansi sehingga menghasilkan gaya pada piston atau memutar turbin sesuai dengan konfigurasi mesin. Proses berlangsung melalui tahapan pemasukan, kompresi, pembakaran, ekspansi, dan pembuangan yang membentuk suatu siklus kerja. Analisis terhadap setiap tahap diperlukan untuk mengetahui bagaimana energi bahan bakar dikonversikan menjadi kerja mekanis serta bagaimana kehilangan energi dapat dikurangi (Granet et al., 2023).

Siklus Otto merupakan model termodinamika ideal yang digunakan untuk menggambarkan prinsip dasar mesin pembakaran dalam dengan penyalan bunga api. Siklus ini terdiri atas proses kompresi dan ekspansi yang dianggap berlangsung secara adiabatik serta proses penambahan dan pelepasan panas pada kondisi volume tetap. Meskipun merupakan model ideal, siklus Otto memberikan dasar teoritis untuk memahami pengaruh rasio kompresi terhadap efisiensi mesin. Dalam kondisi nyata, proses pembakaran, perpindahan panas, gesekan, dan keterbatasan mekanis menyebabkan kinerja mesin berbeda dari kondisi ideal. Oleh karena itu, siklus ideal digunakan sebagai acuan untuk memahami karakteristik dasar sebelum dilakukan analisis terhadap mesin yang sebenarnya (Granet et al., 2023).

Siklus Diesel digunakan untuk menggambarkan secara ideal prinsip kerja mesin penyalan kompresi yang banyak diterapkan pada kendaraan berat dan berbagai peralatan industri. Perbedaan utama antara siklus Diesel dan siklus Otto terdapat pada cara panas ditambahkan ke dalam sistem ideal, yaitu pada siklus Diesel proses penambahan panas diasumsikan berlangsung pada tekanan tetap. Udara dikompresi hingga mencapai temperatur yang cukup tinggi sehingga bahan bakar yang disemprotkan dapat mengalami penyalan tanpa memerlukan percikan listrik. Proses ekspansi selanjutnya menghasilkan kerja yang digunakan untuk menggerakkan poros mesin. Pemahaman mengenai siklus Diesel membantu menjelaskan hubungan antara rasio kompresi, pembakaran, efisiensi, dan karakteristik kerja mesin penyalan kompresi (Kumar, 2022).

Sistem turbin gas merupakan salah satu bentuk sistem konversi energi yang mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanis melalui rangkaian proses termodinamika yang berlangsung secara kontinu. Udara dikompresi terlebih dahulu, kemudian dicampurkan dengan bahan bakar dan dibakar dalam ruang pembakaran sehingga menghasilkan gas bertemperatur tinggi. Gas tersebut mengalami ekspansi melalui turbin dan menghasilkan kerja, sebagian digunakan untuk menggerakkan kompresor dan sisanya dapat dimanfaatkan sebagai keluaran daya. Sistem turbin gas banyak digunakan dalam pembangkit listrik, propulsi pesawat, dan berbagai aplikasi industri yang membutuhkan daya tinggi dengan rasio daya terhadap massa yang besar. Karakteristik operasi tersebut menjadikan turbin gas sebagai salah satu teknologi penting dalam sistem energi modern (Struchtrup, 2024).

Sistem turbin uap bekerja dengan memanfaatkan energi termal yang tersimpan dalam uap bertekanan dan bertemperatur tinggi untuk menghasilkan kerja mekanis. Air dipanaskan dalam ketel hingga berubah menjadi uap, kemudian uap tersebut dialirkan menuju turbin untuk mengalami ekspansi. Energi yang dilepaskan selama ekspansi digunakan untuk memutar sudu turbin dan menghasilkan kerja pada poros. Setelah keluar dari turbin, uap dikondensasikan kembali menjadi cairan dan dipompa menuju ketel untuk menjalani siklus berikutnya. Rangkaian tersebut membentuk dasar siklus Rankine yang banyak digunakan dalam pembangkit listrik tenaga uap dan sistem pembangkitan berbasis energi termal lainnya (Kumar, 2022).

Efisiensi termal merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk menilai kemampuan mesin kalor dalam mengubah energi panas menjadi kerja yang berguna. Secara umum, efisiensi menunjukkan perbandingan antara kerja bersih yang dihasilkan dan energi panas yang diberikan kepada sistem. Nilai efisiensi tidak pernah mencapai seratus persen pada mesin nyata karena sebagian energi harus dilepaskan ke lingkungan dan sebagian lainnya mengalami kehilangan akibat irreversibilitas. Gesekan, perpindahan panas yang tidak diinginkan, hambatan aliran, pembakaran yang tidak sempurna, dan berbagai keterbatasan komponen dapat menurunkan kinerja mesin. Oleh sebab itu, peningkatan efisiensi menjadi salah satu tujuan utama dalam perancangan dan pengembangan sistem konversi energi (Schmidt, 2022).

Siklus Carnot memberikan batas teoritis terhadap efisiensi maksimum mesin kalor yang bekerja antara dua tingkat temperatur tertentu. Siklus ini terdiri atas dua proses isothermal dan dua proses adiabatik yang secara ideal berlangsung secara reversibel. Efisiensi siklus Carnot hanya bergantung pada temperatur sumber panas dan temperatur tempat pembuangan panas sehingga memberikan gambaran mengenai pengaruh kondisi temperatur terhadap kemampuan sistem menghasilkan kerja. Walaupun tidak dapat diwujudkan secara sempurna pada mesin nyata, siklus Carnot menjadi standar pembanding yang penting dalam mengevaluasi kinerja mesin kalor. Konsep tersebut juga menunjukkan bahwa peningkatan temperatur sumber panas dan pengurangan temperatur lingkungan penerima panas

dapat meningkatkan batas efisiensi teoritis suatu mesin (Struchtrup, 2024).

Sistem refrigerasi dan pompa kalor memiliki prinsip kerja yang berkaitan erat dengan mesin kalor, tetapi arah perpindahan energinya berbeda. Mesin kalor menghasilkan kerja dengan memanfaatkan perpindahan panas dari temperatur tinggi menuju temperatur rendah, sedangkan sistem refrigerasi menggunakan kerja dari luar untuk memindahkan panas dari daerah bertemperatur rendah menuju daerah bertemperatur lebih tinggi. Kompresor menjadi salah satu komponen utama yang menerima kerja mekanis dan meningkatkan tekanan serta temperatur refrigeran. Refrigeran kemudian mengalami proses kondensasi, ekspansi, dan penguapan secara berulang dalam suatu siklus tertutup. Sistem tersebut banyak diterapkan pada pendinginan makanan, pengondisian udara, penyimpanan produk, serta berbagai kebutuhan industri (Struchtrup, 2024).

Konversi energi tidak selalu menghasilkan satu bentuk keluaran tunggal karena suatu sistem dapat menggabungkan beberapa mekanisme perubahan energi secara bersamaan. Sistem kogenerasi, misalnya, dapat menghasilkan energi listrik sekaligus memanfaatkan panas yang dihasilkan untuk kebutuhan pemanasan atau proses industri. Pendekatan tersebut memungkinkan energi dari bahan bakar dimanfaatkan secara lebih menyeluruh dibandingkan sistem yang hanya menghasilkan satu jenis keluaran. Pemanfaatan panas buangan menjadi semakin penting karena dapat mengurangi jumlah energi primer yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi suatu fasilitas. Dengan

demikian, integrasi berbagai bentuk pemanfaatan energi menjadi salah satu pendekatan penting dalam meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem energi (Desmet, 2022).

Perkembangan sistem konversi energi juga mendorong pemanfaatan teknologi yang mengintegrasikan sumber energi terbarukan dengan mesin dan perangkat termal. Energi surya dapat digunakan untuk menghasilkan panas yang kemudian dimanfaatkan dalam siklus termodinamika, sedangkan energi biomassa dapat dikonversikan melalui proses pembakaran atau gasifikasi untuk menghasilkan energi yang dapat digunakan lebih lanjut. Sistem energi terbarukan memiliki karakteristik sumber yang berbeda dengan bahan bakar konvensional sehingga membutuhkan pendekatan desain dan pengelolaan yang sesuai. Integrasi teknologi penyimpanan energi juga dapat membantu mengatasi perubahan ketersediaan sumber energi yang bersifat tidak kontinu. Perkembangan tersebut memperluas penerapan konsep mesin kalor dan sistem konversi energi dalam upaya membangun sistem energi yang lebih berkelanjutan (Uddin, 2024).

Kinerja mesin kalor dan sistem konversi energi tidak hanya ditentukan oleh jumlah energi yang masuk dan keluar, tetapi juga oleh kualitas energi serta tingkat irreversibilitas yang terjadi selama proses. Hukum kedua termodinamika menunjukkan bahwa sebagian potensi energi untuk menghasilkan kerja dapat hilang akibat gesekan, perpindahan panas pada perbedaan temperatur hingga pencampuran dan proses aliran yang tidak ideal. Analisis terhadap kehilangan tersebut memungkinkan bagian sistem

yang memiliki peluang peningkatan kinerja dapat diidentifikasi. Pendekatan berbasis entropi dan eksergi dapat digunakan untuk menilai kualitas energi serta menentukan sumber utama ketidakefisienan dalam suatu sistem. Dengan cara tersebut, perancangan sistem energi dapat diarahkan tidak hanya pada keseimbangan energi, tetapi juga pada pemanfaatan energi yang lebih efektif (Struchtrup, 2024).

Pemahaman mengenai mesin kalor dan sistem konversi energi merupakan landasan penting dalam pengembangan teknologi teknik mesin yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan energi masa kini. Prinsip termodinamika memungkinkan setiap tahapan konversi dianalisis mulai dari sumber energi, proses perpindahan panas, pembentukan kerja, hingga pemanfaatan energi keluaran. Berbagai teknologi seperti mesin pembakaran dalam, turbin gas, turbin uap, sistem refrigerasi, pompa kalor, dan sistem kogenerasi menunjukkan bahwa konsep yang sama dapat diterapkan pada perangkat dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda. Pengembangan teknologi selanjutnya diarahkan pada peningkatan efisiensi, pengurangan kehilangan energi, pemanfaatan panas buangan, serta integrasi sumber energi yang lebih beragam. Oleh karena itu, penguasaan konsep mesin kalor dan sistem konversi energi menjadi bagian mendasar bagi mahasiswa teknik mesin dalam memahami sistem energi secara menyeluruh.

4.5 Penerapan Termodinamika dalam Teknik Mesin

Termodinamika memiliki peranan fundamental dalam teknik mesin karena menyediakan prinsip untuk memahami hubungan antara energi, panas, kerja, temperatur, tekanan, dan perubahan keadaan suatu sistem. Penerapannya mencakup berbagai perangkat yang berhubungan dengan produksi, perpindahan, penyimpanan, dan konversi energi dalam lingkungan industri maupun kehidupan sehari-hari. Melalui prinsip termodinamika, kinerja suatu sistem dapat dianalisis berdasarkan kondisi awal, proses yang berlangsung, serta kondisi akhir yang dihasilkan. Pendekatan tersebut memungkinkan seorang insinyur menentukan kebutuhan energi, memperkirakan keluaran kerja, dan mengevaluasi tingkat efisiensi suatu perangkat. Dengan demikian, termodinamika menjadi salah satu dasar keilmuan yang menghubungkan konsep teoritis dengan perancangan dan pengoperasian berbagai sistem teknik mesin (Whitman, 2023).

Penerapan termodinamika pada mesin kalor merupakan salah satu contoh yang paling penting dalam teknik mesin karena mesin kalor mengubah energi termal menjadi kerja mekanis. Sistem ini bekerja melalui rangkaian proses yang memungkinkan fluida kerja menerima panas dari sumber bertemperatur tinggi, menghasilkan kerja, dan melepaskan sebagian energi ke lingkungan bertemperatur lebih rendah. Prinsip tersebut diterapkan pada mesin pembakaran dalam, turbin gas, turbin uap, dan berbagai sistem pembangkit tenaga lainnya. Analisis termodinamika

digunakan untuk menentukan kerja bersih, efisiensi termal, perubahan temperatur, serta tekanan pada setiap tahapan siklus. Pemahaman terhadap karakteristik tersebut menjadi dasar dalam meningkatkan kinerja mesin sekaligus mengurangi penggunaan energi yang tidak diperlukan (Kumar, 2022).

Pada mesin pembakaran dalam, termodinamika digunakan untuk menganalisis perubahan energi yang terjadi sejak bahan bakar dan udara memasuki sistem hingga gas hasil pembakaran keluar dari mesin. Energi kimia yang tersimpan dalam bahan bakar dilepaskan melalui reaksi pembakaran dan menghasilkan energi termal yang meningkatkan temperatur serta tekanan gas. Energi tersebut kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan kerja mekanis melalui gerakan piston dan mekanisme poros engkol. Analisis termodinamika memungkinkan hubungan antara rasio kompresi, temperatur pembakaran, tekanan, volume, dan efisiensi mesin dipelajari secara sistematis. Hasil analisis tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan karakteristik operasi dan melakukan pengembangan terhadap sistem pembakaran yang lebih efektif (Kumar, 2022).

Penerapan termodinamika pada turbin gas berkaitan dengan proses kompresi udara, pembakaran bahan bakar, dan ekspansi gas bertemperatur tinggi melalui turbin. Udara lingkungan terlebih dahulu dikompresi sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat, kemudian udara bertekanan tersebut memasuki ruang pembakaran dan menerima energi dari bahan bakar. Gas hasil pembakaran memiliki kandungan

energi yang tinggi dan mengalami ekspansi pada turbin untuk menghasilkan kerja mekanis. Sebagian kerja turbin digunakan untuk menggerakkan kompresor, sedangkan sisanya dapat digunakan sebagai keluaran daya. Analisis termodinamika diperlukan untuk mengevaluasi efisiensi siklus, rasio tekanan, temperatur operasi, serta pengaruh berbagai irreversibilitas terhadap kinerja turbin gas (Whitman, 2023).

Turbin uap merupakan perangkat konversi energi yang menerapkan prinsip termodinamika melalui ekspansi uap bertekanan dan bertemperatur tinggi menjadi kerja mekanis. Uap yang dihasilkan dari proses pemanasan air memasuki turbin dan mengalami penurunan tekanan secara bertahap sehingga sebagian energi termodinamikanya diubah menjadi energi mekanis pada poros turbin. Setelah melewati turbin, uap dikondensasikan dan dikembalikan menjadi air untuk digunakan kembali dalam siklus. Proses tersebut menjadi dasar siklus Rankine yang banyak digunakan pada pembangkit listrik berbasis energi termal. Analisis termodinamika digunakan untuk menentukan efisiensi siklus, kerja turbin, kebutuhan panas ketel, serta pengaruh kondisi uap terhadap kinerja keseluruhan pembangkit (Kumar, 2022).

Termodinamika juga memiliki penerapan penting dalam sistem refrigerasi dan pengondisian udara yang bertujuan memindahkan panas dari suatu ruang menuju lingkungan. Sistem refrigerasi bekerja dengan menggunakan energi mekanis pada kompresor untuk menggerakkan refrigeran melalui proses kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi secara berulang. Analisis termodinamika digunakan

untuk menentukan kapasitas pendinginan, kerja kompresor, koefisien performa, serta kondisi tekanan dan temperatur refrigeran pada berbagai titik sistem. Prinsip yang sama diterapkan pada lemari pendingin, penyimpanan produk, sistem pengondisian udara, dan fasilitas pendinginan industri. Penguasaan termodinamika memungkinkan sistem dirancang sesuai kebutuhan pendinginan dengan penggunaan energi yang lebih efektif (Kirkpatrick, 2023).

Penerapan termodinamika dalam pompa kalor memiliki prinsip yang berlawanan dengan mesin kalor karena energi mekanis digunakan untuk memindahkan panas dari daerah bertemperatur lebih rendah menuju daerah bertemperatur lebih tinggi. Sistem tersebut dapat digunakan untuk pemanasan ruangan, pemanfaatan panas lingkungan, serta berbagai aplikasi industri yang membutuhkan pemindahan energi termal. Analisis termodinamika membantu menentukan koefisien performa, kebutuhan kerja kompresor, kapasitas pemanasan, dan kondisi operasi refrigeran. Perkembangan teknologi pompa kalor juga menunjukkan semakin luasnya penggunaan prinsip termodinamika dalam sistem energi yang menekankan efisiensi dan pemanfaatan energi secara optimal. Dengan pengendalian kondisi operasi yang tepat, energi yang digunakan untuk menggerakkan sistem dapat menghasilkan manfaat termal yang lebih besar dibandingkan energi masukan mekanisnya (Kirkpatrick, 2023).

Dalam bidang pembangkit listrik, termodinamika digunakan untuk menganalisis rangkaian konversi energi dari sumber primer menjadi energi mekanis dan selanjutnya

menjadi energi listrik. Pada pembangkit berbasis bahan bakar, energi kimia diubah menjadi energi termal melalui pembakaran, kemudian digunakan untuk menghasilkan uap atau gas bertekanan yang menggerakkan turbin. Energi mekanis dari turbin selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik melalui generator. Setiap tahap memiliki kehilangan energi dan irreversibilitas yang perlu diperhitungkan agar kinerja keseluruhan sistem dapat dievaluasi. Analisis termodinamika menjadi dasar dalam menentukan efisiensi pembangkit, kebutuhan bahan bakar, pemanfaatan panas buangan, dan peluang peningkatan kinerja sistem energi (Oyedepo et al., 2025).

Penerapan termodinamika juga semakin berkembang pada sistem energi terbarukan yang memanfaatkan sumber energi seperti matahari, biomassa, panas bumi, dan berbagai sumber energi lainnya. Pada sistem panas bumi, misalnya, energi termal dari dalam bumi dimanfaatkan untuk menghasilkan uap atau fluida kerja yang kemudian digunakan dalam siklus pembangkitan daya. Pada sistem surya termal, radiasi matahari dikonversikan menjadi panas dan selanjutnya digunakan untuk menjalankan siklus termodinamika tertentu. Analisis termodinamika membantu menentukan potensi energi yang tersedia, efisiensi konversi, kondisi operasi, serta kehilangan energi selama proses berlangsung. Pendekatan tersebut menjadi semakin penting dalam pengembangan sistem energi yang mampu memanfaatkan sumber daya terbarukan secara efektif dan berkelanjutan (Potter et al., 2025).

Termodinamika juga diterapkan dalam penukar kalor yang berfungsi memindahkan energi panas dari satu aliran fluida menuju aliran lainnya tanpa harus mencampurkan kedua fluida tersebut. Perangkat ini banyak ditemukan pada pembangkit listrik, sistem refrigerasi, mesin kendaraan, industri proses, dan sistem pengolahan energi. Analisis termodinamika digunakan untuk menentukan jumlah panas yang berpindah, perubahan temperatur fluida, serta pengaruh kondisi aliran terhadap efektivitas perangkat. Perancangan penukar kalor yang baik harus mempertimbangkan keseimbangan energi, sifat fluida, luas permukaan perpindahan panas, serta perbedaan temperatur antara kedua aliran. Dengan pendekatan tersebut, termodinamika membantu menghasilkan sistem perpindahan panas yang mampu bekerja secara efektif dengan kebutuhan energi tambahan yang relatif rendah (Kumar, 2022).

Dalam sistem kendaraan bermotor, termodinamika digunakan untuk memahami hubungan antara pembakaran bahan bakar, kerja mesin, perpindahan panas, dan konsumsi energi. Energi bahan bakar yang masuk ke mesin tidak seluruhnya dapat diubah menjadi kerja mekanis karena sebagian energi dilepaskan melalui gas buang, sistem pendinginan, gesekan, dan berbagai proses lainnya. Analisis termodinamika dapat digunakan untuk mengidentifikasi distribusi energi tersebut dan menentukan bagian sistem yang memiliki peluang untuk ditingkatkan. Perkembangan teknologi kendaraan juga mendorong penerapan konsep termodinamika pada mesin hibrida, sistem pemulihan panas buang, serta integrasi berbagai sumber energi. Dengan

demikian, termodinamika berperan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi sekaligus mendukung pengembangan teknologi kendaraan yang lebih efektif (Cengel et al., 2024).

Penerapan termodinamika dalam sistem penyimpanan energi semakin penting seiring meningkatnya penggunaan sumber energi yang bersifat tidak kontinu. Sistem penyimpanan termal, penyimpanan udara bertekanan, dan teknologi penyimpanan lainnya melibatkan proses pengisian, penyimpanan, dan pelepasan energi yang dapat dianalisis berdasarkan prinsip termodinamika. Pada penyimpanan udara bertekanan, misalnya, energi digunakan untuk mengompresi udara dan disimpan dalam bentuk energi tekanan sebelum dilepaskan kembali untuk menghasilkan kerja. Analisis termodinamika diperlukan untuk mengetahui kehilangan energi selama kompresi, penyimpanan, ekspansi, dan perpindahan panas. Pendekatan tersebut memungkinkan sistem penyimpanan dirancang dengan mempertimbangkan efisiensi, kapasitas, kestabilan operasi, serta kebutuhan energi selama siklus penggunaannya (Mahmoud et al., 2024).

Termodinamika tidak hanya digunakan untuk menghitung keseimbangan energi, tetapi juga digunakan untuk mengevaluasi kualitas energi melalui konsep entropi dan eksergi. Analisis eksergi memungkinkan penentuan bagian energi yang secara teoritis masih dapat dikonversikan menjadi kerja berguna berdasarkan kondisi lingkungan tertentu. Pendekatan ini membantu mengidentifikasi lokasi utama terjadinya irreversibilitas dalam sistem, seperti pada proses pembakaran, perpindahan panas, ekspansi, kompresi,

dan aliran fluida. Dengan mengetahui sumber kehilangan kualitas energi, insinyur dapat menentukan strategi perbaikan yang lebih tepat dibandingkan hanya melihat keseimbangan energi secara keseluruhan. Penggunaan analisis energi, eksergi, ekonomi, dan lingkungan secara terpadu juga semakin banyak digunakan dalam evaluasi sistem energi modern (Oyedepo et al., 2025).

Perkembangan teknologi digital turut memperluas penerapan termodinamika melalui pemodelan, simulasi, pengendalian, dan diagnosis sistem secara komputasional. Model termodinamika dapat digunakan untuk memprediksi perilaku sistem sebelum perangkat dibuat atau dioperasikan sehingga berbagai alternatif desain dapat dibandingkan secara lebih efisien. Data sensor yang diperoleh selama operasi juga dapat digunakan untuk memantau temperatur, tekanan, laju aliran, dan parameter lainnya sebagai dasar pengendalian kondisi kerja. Integrasi pemodelan dengan sistem digital memungkinkan perubahan kinerja dan potensi gangguan dideteksi lebih awal. Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa penerapan termodinamika pada teknik mesin tidak lagi terbatas pada perhitungan manual, tetapi berkembang menjadi bagian dari sistem analisis dan pengelolaan mesin yang semakin cerdas (Zhou & Huang, 2024).

Secara keseluruhan, penerapan termodinamika dalam teknik mesin mencakup hampir seluruh sistem yang melibatkan perubahan energi, perpindahan panas, produksi kerja, maupun pengendalian kondisi termal. Prinsip tersebut digunakan pada mesin pembakaran, turbin, pembangkit

listrik, sistem refrigerasi, pompa kalor, penukar kalor, kendaraan, sistem energi terbarukan, hingga teknologi penyimpanan energi. Melalui analisis termodinamika, seorang insinyur dapat menentukan keseimbangan energi, mengevaluasi efisiensi, mengidentifikasi irreversibilitas, dan merancang sistem yang lebih sesuai dengan kebutuhan operasional. Perkembangan teknologi energi juga menuntut penerapan termodinamika yang mempertimbangkan aspek ekonomi, lingkungan, keberlanjutan, dan kemampuan integrasi dengan teknologi digital. Oleh karena itu, penguasaan penerapan termodinamika merupakan kompetensi fundamental bagi mahasiswa teknik mesin dalam menghadapi perkembangan sistem energi dan teknologi rekayasa moder.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoglu, M. (2024). *Thermodynamics: An engineering approach* (10th ed.). McGraw-Hill.
- Desmet, B. (Ed.). (2022). *Thermodynamics of heat engines*. ISTE Ltd.
- Ghoniem, A. F. (2022). *Energy conversion engineering*. Cambridge University Press.
- Granet, I., Alvarado, J., & Bluestein, M. (2023). *Thermodynamics and heat power* (9th ed.). CRC Press.
- Khalid, A., Abd Ghafir, M. F., Mohmad Ja'at, M. N., Mohd, S., & Basharie, S. M. (2022). *Buku teks: Termodinamik pelajar kejuruteraan*. Penerbit Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.
- Kirkpatrick, A. T. (2023). *Introduction to refrigeration and air conditioning systems: Theory and applications* (2nd ed.). Springer.
- Kumar, S. (2022). *Thermal engineering volume 1*. Springer.
- Lee, J. H. S., & Ramamurthi, K. (2022). *Fundamentals of thermodynamics*. CRC Press.
- Liu, Z.-K. (2025). Revisiting the first, second and combined laws of thermodynamics. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, 46, 351–356.
- Mahmoud, M., El-Halwagi, M. M., & others. (2024). *Energy storage systems: Technologies, challenges, and future trends*. Energy Storage Review.
- Majumdar, P. (2021). *Design of thermal energy systems*.

- Wiley.
- Majumdar, P. (2021). *Design of thermal energy systems*. Wiley.
- Oyedepo, S. O., Waheed, M. A., Abam, F. I., Dirisu, J. O., Samuel, O. D., Ajayi, O. O., Somorin, T., Popoola, A. P. I., Kilanko, O., & Babalola, P. O. (2025). A critical review on enhancement and sustainability of energy systems: Perspectives on thermo-economic and thermo-environmental analysis. *Frontiers in Energy Research*, 12.
- Potter, M. C., Allen, J. S., & Kroos, K. A. (2025). *Thermodynamics for engineers*. Springer.
- Schmidt, A. (2022). *Technical thermodynamics for engineers: Basics and applications*. Springer.
- Schmidt, A. (2024). *Technical thermodynamics for engineers: Basics and applications* (3rd ed.). Springer.
- Struchtrup, H. (2024). *Thermodynamics and energy conversion* (2nd ed.). Springer.
- Uddin, N. (2024). *Thermodynamics: Fundamentals and applications*. CRC Press.
- Whitman, A. M. (2023). *Thermodynamics: Basic principles and engineering applications*. Springer.
- Yan, C. Y. (2022). *Introduction to engineering thermodynamics*. BCcampus.
- Zhou, D., & Huang, D. (2024). A review on the progress, challenges and prospects in the modeling, simulation, control and diagnosis of thermodynamic systems. *Advanced Engineering Informatics*, 60, 102435.

BIODATA PENULIS



Christian Soolany, S.TP, M.Si

Dosen Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri Universitas Nahdlatul Ulama Al
Ghazali Cilacap

Penulis lahir di Jakarta Hari Selasa, Tanggal 27 Desember 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap. Menyelesaikan pendidikan S1 Tahun 2010 pada Program Studi Teknik Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman dan melanjutkan S2 pada Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin Pertanian dan Pangan Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor selesai tahun 2014. Penulis aktif dalam meneliti di bidang Rekayasa Mesin dengan fokus kajian di Bidang Energi. Aktif mengajar mulai tahun 2015 sampai dengan saat ini. Mata

kuliah yang diampu mulai dari Elemen Mesin, Material Teknik, Mesin Konversi Energi, Menggambar Teknik, Menggambar Mesin dan Proses Manufaktur. Hak Cipta yang sudah dihasilkan oleh penulis yaitu Modul Menggambar Teknik dan Modul Menggambar Mesin.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: christiansoolany@gmail.com atau christian.fti@unugha.ac.id

BIODATA PENULIS



Suryaman, S.T., M.MT.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Kebangsaan Republik Indonesia

Penulis adalah seorang ahli keteknikan dengan keahlian dalam bidang rekayasa konstruksi, energi terbarukan, dan konversi energi. Latar belakang pendidikannya, meliputi gelar sarjana teknik mesin dari Institut Teknologi Nasional (Itenas) lulusan tahun 2000 dan magister manajemen industri dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) lulusan tahun 2004, membekali beliau dengan pengetahuan yang luas dalam menggabungkan aspek teknis, manajemen industri. Sebagai dosen tetap di Universitas Kebangsaan Republik Indonesia, Suryaman tidak hanya aktif dalam kegiatan pengajaran, tetapi juga terlibat dalam berbagai proyek penelitian. Minatnya yang besar pada pengembangan produk berbasis teknologi dan efisiensi energi.

Selain aktif dalam kegiatan pengajaran dan penelitian, Beliau juga berperan aktif dalam berbagai kegiatan di tingkat institusi. Sebagai Direktur Bagian Kerjasama Bidang IV, yang bertanggung jawab dalam menjalin kerjasama sesuai Tridharma Perguruan Tinggi.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:
suryaman0901@gmail.co