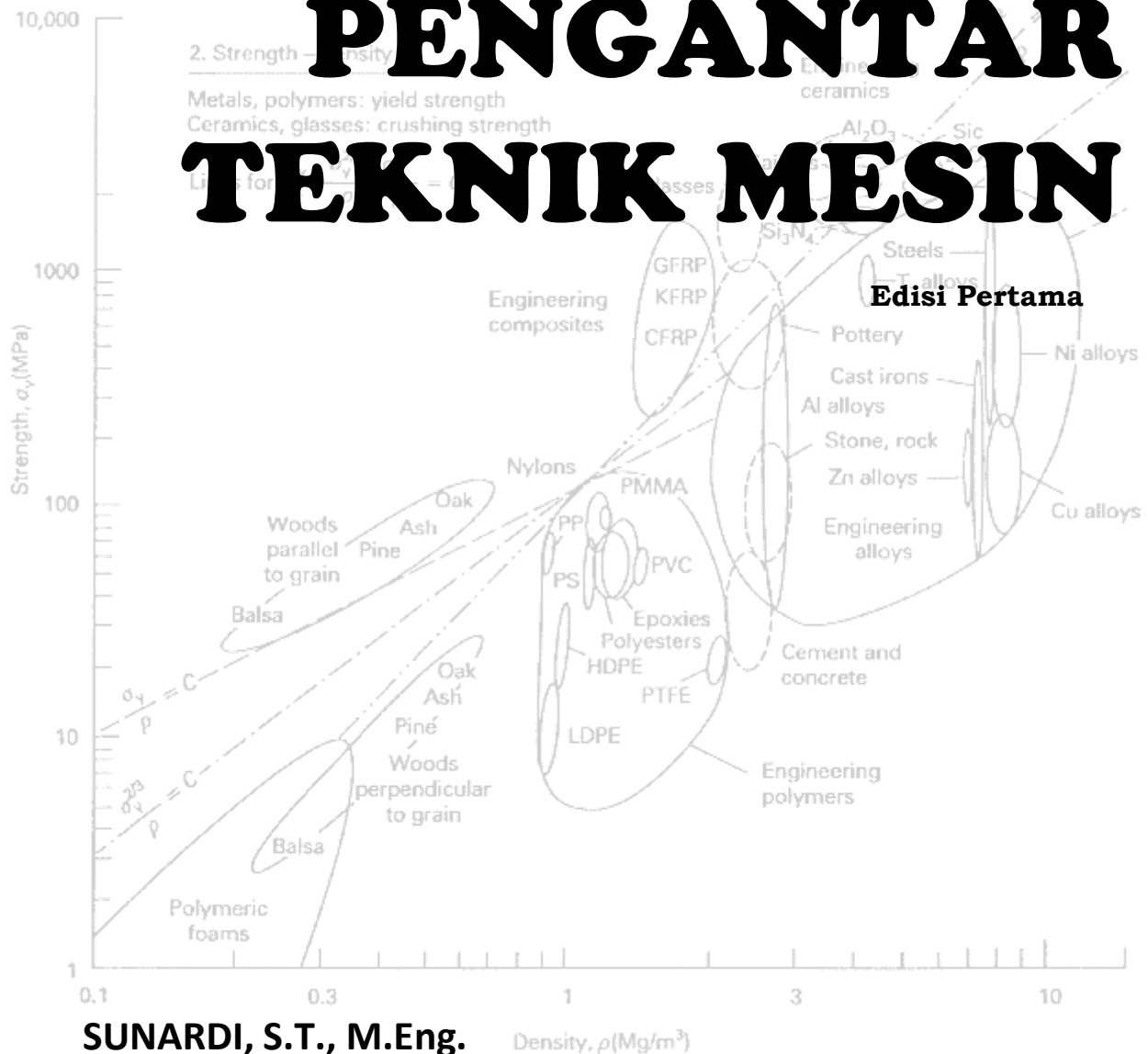


PENGANTAR TEKNIK MESIN



SUNARDI, S.T., M.Eng.

Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA
 Jl. Jendral Sudirman KM 03 Cilegon – Indonesia
 HP : 081384580323
 Email : sunardi@untirta.ac.id
 Facebook : Sunardi Klaten

HALAMAN PENGESAHAN

Diktat kuliah berdasarkan Kurikulum 2014 di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa:

Mata Kuliah : Pengantar Teknik Mesin
Penulis : Sunardi, M.Eng.
NIP : 19731205 200604 1 002
Unit Kerja : FT Untirta/ Teknik Mesin

Dinyatakan sah dan dapat digunakan untuk referensi proses perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Cilegon, 12 Desember 2014
Fakultas Teknik UNTIRTA
Dekan,

Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA
Ketua,

KURNIA NUGRAHA, M.T.
NIP. 19740104 200101 1 001

SUNARDI, M.Eng.
NIP. 19731205 200604 1 002

PRAKATA

Puji syukur terpanjatkan kepada *Allah subhanahu wata'ala* atas curahan nikmat yang tak terhitung ini. Berkat kesehatan, lapangnya pikiran dan berbagai kemudahan lainnya sehingga "*Diktat Pengantar Teknik Mesin*" ini dapat diselesaikan dengan baik.

Mahasiswa tingkat 1 perlu mendapat gambaran secara umum terhadap kompetensi yang harus dikuasai. Untuk memicu semangat belajar secara terarah tentu seorang mahasiswa harus mengetahui untuk apa kuliah di Teknik Mesin Untirta. Ketika mahasiswa mengetahui tujuan kuliah di Jurusan Teknik Mesin, maka mahasiswa tersebut dapat mengatur strategi penguasaan materi perkuliahan. Kesadaran akan pentingnya penguasaan setiap kompetensi diharapkan mahasiswa dapat belajar secara mandiri melalui eksplorasi pengetahuan dari berbagai sumber pengetahuan.

Diktat Pengantar Teknik Mesin merupakan upaya membekali mahasiswa tingkat 1 terhadap kompetensi-kompetensi keteknikan yang dapat mengantarkannya menjadi insinyur yang professional dan mandiri. Diktat Pengantar Teknik Mesin berisi gambaran secara umum tentang dasar-dasar keteknikan.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin Untirta atas pembiayaan penyusunan diktat ini. Semoga diktat ini dapat memperkaya khasanah dan referensi ilmu pengetahuan bagi dosen dan mahasiswa di Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA. Semoga curahan pikiran, waktu dan tenaga dapat menjadi sebuah nilai kebaikan di mata Allah.

Cilegon, 05 Desember 2014
Penulis,

Sunardi, S.T., M.Eng.
NIP. 19731205 200604 1 002

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I. MENGENAL JURUSAN TEKNIK MESIN UNTIRTA	1
1.1. Sejarah Singkat Jurusan Teknik Mesin	1
1.2. Visi dan Misi Jurusan Teknik Mesin	1
1.3. Profil Kurikulum 2014 Jurusan Teknik Mesin.....	2
1.4. Profil Sumber Daya Manusia	2
1.5. Kelompok Keahlian Jurusan Teknik Mesin	3
1.6. Profil Sarana dan Prasarana.....	4
1.7. Pendidikan Karakter	6
1.8. Insinyur dalam Tantangan Global.....	6
1.9. Potensi Alam Indonesia untuk Pembangunan Bangsa.....	7
1.10. Karakteristik Insinyur	11
BAB II KONSEP DASAR STATIKA STRUKTUR	12
2.1. Pendahuluan.....	12
2.2. Konsep dan Prinsip Dasar	12
2.3. Resultan Gaya Konkuren	14
2.4. Penguraian Gaya	15
2.5. Keseimbangan Partikel	16
2.6. Momen Gaya terhadap Sumbu	17
2.7. Aplikasi Statika Struktur dan Kegagalan Struktur	18
BAB III KEKUATAN MATERIAL	19

3.1.	Kekuatan Bahan dan Aplikasinya	19
3.2.	Tegangan Tarik dan Tekan	20
3.3.	Tegangan Geser	20
3.4.	Tegangan Dukung (<i>Bearing Stress</i>)	21
3.5.	Bejana Bertekanan	21
3.6.	Tegangan Lentur	22
3.7.	Tegangan Puntir (Torsi).....	24
3.8.	Kopling Flens	26
3.9.	Regangan	27
3.9.1.	Tegangan Kerja dan Faktor Keamanan	28
3.9.2.	Deformasi Geser	28
3.9.3.	Rasio Poisson: Deformasi Dua Sumbu dan Tiga Sumbu	29
3.9.4.	Tegangan Termis (<i>Thermal Stress</i>)	30
3.10.	Lendutan	31
3.10.1.	Metode Integrasi Ganda	31
3.10.2.	Metode Momen Luasan	32
3.10.3.	Metode Superposisi	33
3.11.	Kolom	33
3.11.1.	Kolom Panjang	34
3.11.2.	Batasan Rumus Euler	36
3.11.3.	Kolom Sedang	37
BAB IV	MEKANIKA FLUIDA DAN PENERAPANNYA.....	40
4.1.	Pendahuluan	40
4.2.	Dimensi dan Satuan	40
4.3.	Sifat-Sifat Fluida	41
4.3.1.	Densitas	41
4.3.2.	Kompresibilitas	41
4.3.3.	<i>Surface Tension</i>	42
4.3.4.	<i>Vapor Pressure</i>	43
4.3.5.	Viskositas	43
4.3.6.	Tekanan (<i>Pressure</i>)	45

BAB V	PERPINDAHAN PANAS DALAM RANCANGAN MEKANIKAL	46
5.1.	Pendahuluan	46
5.2.	Perpindahan Panas Konduksi (<i>Conduction Heat Transfer</i>)	46
5.3.	Perpindahan Panas Konveksi (<i>Convection Heat Transfer</i>)	49
5.4.	Perpindahan Panas Radiasi (<i>Radiation Heat Transfer</i>)	51
BAB VI	PERANAN THERMODINAMIKA DI BIDANG TEKNIK	54
6.1.	Pendahuluan	54
6.2.	Sistem dan Sifat-Sifatnya	54
6.3.	Keseimbangan	54
6.4.	Proses	55
6.5.	Tekanan (<i>Pressure</i>)	55
6.6.	Energi	55
6.6.1.	Energi Makroskopis	56
6.6.2.	Energi Mikroskopis	56
6.6.3.	Transformasi Energi	56
6.6.4.	Energi Mekanis	57
6.6.5.	Peforma Mesin	57
6.7.	Kualitas Campuran	57
6.8.	Diagram T-V	58
6.9.	Diagram P-T	59
6.10.	Persamaan Sifat	59
6.11.	Sistem Tertutup	60
6.12.	Panas Spesifik	60
6.13.	Volume Terkontrol	61
6.14.	Energi Fluida yang Mengalir	61
6.15.	Transformasi Panas-Kerja	62
6.15.1.	<i>Reservoir</i>	62
6.15.2.	<i>Heat Engines</i>	62
6.15.3.	<i>Refrigerators and Heat Pumps</i>	62
6.16.	Proses Reversibel	63
6.16.1.	Siklus Carnot	63

6.16.2. Kualitas Energi	63
BAB VII MATERIAL UNTUK REKAYASA STRUKTUR	65
7.1. Klasifikasi Material	66
7.1.1. Logam dan Paduannya	66
7.1.2. Keramik dan Kaca	66
7.1.3. Polimer	67
7.1.4. Semikonduktor	68
7.1.3. Komposit	68
7.2. Klasifikasi Fungsional Material	69
7.3. Karakteristik Mekanis Material.....	70
7.4. Karakteristik Thermal Material	72
7.5. Karakteristik Elektrik Material	72
BAB VIII PEMILIHAN MATERIAL DAN PROSES UNTUK STRUKTUR	74
8.1. Perilaku Material	74
8.1.1. <i>Creep</i>	74
8.1.2. Korosi	76
8.1.3. Fatik	78
8.1.4. Keausan.....	79
8.1.5. Perpatahan.....	79
8.2. Proses Manufaktur	80
8.2.1. Pengecoran	80
8.2.2. Pembentukan	81
8.2.3. Pemesinan	82
8.2.4. Penyambungan.....	83
8.2.5. Metalurgi Serbuk	83
8.2.65. Perlakuan Panas.....	84
8.3. Pengaruh Proses Manufaktur terhadap Perilaku Material	85
8.3.1. Pengerjaan Dingin (<i>Cold Working</i>)	85
8.3.2. Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>).....	86
8.3.3. Permukaan Pemesinan	87
8.4. Metodologi Pemilihan Material	87

8.4.1. <i>Initial Screening of Materials</i>	87
8.4.2. <i>Comparing and Ranking Alternative Solution</i>	91
8.4.3. <i>Selecting the Optimum Solution</i>	92
BAB IX PERANCANGAN SISTEM MEKANIKAL	93
9.1. Pendahuluan	93
9.2. Klasifikasi Desain Mesin	93
9.2.1. <i>Adaptive Design</i>	93
9.2.2. <i>Development Design</i>	93
9.2.3. <i>New Design</i>	93
9.3. Tanggungjawab Profesional Insinyur Desain	94
9.4. Pertimbangan Umum Desain Mesin	94
9.5. Prosedur Umum Desain Mesin.....	96
9.6. Toleransi	97
9.7. Reliabilitas	97
9.8. Desain Untuk Mengurangi Bahaya Mesin dan Pabrik	97
9.9. Pertimbangan Siklus Umur Desain	99
9.10. Aturan Baku Desain Pengaman	100
9.11. Pemilihan Material untuk Keamanan Konstruksi	100
DAFTAR PUSTAKA	102
LAMPIRAN	103

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Perkembangan jumlah insinyur di Indonesia	9
Tabel 2	Satuan dan konversi	41
Tabel 3	Konduktifitas thermal bahan-bahan	48
Tabel 4	Nilai koefisien perpindahan panas konveksi	50
Tabel 5	Titik luluh beberapa material	75
Tabel 6	Kecepatan deformasi beberapa proses pembentukan.....	82
Tabel 7	Penentuan pengaruh kekasaran terhadap performa material	87
Tabel 8	Formula untuk estimasi biaya per satuan sifat	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Tingkat pendidikan dosen PNS dan Luar Biasa	2
Gambar 2	Jabatan fungsional dosen	3
Gambar 3	Dosen tersertifikasi sebagai pendidik profesional	3
Gambar 4	Pemetaan potensi sumber daya alam Indonesia	8
Gambar 5	Kekayaan sumber daya alam	9
Gambar 6	Grafik populasi insinyur di beberapa negara	10
Gambar 7	Penjumlahan gaya	13
Gambar 8	Prinsip transmisiabilitas	13
Gambar 9	Resultan gaya	14
Gambar 10	Pengurangan gaya	15
Gambar 11	Momen suatu gaya	17
Gambar 12	Penerapan mekanika pada struktur bangunan	18
Gambar 13	Contoh penggunaan mekanika material dalam struktur	19
Gambar 14	Tegangan normal material	20
Gambar 15	Penampang geser	21
Gambar 16	Gaya pecah tangki silinder	21
Gambar 17	Deformasi balok	22
Gambar 18	Deformasi poros bulat	24
Gambar 19	Diagram benda bebas poros bulat	25
Gambar 20	Momen inersia polar	26
Gambar 21	Kopling flens yang dibaut	27
Gambar 22	Kopling dengan dua lingkaran baut konsentris	27
Gambar 23	Deformasi geser	29
Gambar 24	Kurva elastis balok	31
Gambar 25	Teori momen luas	33
Gambar 26	Batang kolom	34
Gambar 27	Kolom dengan berbagai tumpuan	35
Gambar 28	Tegangan kerja kolom untuk berbagai grade baja	39
Gambar 29	Fenomena kapilaritas	43

Gambar 30	Gerak relative molekul	44
Gambar 31	Pelat dengan perpindahan panas konduksi	46
Gambar 32	Laju perpindahan panas.....	47
Gambar 33	Perpindahan panas pada pelat komposit	48
Gambar 34	Perpindahan panas secara konveksi	49
Gambar 35	Analogi tahanan listrik	50
Gambar 36	Sketsa tahanan laju aliran panas	51
Gambar 37	Pelat radiasi	52
Gambar 38	Emisifitas benda	53
Gambar 39	Diagram temperatur versus volume spesifik	58
Gambar 40	<i>Diagram showing the phase of pure substance, given its pressure and temperature</i>	59
Gambar 41	Turbojet engine J85-GE-17A	65
Gambar 42	Aplikasi material logam di bidang teknik	66
Gambar 43	Produk dengan bahan dasar keramik dan kaca	67
Gambar 44	Aplikasi polimer dalam sebuah produk	68
Gambar 45	Perangkat semikonduktor	68
Gambar 46	Produk dengan bahan komposit	69
Gambar 47	Diagram tegangan-regangan antara bahan ulet dan getas	71
Gambar 48	Kurva creep material	75
Gambar 49	Penampang muka patahan fatik	78
Gambar 50	Pengaruh amplitude tegangan terhadap umur lelah material	78
Gambar 51	Korelasi regangan pada ujung retakan pada pelat terhadap pengurangan luas	81
Gambar 52	Produk hasil metalurgi serbuk	84
Gambar 53	Diagram tegangan-regangan baja UNS G10350 untuk <i>hot rolled dan cold drawn</i>	86
Gambar 54	Pengaruh thermal-mekanikal terhadap sifat mekanis baja AISI 4340 .	86
Gambar 55	Contoh kartu pemilihan material	90
Gambar 56	Tahapan metode pembobotan sifat	92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Kesimpulan beban balok.....	103
Lampiran 2	Satuan Acara Perkuliahan	105

BAB I MENGENAL JURUSAN TEKNIK MESIN UNTIRTA

1.1 Sejarah Singkat Jurusan Teknik Mesin

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa bermula dari Sekolah Tinggi Teknologi yang didirikan oleh PT. Krakatau Steel (1982). Melalui SK Mendikbud RI No. 0597/O/1984, Sekolah Tinggi Teknologi yang berlokasi di Cilegon ini menggabungkan diri dengan sekolah tinggi lainnya yang berlokasi di Serang, seperti STIH (Sekolah Tinggi Ilmu Hukum) dan STKIP (Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan) dilebur menjadi Universitas Tirtayasa di bawah naungan Yayasan Pendidikan Tirtayasa dengan status terdaftar. Seiring dengan terbentuknya Provinsi Banten, maka tahun 2001, Untirta secara resmi menjadi Perguruan Tinggi Negeri dengan nama Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (Kepres No. 32 tahun 2001).

Tahun 1999, Program Studi Teknik Mesin memperoleh status diakui berdasarkan Surat Keputusan Mendikbud RI No. 56/DIKTI/Kep/1999. Pada tahun 2000, Program Studi Teknik Mesin mengalami perubahan status dari diakui menjadi terakreditasi BAN-PT dengan peringkat C berdasarkan SK BAN-PT No. 004/BAN-PT/Ak-IV/IV/2000 dan dilakukan reakreditasi (2005) dengan peringkat B. Tahun 2011, reakreditasi Program Studi Teknik Mesin memperoleh peringkat B berdasarkan SK BAN PT No. 013/BAN-PT/Ak-XIV/S1/VII/2011.

1.2 Visi dan Misi Jurusan Teknik Mesin

Sebuah keinginan atau harapan yang ingin dicapai oleh Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa tertuang dalam Visi Jurusan yaitu: ***“menjadi institusi unggulan di bidang teknik mesin yang bermutu dan berkarakter”***.

Bermutu memiliki makna bahwa Jurusan Teknik Mesin Untirta mampu untuk berkompetisi dengan perguruan tinggi lain baik di tingkat lokal, nasional maupun global. Sedangkan karakter yang diharapkan adalah jujur, cerdas, peduli dan tangguh. Semua kebijakan dan aktifitas yang diterbitkan oleh Teknik Mesin Untirta harus berorientasi pada visi tersebut. Untuk mewujudkan visi institusi, maka Jurusan Teknik Mesin mengeluarkan langkah-langkah strategis yang dituangkan dalam misi jurusan, yaitu:

1. Menyelenggarakan pendidikan yang bermutu dan profesional.
2. Melakukan penelitian di bidang keteknikan secara berkelanjutan.
3. Membantu memecahkan persoalan praktis yang dihadapi oleh masyarakat yang berbasis ilmu teknik.
4. Menjalin kerjasama dengan stakeholder dalam kerangka Tri Dharma Perguruan Tinggi.

Konsistensi dan kesamaan visi antara manajemen, dosen, tenaga kependidikan dan mahasiswa merupakan persyaratan dasar dalam mewujudkan mimpi tersebut.

1.3 Profil Kurikulum 2014 Jurusan Teknik Mesin

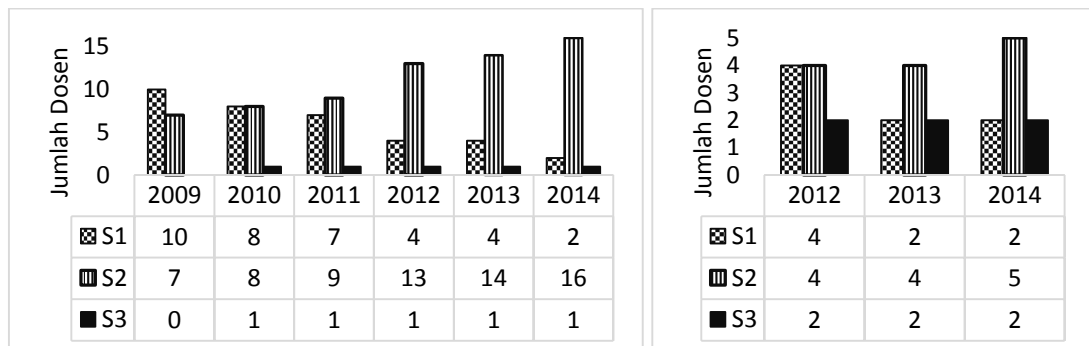
Kurikulum yang digunakan di Jurusan Teknik Mesin Untirta dievaluasi secara periodik setiap 4 (empat) tahun sekali. Evaluasi ini dilakukan dalam kerangka memadupadankan kesesuaian kompetensi dengan kebutuhan pasar kerja dan perkembangan teknologi. Saat ini, Jurusan Teknik Mesin menggunakan Kurikulum 2014 yang terdiri dari 146 SKS, dimana bobot praktikum sebesar 9 SKS, yaitu: Fisika Dasar, Teknik Pengukuran, Menggambar Teknik, Menggambar Mesin, Teknik Manufaktur 1, Teknik Manufaktur 2, Pengujian Material, Fenomena Dasar Mesin, dan Prestasi Mesin.

Peminatan keahlian yang dikembangkan di Jurusan Teknik Mesin Untirta berdasarkan Kurikulum 2014 mencakup 3 (tiga) kelompok, yaitu: [1] konversi energi dan eksplorasi energi terbarukan, [2] perancangan dan desain produk, serta [3] manufaktur dan mekanika material.

1.4 Profil Sumber Daya Manusia

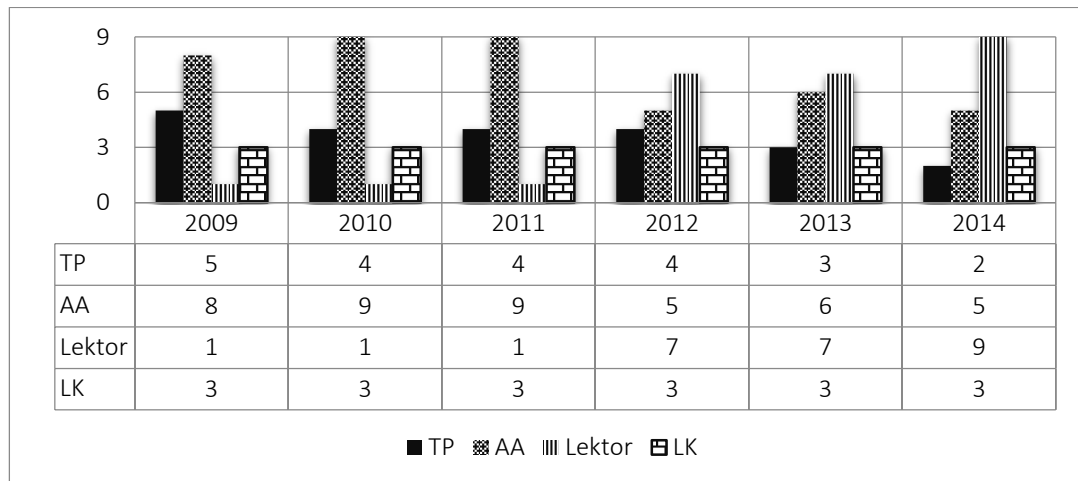
Sampai akhir tahun 2014, Jurusan Teknik Mesin memiliki 27 dosen yang terdiri dari 19 orang berstatus PNS, 2 orang dosen tetap non PNS dan 6 orang berstatus dosen luar biasa (LB). Dosen LB merupakan praktisi industri dari PT. Krakatau Steel dan PT. Indonesia Power serta beberapa perusahaan yang ada di wilayah Cilegon.

Dilihat dari tingkat pendidikannya, dosen pengajar di Jurusan Teknik Mesin Untirta berpendidikan S2 dan S3 yang berasal dari perguruan tinggi ternama di dalam dan luar negeri, seperti UI, UGM, ITB, ITS, UNDIP, Kobe University, University of Wolongong, dan University of New South Wales. Saat ini JTM Untirta memiliki 3 doktor, 1 kandidat doktor dan 21 master. Perpaduan dosen dan praktisi industri dalam pendidikan, penelitian dan pengabdian menjamin lulusan memiliki kompetensi akademik dan praktis yang lebih baik.



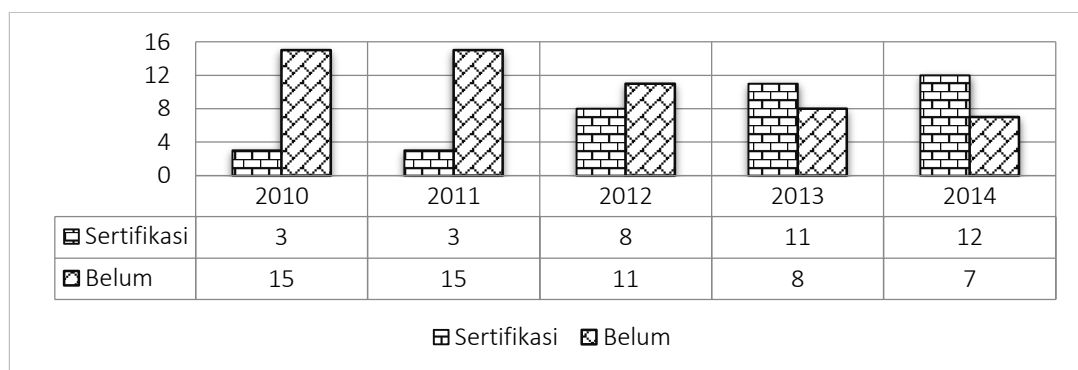
Gambar 1. Tingkat pendidikan dosen PNS dan Luar Biasa

Sedangkan jika dilihat dari tingkatan jabatan fungsional dosen dapat dilihat pada Gambar 2. Jabatan fungsional dosen merupakan jenjang karir dosen yang dibangun melalui proses yang panjang dan berliku. Jabatan fungsional dosen merupakan parameter bahwa seorang dosen sudah memenuhi persyaratan minimal angka kredit yang meliputi pendidikan, pengajaran, penelitian, pengabdian kepada masyarakat dan unsur penunjang tugas dosen lainnya.



Gambar 2. Jabatan fungsional dosen

Parameter lain untuk mengukur kinerja seorang dosen adalah sudah tidaknya tersertifikasi profesional sebagai pendidik. Hingga akhir tahun 2014, dosen yang sudah dinyatakan sebagai pendidik profesional mencapai 12 orang. Profil tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini. Mekanisme untuk memperoleh sertifikasi dosen mengalami peningkatan kesulitan dari tahun ke tahun. Karena untuk dinyatakan lulus sebagai pendidik profesional harus memenuhi kriteria: minimal master dengan jabatan fungsional asisten ahli, memiliki publikasi, lulus test TOEP dan TPA.



Gambar 3. Dosen tersertifikasi sebagai pendidik profesional

1.5 Kelompok Keahlian Jurusan Teknik Mesin

Seperti dikemukakan sebelumnya bahwa Jurusan Teknik Mesin Untirta memiliki 3 konsentrasi keahlian. Berikut ini adalah daftar dosen yang dikelompokkan berdasarkan bidang keahliannya:

- 1) **Konversi Energi dan Eksplorasi Energi Terbarukan:** Ni Ketut Caturwati, Hadi Wahyudi, Agung Sudrajat, Imron Rosyadi, Dwinanto, Santoso Budi, Mekro Permana Pinem, Yusvardi Yusuf, Hamdan Akbar Notonegoro.
- 2) **Perancangan dan Desain Produk:** Aswata, Erwin, Kurnia Nugraha, Haryadi, Wahyu Herwanto, Dhimas Satria, Erny Listijorini, Iwan Wahyudin dan Herry Purnomo.
- 3) **Manufaktur dan Mekanika Material:** Sunardi, Slamet Wiyono, Rina Luasiani, Moh. Fawaid, Ipick Setiawan, Koswara, Subiyarman.

Ketertarikan mahasiswa untuk mendalami ketiga bidang tersebut dalam bentuk penyusunan skripsi dapat mengajukan permohonan untuk pembimbingan. Ada kalanya sebuah judul skripsi memerlukan keahlian lintas bidang. Bahkan Jurusan Teknik Mesin Untirta akan melibatkan dosen dari jurusan lain dalam rangka keluasan, kedalaman maupun kompleksitas sebuah judul tugas akhir/skripsi.

1.6 Profil Sarana dan Prasarana

Kampus Teknik Untirta berada di tengah-tengah kawasan industri Kota Cilegon. Hal ini memudahkan mahasiswa untuk melaksanakan kerja praktik dan penelitian. Untuk menunjang *link and match*, maka JTM Untirta terus mengembangkan fasilitas pendidikan dan prasarana laboratorium. Laboratorium Jurusan Teknik Mesin memiliki

1. Laboratorium Fisika Dasar.
2. Laboratorium Material Teknik.
3. Laboratorium Gambar Manual.
4. Laboratorium Gambar AutoCAD dan Perancangan.
5. Laboratorium Pengukuran Teknik.
6. Laboratorium Proses Manufaktur (Konvensional dan CNC).
7. Laboratorium Fenomena Dasar Mesin.
8. Laboratorium Pengujian Tak Merusak (NDT).
9. Laboratorium Prestasi Mesin.
10. Laboratorium Mekanika Getaran dan Diagnosis Kerusakan Mesin.
11. Laboratorium IMS (Industrial Mechatronic System).

Di samping pengembangan potensi akademik, JTM Untirta juga memfasilitasi unit-unit kegiatan mahasiswa, seperti rohis, mapala, kremmur, aeromodeling. Selama tahun 2013, cukup banyak prestasi yang dapat ditorehkan oleh mahasiswa Teknik Mesin Untirta, antara lain:

1. 2014, Peringkat 1 Overall Champion pada Eshark Karting Cup 2014.
2. 2014, Peringkat 2 Olimpiade Sains Nasional Pertamina 2014 Tingkat Propinsi Kategori Bidang Fisika: **Raka Pratama Pujiadi** (3331130950).

3. 2013, Nominator Lomba Cipta Inovasi Propinsi Banten Tahun 2013, Judul: Bahan Bakar Alternatif Emulsi Air untuk Burner, Balibangda, Banten, **Achmad Faisal** (3331080733).
4. 2013, Penyaji Tingkat Nasional pada Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) XXVI, Bidang Kegiatan: Pekan Kreatifitas Mahasiswa Karya Cipta, Rancang Bangun Prototipe Ventilasi Penjebak Debu Skala Rumah Menggunakan Sistem Elektrostatik Presipitator, Universitas Mataram, **Rendra Ardyanto** (3331100513).
5. 2013, Penyaji Tingkat Nasional pada Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) XXVI, Bidang Kegiatan: Pekan Kreatifitas Mahasiswa Karya Cipta, Rancang Bangun Prototipe Ventilasi Penjebak Debu Skala Rumah Menggunakan Sistem Elektrostatik Presipitator, Universitas Mataram, **Satrio Wicaksono** (3331101271).
6. 2013, Peraih Medali Perak pada Perancangan dan Penyajian Poster dan Gelar Produk PKMKC-2, Rancang Bangun Prototipe Ventilasi Penjebak Debu Skala Rumah Menggunakan Sistem Elektrostatik Presipitator, Universitas Mataram, Tim Pimnas Untirta: **Satrio Wicaksono** (3331101271), **Rendra Ardyanto** (3331100513) dan **Anggit Sri Kuncoro** (3331110037).
7. 2013, Peraih Poster Terfavorit Regional Banten pada Proyek Sains OSN Pertamina, "Knalpot Ramah Lingkungan", Banten, **Yoko Afriandaru** (3331100054).
8. 2013, Peringkat 1 pada Lomba Cipta Inovasi Propinsi Banten Tahun 2013, Banten, Tim: **Satrio Wicaksono** (3331101271) dan **Yoko Afriandaru** (3331100054).
9. 2013, Peringkat 2 Overall Champion pada Eshark Karting Cup 2013, Sentul-Bogor, Tim Gokart Untirta: **[1] Driver: Teddy Sulistiadi** (3331101606), **Dipriyo Suharlan Ilwi** (3331092452), **[2] Mekanik: Teguh Perkasa Alam** (3331101340), **Toto Ismunandar** (3331111808), **Henry** (3331120538), **[3] Official: Rizqy Fadry Lazim** (3331090631), **Nico Purnama Sunarsa** (3331091240) dan **Adi Cita** (3331121270).
10. 2013, Peringkat 3 Overall Champion pada Eshark Karting Cup 2013, Sentul-Bogor, Tim Gokart Untirta: **[1] Driver: Teddy Sulistiadi** (3331101606), **Dipriyo Suharlan Ilwi** (3331092452), **[2] Mekanik: Teguh Perkasa Alam** (3331101340), **Toto Ismunandar** (3331111808), **Henry** (3331120538), **[3] Official: Rizqy Fadry Lazim** (3331090631), **Nico Purnama Sunarsa** (3331091240) dan **Adi Cita** (3331121270).
11. 2013, Peringkat 3 pada Lomba Cipta Inovasi Propinsi Banten, Banten Tahun 2013, **Achmad Faisal** (3331080733).
12. 2013, Peringkat III Liga Free Flight, Pra PON XVIII, Madiun, **Jaka Pebriana** (3331100934).

13. 2013, Peringkat IV Liga Free Flight, Yogyakarta, **Jaka Pebriana** (3331100934).
14. 2013, Peserta Indonesia Energy Marathon Challenge (IEMC 2013), ITS – Surabaya, Tim Cula 1 Untirta: **Teddy Sulistiadi** (3331101606), **Damar Dwiyadi Pratama** (3333101066), **Putra Mulya Pamungkas** (3331100010), **Henry** (3331120538), **Teguh Perkasa Alam** (3331101340) dan **Humaam Mustofa** (3331100002).
15. 2013, Peserta Kompetisi Kincir Angin Indonesia (KKAI) ke-1 Tahun 2013, Kerjasama antara Dirjen Dikti Kemdikbud dan Universitas Gadjah Mada, Bantul, Tim Sultan Wind Turbin: **Muhammad Aji Akbar** (3331091297), **Luffy Noor A.P.** (3331091276), **Bayu Ary Nugroho** (3331090571) dan **Robby Rhadian** (3331090755).

1.7 Pendidikan Karakter

Karakter dan kepribadian bangsa mengalami erosi yang luar biasa sebagai akibat informasi global yang begitu deras memasuki wilayah-wilayah publik. Secara tidak sadar pengaruh budaya asing telah menjadi gaya hidup (*style*) bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Nilai luhur dan budaya bangsa yang begitu tinggi menjadi terlupakan. Hal ini dikhawatirkan dapat menjadi pintu masuk bagi penjajahan secara ekonomi maupun budaya.

Pengikisan budaya dan nilai luhur bangsa harus segera dihentikan. Salah satu langkah yang dilakukan oleh Pemerintah RI adalah dengan memberikan pendidikan karakter melalui bangku perkuliahan. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 12 tahun 2012 Pasal 35 ayat 3, Negara mewajibkan untuk dimuatnya mata kuliah tertentu dalam pendidikan tinggi. Mata kuliah yang wajib diajarkan itu antara lain: agama, Pancasila, Kewarganegaraan dan Bahasa Indonesia.

Lembaga Pengembangan, Peningkatan dan Penjaminan Mutu (LP3M) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa telah merumuskan karakter yang harus dimiliki oleh lulusan Untirta berdasarkan sepak terjang tokoh Banten, seperti Syeikh Yusuf, Syeikh Nawawi al Bantani, Sultan Ageng Tirtayasa dan KH. Wasyid. Empat karakter dari keempat tokoh Banten tersebut menjadi *role model* bagi pembentukan karakter sarjana lulusan Untirta. Keempat karakter tersebut adalah **Jujur, Cerdas, Peduli dan Tangguh**.

1.8 Insinyur dalam Tantangan Global

Awal tahun 2015, Indonesia menghadapi diberlakukannya MEA (Masyarakat Ekonomi Asean). Tantangan besar bagi sumber daya manusia Indonesia menjadi tugas besar pemerintah, lembaga pendidikan dan industri. Ketiga komponen bangsa tersebut harus memiliki kepedulian dalam membangun sumber daya manusia. Tugas besar ini tidak dapat hanya dilaksanakan oleh lembaga pendidikan, tetapi semakin banyak unsur masyarakat yang terlibat, semakin baik dalam penyiapan SDM.

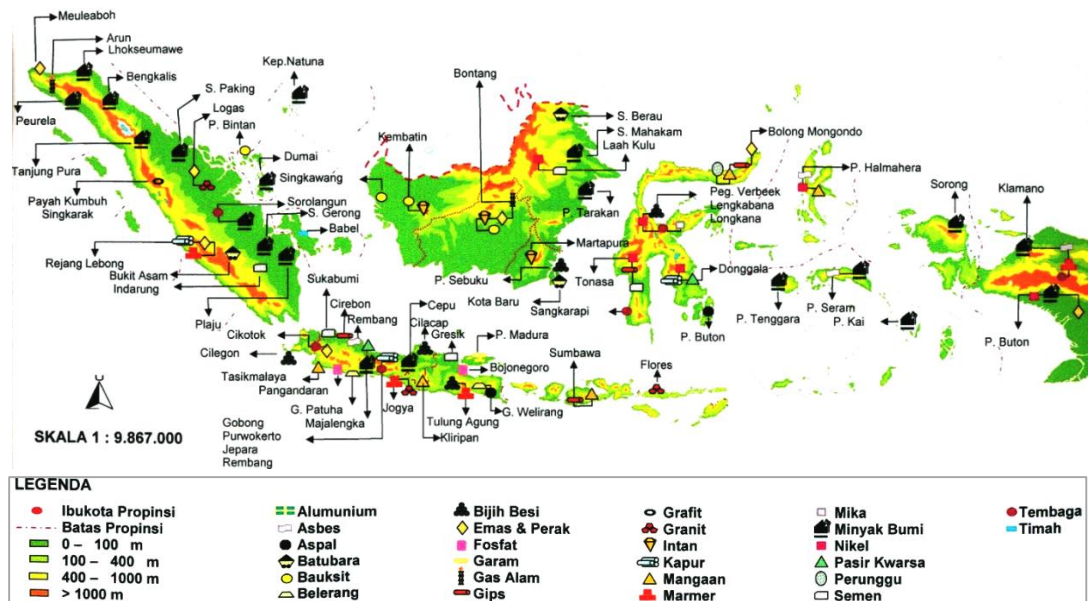
Penelitian terhadap para CEO perusahaan besar di Amerika Serikat menunjukkan bahwa seorang pekerja harus memiliki kompetensi tertentu, antara lain:

1. **Berpikir kritis.** Bagaimana bisa berpikir logis dan punya alasan dalam setiap identifikasi mengenai kekuatan dan kelemahan suatu masalah. Mencari alternatif penyelesaian masalah, jalan keluar dan pendekatan lainnya.
2. **Kemampuan menyelesaikan masalah.** Memiliki kemampuan yang baik dalam mengidentifikasi masalah, bahkan yang kompleks sekalipun. Ini berkaitan dengan bagaimana mengembangkan pengetahuan, kritis dalam evaluasi dan mengimplementasikan penyelesaian dari masalah.
3. **Bisa membuat keputusan.** Keahlian yang dibutuhkan adalah mampu mempertimbangkan satu keputusan yang benar-benar masak, baik dan buruknya sehingga menjadi keputusan yang benar-benar tepat.
4. **Pendengar aktif.** Memberi perhatian penuh pada apa yang orang lain sampaikan, untuk kemudian dipahami dan mengerti maksudnya sehingga bisa memberikan pertanyaan yang sesuai tanpa interupsi.
5. **Komputer dan elektronik.** Menjadi nilai tambah memiliki keahlian dalam bidang komputerisasi seperti mengetahui akan prosesor, peralatan elektronik dan perangkat keras komputer termasuk program dan aplikasinya.
6. **Matematika.** Mengetahui hitungan, aritmatika, aljabar, geometri, kalkulus dan statistik.
7. **Sistem operasi dan analisis.** Mengetahui bagaimana sebuah sistem operasi bekerja dan tahu bagaimana jika alternatifnya diubah dan disesuaikan dengan faktor yang ada di sekitarnya. Dalam hal ini keahlian memahami lingkungan sekitar, apa yang dibutuhkan di satu bidang menjadi satu hal yang utama.
8. **Monitoring.** Tidak hanya memonitor bidang yang digeluti saja tetapi juga dapat menilai diri sendiri. Secara individu dan organisasi mampu meningkatkan diri dan membuat koreksi.
9. **Programming.** Dalam hal ini kemampuan komputerisasi untuk berbagai tujuan dalam memudahkan jenis pekerjaan yang dilakoni.
10. **Sales dan marketing.** Pengetahuan akan prinsip pemasaran dan promosi sangat dibutuhkan, di antaranya mengetahui strategi pemasaran, demonstrasi produk, teknik penjualan dan sistem kontrol. Ini dapat menjadi nilai tambah untuk mendukung keahlian yang dimiliki.

1.9 Potensi Alam Indonesia untuk Pembangunan Bangsa

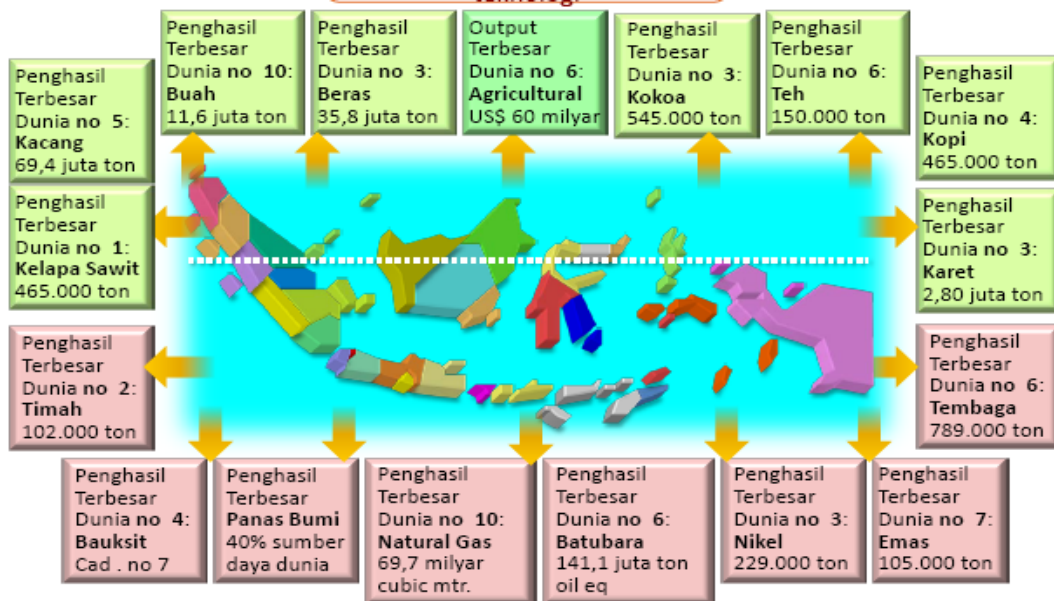
Indonesia memiliki lebih dari 17.000 pulau yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Kondisi geografis Indonesia yang berada di sepanjang garis khatulistiwa memberikan cuaca tropis. Pulau Jawa merupakan pulau dengan penduduk terpadat (65%) disusul oleh Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, dan Irian Jaya.

Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki potensi alam yang luar biasa. Kekayaan di daratan maupun lautan merupakan tantangan bagi penduduk untuk melakukan eksplorasi alam tersebut. Untuk mengolah sumber daya alam dibutuhkan manusia yang berkualitas. Potensi sumber daya manusia Indonesia dapat dilihat dari dua aspek, yaitu kualitas dan kuantitas. Kuantitas SDM seharusnya dapat menjadi unsur distribusi penduduk di seluruh wilayah Nusantara. Tetapi sebaliknya kuantitas SDM yang begitu besar dapat menjadi masalah jika tidak mampu direkayasa menjadi kekuatan.



Gambar 4. Pemetaan potensi sumber daya alam Indonesia

Kualitas SDM yang baik dapat dimanfaatkan sebagai sarana pengelola dan pengolah SDA sebagai kekuatan ekonomi dan budaya bangsa. Keindahan alam Nusantara memiliki potensi untuk dikelola sehingga dapat menjadi tujuan wisata dunia. Kekayaan alam yang terkandung di lautan berupa perikanan maupun bahan tambang dapat digunakan sebagai modal pembangunan perekonomian bangsa. Jika diperhatikan dari pemetaan wilayah Nusantara, maka potensi alam yang dapat diolah menjadi bahan baku produksi adalah bahan tambang. Berangkat dari persoalan tersebut di masa mendatang banyak dibutuhkan insinyur untuk mengolahnya.



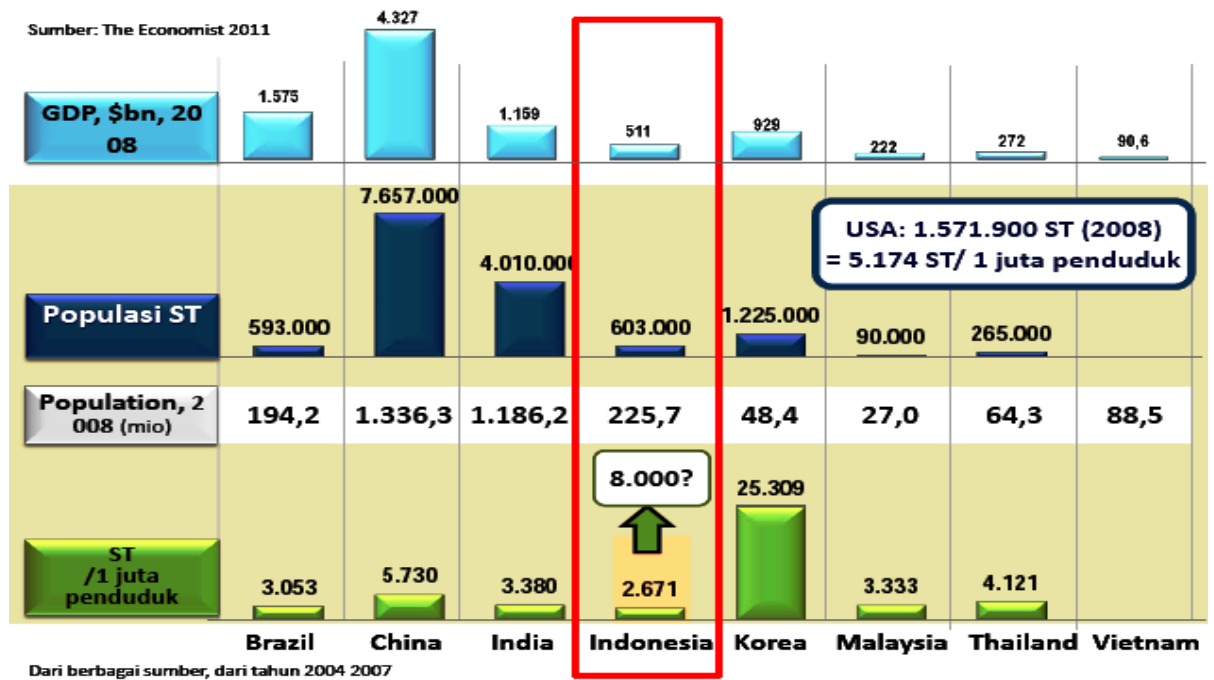
Gambar 5. Kekayaan sumber daya alam

Perkembangan jumlah insinyur dari tahun 2005 hingga 2007 dapat ditunjukkan oleh **Tabel 1** di bawah ini. Kecenderungan jumlah insinyur terus mengalami penurunan dari tahun ke tahun.

Tabel 1. Perkembangan jumlah insinyur di Indonesia

Program Studi	Jumlah Insinyur		
	2005	2006	2007
Elektro	8,081	6,999	6,503
Teknik Lingkungan	1,006	906	743
Teknik Kimia	3,315	3,005	2,240
Arsitektur	3,334	3,178	3,210
Teknik Sipil	8,013	7,058	6,666
Teknik Mesin	6,719	5,697	5,346
Teknologi Pangan	748	657	841
Teknologi Hasil Pertanian	980	801	787
Teknologi Industri Pertanian	427	282	418
Teknik Pertanian	786	609	610
Lain-lain (27.5%)	9,187	6,652	6,841
Jumlah Total	42,596	35,844	34,205

Pertumbuhan insinyur memiliki korelasi langsung terhadap *Gross Domestic Product* (GDP). Jika diperhatikan dari **Gambar 6** terlihat bahwa semakin besar jumlah insinyur di suatu negara, maka semakin tinggi GDP. China dan Korea yang memiliki jumlah insinyur sangat besar, masing-masing 5,730 orang dan 25,309 orang setiap satu juta penduduk menyebabkan negara tersebut memiliki GDP yang cukup baik.



Gambar 6. Grafik populasi insinyur di beberapa Negara

Indonesia dengan jumlah penduduk sangat besar, namun demikian jumlah insinyur di Indonesia relatif kecil dan cenderung mengalami penurunan jumlahnya. Jumlah insinyur Indonesia hanya 2,671 orang per satu juta penduduk. Hal ini mengindikasikan bahwa kekurangan insinyur untuk menopang pembangunan masih kurang banyak. Idealnya jumlah insinyur adalah 20% dari seluruh jumlah sarjana. Pidato Mantan Menteri Koordinator Perekonomian RI. M. Hatta Radjasa (28 Mei 2013) pada saat memberikan Kuliah Umum di UI mengatakan: *"Mengapa lulusan teknik kita rendah? Karena barang mentah di ekspor semua. Kita akan kekurangan 175 ribu sarjana teknik per tahun jika ekonomi MP3EI kita jalan hingga tahun 2025. Betapa kita sedih, karena yang kerja kuli semua. Batubara, bauksit, nikel atau sawit hanya dipetik kemudian diekspor. Sejak dicanangkan 2011 kita sudah investasi untuk MP3EI sebesar Rp 600 triliun dan sampai 2015 kita investasi Rp 4.000 triliun. Kita ingin menjadi negara maju dan kita tidak mau lagi mengespor barang mentah kita"*. (Sumber: finance.detik.com, Selasa, 28/05/2013 11:56 WIB)

Pada kesempatan yang lain Ketua Umum Persatuan Insinyur Indonesia, Bobby Gafur Umar (23 Mei 2013) mengatakan: *"Jumlah insinyur Indonesia saat ini masih sangat kurang atau sedikit dibandingkan negara lain di kawasan Asia. Indonesia saat ini hanya mempunyai 164 orang insinyur per satu juta penduduk. Yang lebih parah, minat para siswa lulusan sekolah lanjutan atau SMU untuk meneruskan pendidikan sampai menjadi insinyur sangat menurun. "Kita hanya punya 11% atau 1.05 juta dari total sarjana. Yang ideal adalah 20% dari seluruh sarjana"*. (Sumber: gatra.com, Thursday, 23 May 2013 21:17)

1.10 Karakteristik Insinyur

Insinyur adalah seseorang yang mempunyai gelar profesi di bidang keinsinyuran (UU Nomor 11 tahun 2014 Pasal 1). Gelar insinyur diperoleh melalui pendidikan formal yang cukup dan berpengalaman di bidangnya dalam waktu tertentu. Tugas insinyur adalah mengubah bahan baku menjadi produk inovatif, selalu berinovasi untuk menghasilkan penemuan baru berupa gagasan, tindakan dan peralatan dari hasil pemakaian logika, pengalaman dan seni serta harus kreatif berupa kemampuan untuk mencerminkan fleksibilitas dan orisinalitas dalam berfikir dan mengolaborasi gagasan. Seorang insinyur harus memiliki karakter sebagai berikut:

1. Selalu bertanya-tanya.
2. Mampu berkonsentrasi dan komunikasi.
3. Mampu menerima konflik.
4. Mampu mempertimbangkan ide baru.

Untuk menunjang keempat unsur di atas, maka seorang calon insinyur harus memiliki kemampuan berorganisasi dan dasar-dasar pengetahuan teknik, seperti:

1. *Science (Physics, Chemistry, and Mathematics),*
2. *Engineering Science,*
3. *Applied Engineering,*
4. *Humanities and Social Sciences.*

Untuk menjadi insinyur dibutuhkan kemauan dan kemampuan yang kuat untuk mengatasi berbagai hambatan baik hambatan dari luar maupun dari dalam calon insinyur. Ada beberapa hal yang dapat menjadi hambatan untuk menjadi insinyur professional, antara lain:

1. Selalu berpatokan pada pengalaman masa lalu,
2. Hambatan emosional (malas, tidak mau belajar),
3. Hambatan sosial dan kultural, dan
4. Hambatan rutinitas pekerjaan yang tinggi.

BAB II

KONSEP DASAR STATIKA DAN MEKANIKA KEKUATAN BAHAN

2.1 Pendahuluan

Berbagai macam sistem mekanikal memerlukan perencanaan yang matang agar tidak mengalami kegagalan. Salah satu dasar yang digunakan dalam perancangan struktur atau sistem mekanikal lainnya adalah mekanika. Mekanika merupakan ilmu yang mempelajari pengaruh gaya luar yang bekerja pada sebuah benda baik benda itu dalam keadaan diam ataupun bergerak. Mekanika merupakan dasar ilmu teknik dan bersifat terapan. Dengan demikian dalam aplikasi teknik, peranan mekanika tidak dapat diabaikan.

Secara umum mekanika terbagi menjadi 3 macam, yaitu: [a] mekanika benda tegar (*mechanics of rigid body*); [b] mekanika benda terdeformasi (*mechanics of deformable body*) dan [c] mekanika fluida (*mechanics of fluids*). Mekanika benda tegar terbagi menjadi 2, yakni statika dan dinamika. **Statika** mempelajari kesetimbangan sebuah benda dalam keadaan diam, sedangkan **dinamika** mempelajari benda dalam keadaan bergerak. Asumsi yang digunakan dalam mekanika benda tegar adalah bahwa benda tersebut dianggap tegar sempurna, meskipun pada kenyataannya benda mengalami deformasi. Akan tetapi deformasi tersebut relatif sangat kecil sehingga dapat diabaikan karena tidak mengganggu stabilitas sistem kesetimbangan.

Benda yang mengalami perubahan bentuk atau terdeformasi secara khusus dipelajari pada mekanika kekuatan material. Mekanika fluida sebuah cabang ilmu yang mempelajari perilaku fluida dan aplikasinya dalam teknik. Fluida yang digunakan dapat berupa fluida yang termampatkan (*compressible fluids*) dan fluida tak termampatkan (*incompressible fluids*).

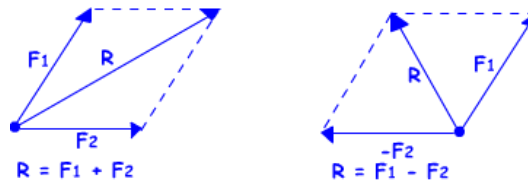
2.2 Konsep dan Prinsip Dasar

Konsep dasar mekanika menggunakan berbagai macam prinsip dan teori, seperti: teori penjumlahan gaya, prinsip transmisibilitas, hukum Newton, dan hukum gravitasi Newton.

Penjumlahan Gaya. Dua gaya atau lebih yang beraksi pada suatu partikel dapat digantikan dengan satu buah gaya saja yang disebut dengan **resultan gaya**. Penjumlahan gaya dapat dilakukan dengan teori jajaran genjang atau polygon gaya. Penjumlahan gaya juga dapat dilakukan dengan metode analisis dengan menggunakan persamaan berikut ini.

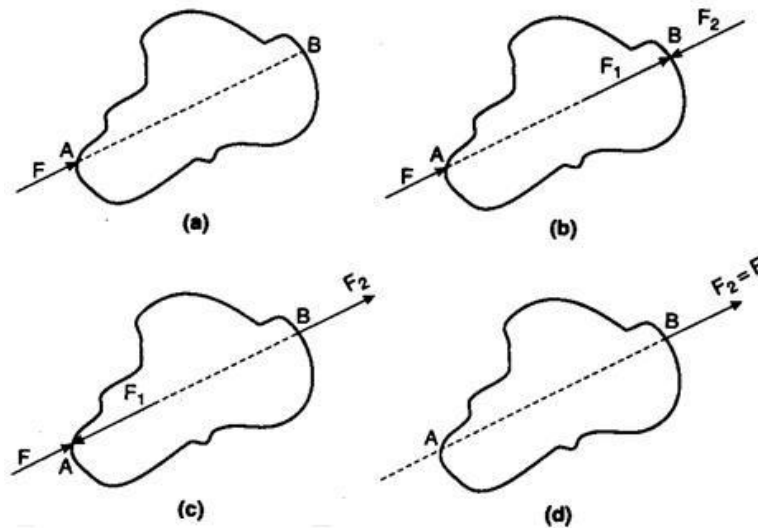
$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta}$$

Dimana, sudut antara F_1 dan F_2 disebut sebagai sudut teta (θ).



Gambar 7. Penjumlahan gaya

Prinsip Transmisibilitas. Prinsip ini menyatakan bahwa gerak suatu benda tidak akan berubah bila diganti gaya lain yang sama besar dan arahnya. Gaya pengganti dapat ditransmisikan di titik yang lain selama dalam satu garis aksi, maka efek kedua gaya tersebut tetap ekuivalen.



Gambar 8. Prinsip transmissibilitas

Hukum Newton. Hukum Newton ditemukan dan dirumuskan oleh Sir Isaac Newton pada abad ke tujuhbelas. Hukum Newton terdiri dari 3 pernyataan, yaitu:

Hukum Newton 1 menyatakan bahwa bila resultan gaya yang beraksi pada sebuah partikel sama dengan nol, maka partikel tersebut akan bergerak secara terus menerus dengan kecepatan konstan (apabila mula-mula bergerak) atau akan tetap diam (apabila awalnya diam).

Hukum Newton 2 menyatakan bahwa apabila sebuah partikel memperoleh gaya ΔF , maka benda akan mengalami percepatan (a) sebanding dengan besarnya gaya (F) dan berbanding terbalik dengan massa benda (m). Secara matematis dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

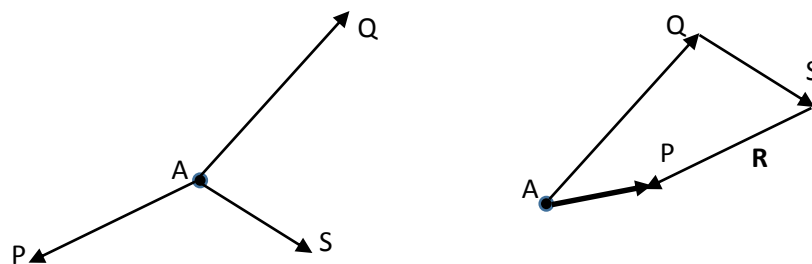
$$a = \frac{F}{m}$$

Hukum Newton 3 menyatakan bahwa bila gaya aksi dan reaksi antara benda dalam keadaan kontak mempunyai besar yang sama, garis aksi yang sama dan berlawanan arah. Secara matematis dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$F_{aksi} = F_{reaksi}$$

2.3 Resultan Gaya Konkuren

Pada suatu partikel A terdapat banyak gaya yang bekerja dengan arah yang beragam, maka gaya-gaya tersebut dinamakan gaya konkuren. Gaya-gaya ini dapat diselesaikan dengan hukum polygon gaya. Perhatikan **Gambar 9** di bawah ini.



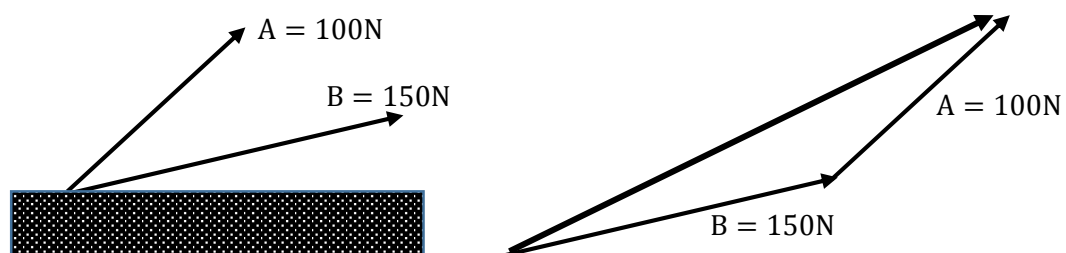
Gambar 9. Resultan gaya

Menurut teori jajaran genjang vector gaya P, Q dan S tidak tergantung pada urutannya, tetapi dapat dipilih gaya yang manapun. Gaya resultan (R) adalah merupakan gabungan dari tiga gaya P, Q dan S. Resultan gaya memiliki dampak terhadap titik A yang sama dengan ketika ketiga gaya P, Q dan S bekerja dalam waktu bersamaan. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P + Q + S = P + S + Q$$

Contoh Soal:

Dua buah gaya A dan B bekerja pada satu titik O. Sudut yang dibentuk antara bidang datar dengan gaya B sebesar 30° dan terhadap gaya A sebesar 30° , tentukan berapa resultan gayanya!



Jawab:

Penyelesaian secara trigonometric diperoleh dengan rumus:

$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos 155$$

$$R^2 = (100)^2 + (150)^2 - 2(100)(150) \cos 155$$

$$R^2 = 10,000 + 22,500 - 30,000 \cos 155$$

$$R = 244.28 \text{ N}$$

Dengan menggunakan rumus sinus, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\sin O}{A} = \frac{\sin B}{R}; \quad \frac{\sin O}{100} = \frac{\sin 150}{244.28}$$

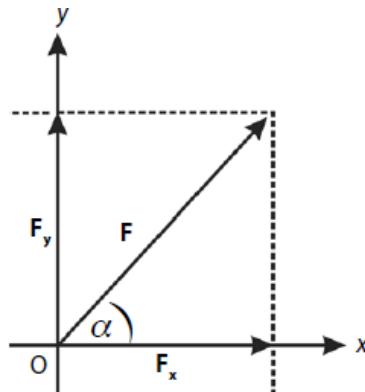
$$\sin O = \frac{\sin 150}{244.28} (100) = 0.21$$

Sudut O diperoleh sebesar 11.84°

Dengan demikian resultan gaya diperoleh sebesar 244.28N dengan sudut $30 + 11.84 = 41.84^\circ$ dari bidang horizontal.

2.4 Penguraian Gaya

Sebuah gaya yang membentuk sudut tertentu dapat diproyeksikan terhadap sumbu x dan y. sumbu x dan y biasanya dipilih garis horizontal dan vertical. Perhatikan **Gambar 10** di bawah ini.



Gambar 10. Penguraian gaya

Gaya F yang membentuk sudut tertentu (α) dapat diuraikan menjadi gaya F_x dan F_y . Jika diuraikan secara matematis adalah:

$$F_x = F \cos \alpha$$

$$F_y = F \sin \alpha$$

Contoh Soal:

Tiga buah gaya bekerja pada sebuah titik masing-masing gaya sebesar 10, 25 dan 15 kN. Tentukan besarnya gaya resultan dan ke arah mana gaya resultan tersebut!

Jawab:

$$F_{1x} = F \cos 37 = 10 \cos 37 = 7.99\text{N}$$

$$F_{1y} = F \sin 37 = 10 \sin 37 = 6.02\text{N}$$

$$F_{2x} = 0$$

$$F_{2y} = 25\text{N}$$

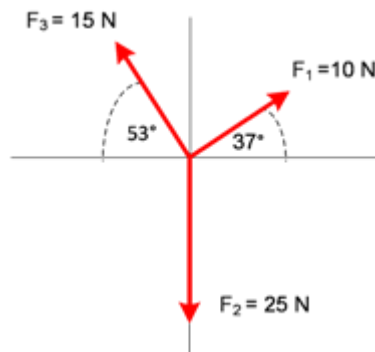
$$F_{3x} = F \cos 53 = 15 \cos 53 = 9.03\text{N}$$

$$F_{3y} = F \sin 53 = 15 \sin 53 = 11.98\text{N}$$

$$R_x = \sum F_x = 7 + 0 - 9.03 = -1.04\text{N}$$

$$R_y = \sum F_y = 6.02 + 11.98 - 25 = -9.96\text{N}$$

$$R = \sqrt{(R_x)^2 + (R_y)^2} = \sqrt{(-1.04)^2 + (-9.96)^2} = 10.02 \text{ Newton}$$



Sudut yang dibentuk antara bidang horizontal dan gaya resultan dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$\tan \theta = \frac{R_y}{R_x} = \frac{9.96}{1.04} = 9.54$$

$$\theta = 84.06^\circ$$

2.5 Keseimbangan Partikel

Bila resultan semua gaya yang bekerja pada partikel sama dengan nol, maka partikel tersebut dalam keadaan seimbang. Partikel berada dalam keadaan seimbang jika memenuhi persyaratan berikut ini.

$$\sum F_x = 0; \quad \sum F_y = 0$$

Contoh Soal:

Sebuah benda dengan berat $W = 100\text{N}$ tergantung dan tertahan oleh dua buah tali seperti pada gambar. Tentukan besarnya tegangan tali T !

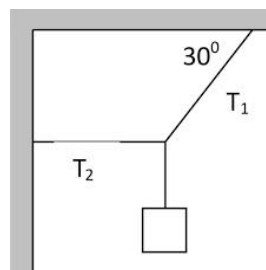
Jawaban:

$$T_{1x} = T_1 \cos 30 = 0.87T_1$$

$$T_{1y} = T_1 \sin 30 = 0.50T_1$$

$$T_{2x} = T_2$$

$$T_{2y} = 0$$



$$\sum F_x = 0; \quad T_{1x} - T_{2x} = 0; \quad 0.87T_1 - T_2 = 0$$

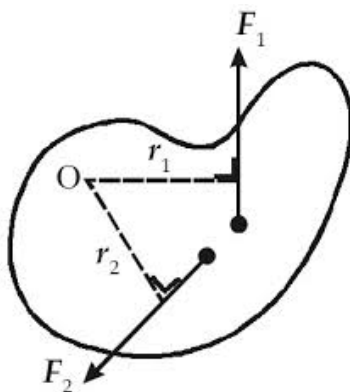
$$\sum F_y = 0; \quad T_{1y} - 100 = 0; \quad 0.50T_1 - 100 \text{ N}; \quad T_1 = 200\text{N}$$

Dengan demikian nilai T2 dapat mudah ditentukan.

$$0.87T_1 - T_2 = 0; \quad 0.87(200) - T_2 = 0; \quad T_2 = 173.23\text{N}$$

2.6 Momen Gaya terhadap Sumbu

Kecenderungan sebuah benda untuk memutar benda tegar di sekitar sumbunya. Momen di titik O (M_o) akibat adanya gaya F_1 dan F_2 dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini.



Gambar 11. Momen suatu gaya

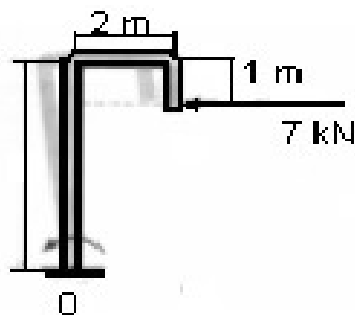
$$M_o = -F_1(r_1) + -F_2(r_2)$$

Dimana, M adalah momen (N), r adalah jarak tegak lurus sumbu terhadap garis gaya. Konvensi yang digunakan dalam diktat ini adalah:

1. Jika arah putaran searah jarum jam, maka bernilai positif (+).
2. Jika arah putaran berlawanan arah jarum jam, maka bernilai negatif (-).

Contoh Soal:

Sebuah tiang baja dengan tinggi 4 meter menerima gaya 7 kN seperti pada gambar. Tentukan berapa besarnya momen di titik O! Jika gaya 7 kN diarahkan vertical pada titik yang sama, berapa momen di titik O!



Jawab:

$$M_0 = -7(3) = 21 \text{ kN.m}$$

$$M_o = -7(2) = 14 \text{ kN.m}$$

2.7 Aplikasi Statika Struktur dan Kegagalan Struktur

Mekanika teknik sangat diperlukan dalam menentukan stabilitas sebuah struktur. Beberapa penerapan ilmu mekanika teknik dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini.



Gambar 12. Penerapan mekanika pada struktur bangunan

BAB III KEKUATAN MATERIAL

3.1 Kekuatan Bahan dan Aplikasinya

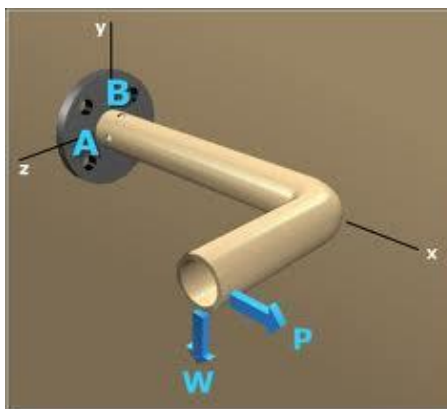
Kekuatan bahan berkaitan dengan korelasi antara gaya luar yang bekerja dan pengaruhnya terhadap gaya dalam benda tersebut. Bahan tidak lagi anggap kaku sempurna, tetapi dapat terdeformasi meskipun nilainya sangat kecil. Pemilihan dimensi dan sifat sebuah struktur harus memenuhi kekuatan dan kekakuan. Tugas seorang insinyur adalah memilih material yang tepat sehingga mampu menahan beban yang bekerja serta fungsi mesin tetap tercapai dengan tujuan perancangan sistem.

Tegangan adalah besarnya gaya yang bekerja pada suatu bahan pada luasan tertentu. Tegangan dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

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

Di mana σ adalah tegangan atau gaya per satuan luas, P adalah beban dan A luas penampang. Satuan tegangan yang lazim digunakan adalah N/m^2 atau pascal (Pa), sedangkan dalam satuan dalam satuan British biasa dinyatakan dengan psi.

Dalam bidang teknik, ada beberapa jenis tegangan yang bekerja pada suatu komponen mesin, antara lain: tegangan tarik, tegangan tekan, tegangan geser, tegangan lentur, dan tegangan puntir (torsi). Berikut akan didiskusikan secara umum tentang keragaman jenis tegangan tersebut.



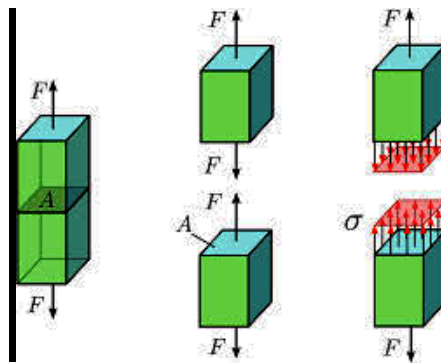
Gambar 13. Contoh penggunaan mekanika material dalam struktur

Tujuan dari mempelajari masalah ini adalah agar seorang calon insinyur mampu memilih dimensi dan bahan yang menjamin struktur aman digunakan sesuai dengan tujuan desain. Dengan mekanika material, seorang insinyur mampu memperkirakan berbagai fenomena yang akan terjadi pada material tersebut, sehingga dapat menjamin bahwa struktur aman untuk digunakan.

3.2. Tegangan Tarik dan Tekan

Gaya-gaya luar yang bekerja pada sebuah potongan tertentu harus diimbangi oleh gaya-gaya dalam yang terbentuk dalam potongan tersebut. Gaya luar yang bekerja pada luasan kecil tak berhingga sebuah potongan terdiri dari berbagai macam besaran dan arah. Intensitas gaya dalam merupakan perlawanan bahan atas deformasi yang bekerja. Kemampuan bahan menahan beban tergantung atas intensitas gaya dalam. Pada umumnya intensitas gaya bekerja berarah miring pada bidang potongan. Dalam bidang keteknikan biasanya intensitas gaya dianggap tegak lurus terhadap normal.

Tegangan normal yang menghasilkan tarikan pada permukaan sebuah potongan disebut tegangan tarik (*tensile stress*), sebaliknya tegangan yang mendorong potongan disebut tegangan tekan (*compressive stress*).



Gambar 14. Tegangan normal material

Jika F adalah gaya luar dan A adalah luas penampang yang tegak lurus terhadap arah gaya, maka tegangan normal dinyatakan dengan persamaan di bawah ini.

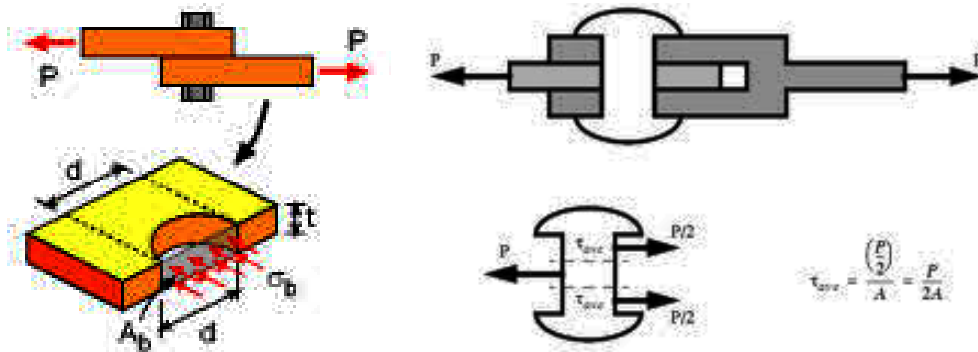
$$\sigma = \frac{P}{A}$$

3.3 Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi karena adanya gaya yang bekerja sepanjang atau sejajar dengan luas penahan gaya. Tegangan geser disebut juga sebagai tegangan tangensial. Tegangan geser menyebabkan salah satu penampang benda menggelincir pada penampang yang bersinggungan. Pada **Gambar 15** di bawah ini menunjukkan bahwa geseran akan terjadi pada paku keling di sepanjang luas penampang. Sedangkan pada *double shear*, terdapat dua luasan paku keling yang akan mengalami geseran. Tegangan geser dinyatakan dengan persamaan:

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

Dimana, P adalah resultant gaya geser dan A adalah luasan penampang yang sejajar terhadap gaya luar.



Gambar 15. Penampang geser

3.4 Tegangan Dukung (*Bearing Stress*)

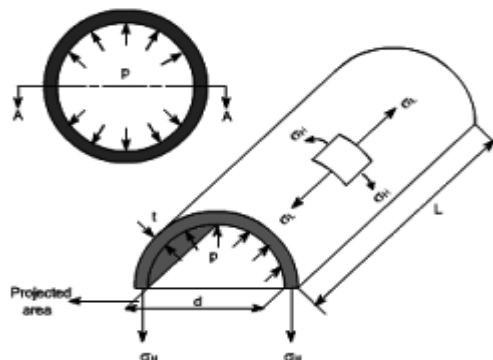
Tegangan dukung adalah tekanan singgung antara benda yang terpisah. Tegangan dukung banyak diterapkan pada tekanan tanah di bawah dermaga atau gaya pada pelat. Tegangan dukung berlebih pada pelat menyebabkan pelat atau bautnya terdeformasi. Dari **Gambar 15**, beban dukung antara dua pelat dapat dirumuskan sebagai:

$$P = \sigma_b A_b = (td)A_b$$

Dimana gaya luar (P), tegangan material (σ_b), luas penampang lubang/paku keling (A_b), tebal pelat (t) dan diameter lubang keling (d).

3.5 Bejana Bertekanan

Sebuah tangki silinder yang berisi gas atau cairan mengalami gaya tarik jika dalam tangki tersebut memiliki tekanan sebesar p (N/m^2). Gaya yang menahan gaya pecah tersebut terjadi secara melintang dan longitudinal. Pada **Gambar 16** menunjukkan diagram benda bebas setengah silinder.



Gambar 16. Gaya pecah tangki silinder

Besarnya gaya F yang menyebabkan pecahnya tangki silinder dinyatakan dengan persamaan di bawah ini:

$$F = pDL$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{pDL}{2tL} = \frac{pD}{2t}$$

Cara penentuan tegangan di atas disebut sebagai tegangan longitudinal atau tegangan tangensial. Hal ini disebabkan oleh gaya tegangan yang bekerja menyinggung permukaan silinder. Sedangkan di sisi yang lain, untuk menentukan gaya yang menyebabkan pecahnya tangki silinder dapat ditinjau secara transversal. Gaya pecah pada kedua ujung silinder ditahan oleh resultan gaya sobekan P yang bekerja pada penampang melintang. Luas penampang melintang adalah tebal dinding dikalikan dengan keliling rata-rata. Bila t sangat kecil jika dibandingkan dengan D , maka diperoleh persamaan berikut ini:

$$\pi Dt\sigma_t = \frac{\pi D^2}{4} p$$

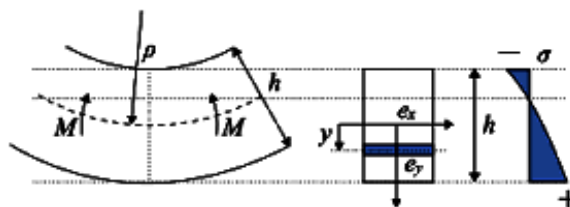
$$\sigma_t = \frac{\pi D^2}{4\pi Dt} p = \frac{pD}{4t}$$

3.6 Tegangan Lentur

Korelasi antara momen lentur dan tegangan lentur yang terjadi dapat ditentukan melalui beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Bidang penampang balok tetap bidang.
2. Bahan balok homogeny dan mengikuti Hukum Hooke.
3. Modulus elastisitas antara tarikan dan tekanan sama.
4. Balok lurus dan penampang tetap.
5. Bidang beban harus mengandung sumbu utama penampang balok dan beban harus tegak lurus terhadap sumbu longitudinal balok.

Tegangan yang disebabkan akibat adanya momen lentur dinyatakan dengan rumus lenturan. Perhatikan **Gambar 17** di bawah ini!



Gambar 17. Deformasi balok

Momen lentur yang diakibatkan oleh suatu beban harus diimbangi oleh tahanan momen. Besarnya tahanan momen dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$M = \frac{E}{\rho} \int y^2 dA$$

Nilai $\int y^2 dA$ disebut sebagai momen inersia luasan. Dengan demikian momen lentur dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$M = \frac{E}{\rho} I$$

$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{\rho}$$

$$\frac{M}{I} = \frac{E}{\rho} = \frac{\sigma}{y}$$

Dengan demikian rumus lenturan adalah:

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

Rumus ini menunjukkan bahwa tegangan lentur pada setiap penampang bervariasi terhadap jarak penampang dari sumbu netral. Jika jarak terjauh dari sumbu netral y dianggap c , dengan demikian:

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I}$$

Bila I/c adalah modulus penampang dan diberi symbol S , maka rumus lenturan adalah:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{I/c} = \frac{M}{S}$$

Tegangan rata-rata besarnya setengah tegangan maksimum dinyatakan:

$$T = C = (\sigma_{\text{rerata}})(\text{Luas}) = \left(\frac{1}{2}\sigma\right)\left(\frac{bh}{2}\right)$$

Gaya C dan T bekerja melalui titik berat distribusi beban segitiga sejauh k dari normal axis (NA). Nilai k dinyatakan dengan persamaan:

$$k = \frac{2c}{3} = \frac{2}{3}\left(\frac{h}{2}\right)$$

Lengan momen kopel tahanan adalah:

$$e = 2k = \frac{2}{3}h$$

Dengan menganggap momen lentur sama dengan momen tahanan dapat diperoleh:

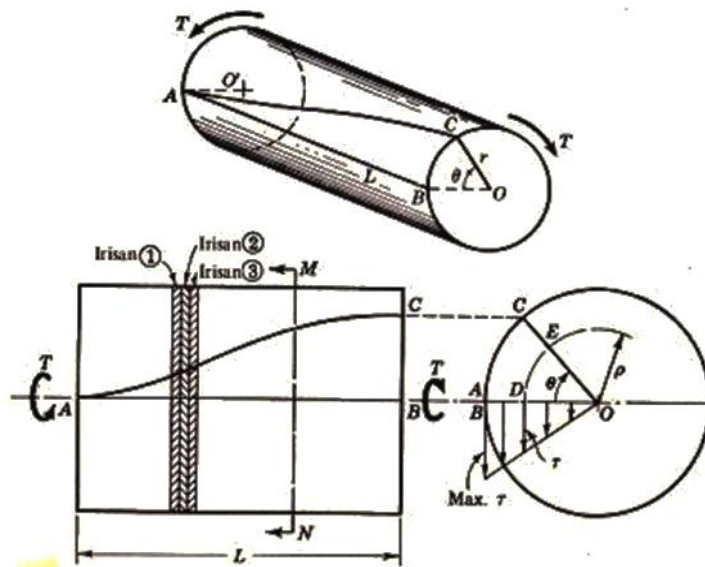
$$M = M_r = C_e = T_e$$

$$M = \left(\frac{1}{2}\sigma\right)\left(\frac{bh}{2}\right)\left(\frac{2}{3}h\right) = \frac{bh^2}{6}\sigma$$

3.7 Tegangan Puntir (Torsi)

Rumus torsi diperoleh dengan anggapan tertentu dan dibuktikan secara matematis dan eksperimental. Asumsi ini hanya digunakan pada poros dengan penampang bulat. Asumsi tersebut antara lain:

1. Penampang bulat tetap bulat.
2. Penampang bidang tetap dan tidak melengkung.
3. Proyeksi garis radial lurus terhadap penampang melintang di dalam penampang tetap lurus.
4. Poros dibebani dengan kopel puntir pada bidang yang tegak lurus terhadap sumbu poros.
5. Tegangan tidak melebihi batas proporsional.



Gambar 18. Deformasi poros bulat

Dari Gambar 18, poros berotasi dapat menyebabkan terjadinya deformasi geser sebesar DE yang dinyatakan dengan persamaan:

$$\delta_s = DE = \rho\theta$$

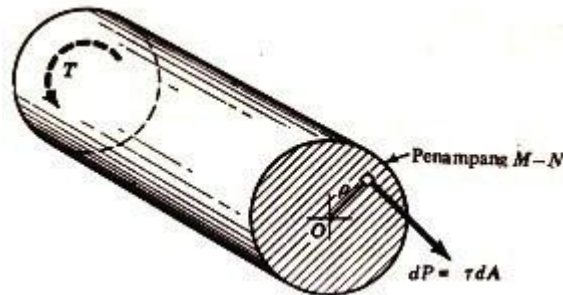
Deformasi satuan serat batang bulat dinyatakan dengan:

$$\gamma = \frac{\delta_s}{L} = \frac{\rho\theta}{L}$$

Hukum Hooke berlaku pada kondisi ini. Dengan demikian nilai tegangan geser pada serat dinyatakan dengan:

$$\tau = G\gamma = \left(\frac{G\theta}{L}\right)\rho$$

Persamaan ini disebut persamaan kompatibilitas karena nilai tegangan dinyatakan dalam deformasi elastis.



Gambar 19. Diagram benda bebas poros bulat

Untuk memenuhi kesetimbangan statis maka besarnya torsi terpasang harus sepadan dengan torsi tahanan T_r . Torsi tahanan (T_r) adalah jumlah torsi tahanan yang terjadi akibat semua beban diferensial dP .

$$T = T_r = \int \rho dP = \int \rho(\tau dA) = \left(\frac{G\theta}{L}\right) \int \rho^2 dA$$

Nilai $\int \rho^2 dA$ adalah momen inersia polar penampang, sehingga torsi dapat dinyatakan dengan:

$$T = \frac{G\theta}{L} J$$

Besarnya sudut puntiran pada poros dapat dituliskan sebagai:

$$\theta = \frac{TL}{GJ}$$

Nilai θ dalam radian, torsi (N.m), L (m), J dalam (m⁴) dan G (N/m³). Untuk mengubah radian dalam satuan derajat, maka perlu dikalikan dengan 57.3 derajat/radian. Dengan demikian dapat diperoleh persamaan:

$$\tau = \frac{G\theta}{L} \rho = \frac{G\rho TL}{L GJ} = \frac{T\rho}{J}$$

Rumusan di atas disebut sebagai **rumus torsi**. Tegangan geser maksimum terjadi pada permukaan poros dengan nilai sebesar:

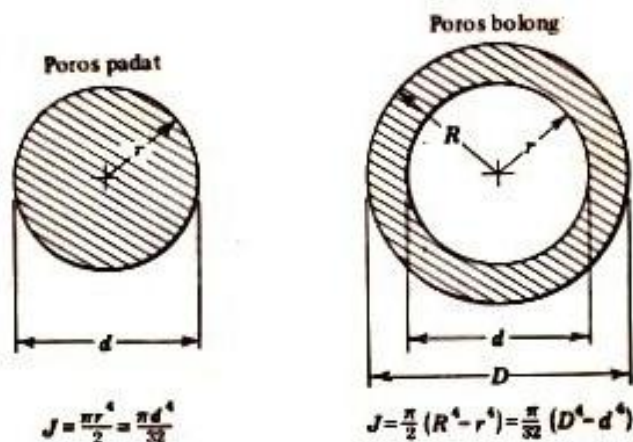
$$\tau_{\max} = \frac{T_r}{J}$$

Rumus ini hanya berlaku untuk poros dengan penampang bulat dan tidak melebihi batas proporsional geser materialnya. Momen inersia polar untuk poros pejal dan poros berlubang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

Poros pejal:

$$J = \frac{\pi}{32} d^4$$

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J} = \frac{T \frac{d}{2}}{\frac{\pi}{32} d^4} = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{2T}{\pi r^3}$$



Gambar 20. Momen inersia polar

Poros berlubang:

$$J = \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4)$$

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J} = \frac{T \frac{d_o}{2}}{\frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4)} = \frac{16Td_o}{\pi (d_o^4 - d_i^4)} = \frac{2Tr_o}{\pi (r_o^4 - r_i^4)}$$

Sebagian besar poros digunakan untuk meneruskan daya. Daya P yang dapat diteruskan dengan torsi tetap T yang berputar dengan kecepatan sudut tetap ω adalah:

$$P = T\omega$$

Dimana, ω dalam radian per satuan waktu. Jika poros berputar dengan frekuensi putaran per satuan waktu f, $\omega = 2\pi f$.

$$P = 2\pi fT$$

Dengan demikian torsi dapat dinyatakan sebagai:

$$T = \frac{P}{2\pi f}$$

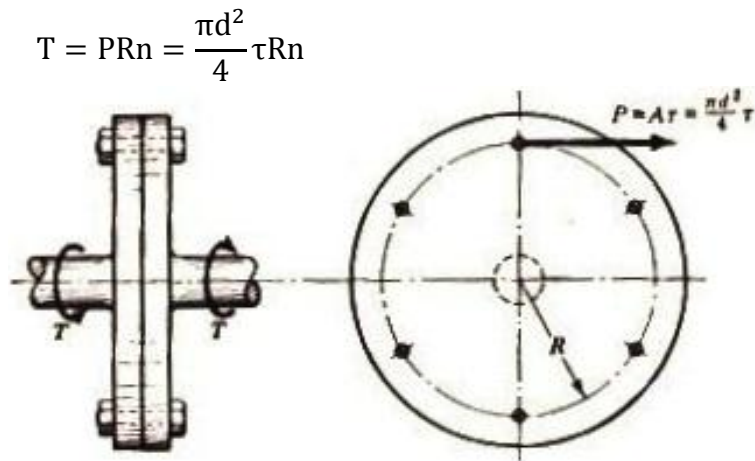
Untuk poros segiempat, tegangan geser maksimum dinyatakan sebagai:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{ab^2} \left(3 + 1.8 \frac{b}{a} \right)$$

Dimana, a adalah sisi panjang dan b sisi pendek dari penampang segiempat.

3.8 Kopling Flens

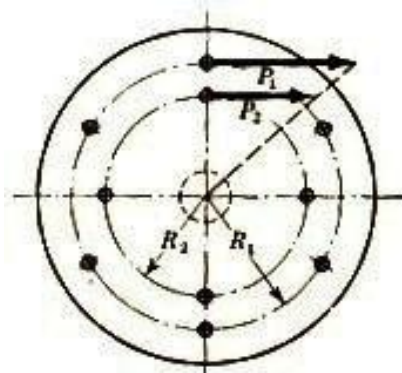
Sambungan antara dua poros biasanya digunakan untuk kopling flens yang diikat dengan baut. Tegangan bekerja melalui pusat baut sebesar PR, dimana R adalah jari-jari lingkaran baut. Jika terdapat banyak baut, maka kapasitas torsi kopling dinyatakan dengan:



Gambar 21. Koping flens yang dibaut

Jika dalam koping terdapat n barisan konsentris baut dinyatakan dengan:

$$T = P_1 R_1 n_1 + P_2 R_2 n_2$$



Gambar 22. Koping dengan dua lingkaran baut konsentris

Pernyataan P_1 dan P_2 dapat ditetapkan bahwa flens kaku menyebabkan deformasi baut sebanding dengan jarak radial dari sumbu poros. Regangan geser baut dapat dinyatakan dengan:

$$\frac{\gamma_1}{R_1} = \frac{\gamma_2}{R_2}$$

Hukum Hooke untuk geser adalah $G = \tau/\gamma$, maka dapat ditentukan dengan:

$$\frac{\tau_1}{G_1 R_1} = \frac{\tau_2}{G_2 R_2}; \quad \frac{P_1}{A_1 G_1 R_1} = \frac{P_2}{A_2 G_2 R_2}$$

Jika ukuran dan material baut sama, maka diperoleh:

$$\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2}$$

3.9 REGANGAN

Perhatian terhadap kekuatan bahan selain tegangan adalah deformasi atermial. Dalam perancangan konstruksi mesin tidak semata-mata hanya mempertimbangkan kekuatan saja, namun juga perlu mempertimbangkan kekakuan bahan, kekerasan,

ketahanan dan keuletan bahan. Regangan ε dinyatakan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang (δ) dengan panjang awal bahan (L). Dan secara matematis dapat dinyatakan sebagai:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Pernyataan regangan yang lebih spesifik dalam keadaan tertentu adalah:

$$\varepsilon = \frac{d\delta}{dL}$$

Dimana $d\delta$ adalah perpanjangan diferensial dari panjang diferensial dL . Persamaan di atas menunjukkan regangan rata-rata dalam panjang yang sangat kecil sehingga tegangan tetap di sepanjang batang tersebut. Asumsi yang digunakan untuk kondisi di atas adalah:

- 1) Penampang spesimen harus tetap.
- 2) Bahan harus homogen.
- 3) Beban harus aksial yang menghasilkan tegangan rata-rata.

3.9.1 Tegangan Kerja dan Faktor Keamanan

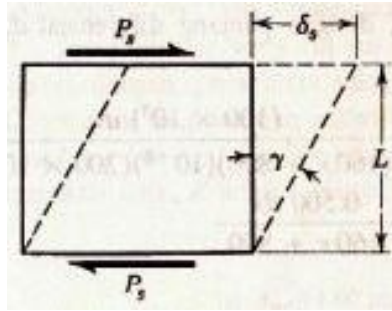
Tegangan kerja adalah tegangan aktual bahan apabila diberikan beban. Tegangan kerja hampir sama dengan tegangan ijin, yaitu kemampuan tegangan aman maksimum bahan. Pada desain mesin, tegangan ijin dibatasi hingga harga **tidak melebihi batas proporsional**. Karena sulit menentukan batas proporsional secara teliti, maka tegangan ijin didasarkan atas titik mulur atau kekuatan batas dibagi dengan faktor keamanannya.

$$\sigma_w = \frac{\sigma_{yp}}{N_{yp}} \text{ atau } \frac{\sigma_{ult}}{N_{ult}}$$

Titik mulur dipilih sebagai dasar untuk menetapkan σ_w pada baja struktur, karena titik mulur adalah tegangan dimana tidak terjadi deformasi plastis. Sedangkan untuk bahan lain tegangan ijin didasarkan atas kekuatan batas. Untuk menghindari adanya **pembebanan tiba-tiba**, tegangan ijin ditentukan setengah batas proporsional yang biasa ditentukan untuk beban mati yang bekerja secara perlahan. Beban mati adalah berat struktur atau beban, yang sudah terpasang dan tidak dipindah-pindah. Tegangan ijin 4 direkomendasikan untuk bahan yang sangat merata dan homogen. Pengaruh beban dinamis dibutuhkan faktor keamanan yang lebih tinggi.

3.9.2 Deformasi Geser

Gaya geser menyebabkan deformasi geser. Suatu elemen yang diberi gaya geser panjang sisinya tidak berubah, tetapi bentuknya mengalami perubahan dari segiempat menjadi paralellogram.



Gambar 23. Deformasi geser

Regangan geser rata-rata diperoleh dengan membagi δ_s dengan L . Dari gambar 3 di atas diperoleh:

$$\tan \gamma = \frac{\delta_s}{L}$$

Karena sudut γ sangat kecil, maka dianggap $\tan \gamma = \gamma$.

$$\gamma = \frac{\delta_s}{L}$$

Regangan geser didefinisikan sebagai perubahan sudut antara dua permukaan tegak lurus dari elemen diferensial. Hubungan antara tegangan geser dan regangan geser dalam hukum Hooke diperoleh:

$$\tau = G\gamma$$

Dimana G adalah modulus elastisitas geser, yang biasa disebut dengan modulus kekakuan. Hubungan antara deformasi geser dan gaya geser terpasang dinyatakan dengan:

$$\delta_s = \frac{VL}{A_s G}$$

Dimana, V adalah gaya geser yang bekerja sepanjang luas geser A_s ,

3.9.3 Rasio Poisson: Deformasi Dua Sumbu dan Tiga Sumbu

Apabila batang diperpanjang dengan tegangan aksial, maka terjadi pengurangan besaran melintang. Simeon D. Poisson menunjukkan bahwa rasio satuan deformasi atau regangan dalam arah ini tetap untuk tegangan dalam daerah batas proporsional. Rasio ini disimbolkan dengan huruf ν .

$$\nu = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} = -\frac{\epsilon_z}{\epsilon_x}$$

Dimana, ϵ_x adalah regangan hanya karena tegangan dalam arah x , ϵ_y dan ϵ_z adalah regangan yang diakibatkan oleh tegangan dalam arah tegak lurus. Tanda **minus** menunjukkan pengurangan dimensi melintang. Tegangan tarik σ_y akan menghasilkan pengurangan lateral dalam arah X sebesar $\nu\sigma_y/E$, sehingga resultan satuan deformasi atau regangan dalam arah X menjadi:

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E}$$

Regangan total arah Y adalah:

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_x}{E}$$

Kedua persamaan terakhir dapat diselesaikan untuk menyatakan tegangan dalam terminologi regangan sebagai berikut:

$$\sigma_x = \frac{(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y)E}{1 - \nu^2}$$

$$\sigma_y = \frac{(\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x)E}{1 - \nu^2}$$

Ekspresi regangan yang disebabkan oleh kerja serempak tegangan tarik tiga sumbu sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)] \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \end{aligned} \right\}$$

Hubungan antara konstanta E, G dan ν untuk bahan tertentu dinyatakan dengan persamaan:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Harga umum rasio Poisson untuk baja 0.25 s.d 0.30, sedangkan bahan lain kira-kira 0.33 dan untuk beton 0.20.

3.9.4 Tegangan Termis (*Thermal Stress*)

Perubahan suhu dapat menyebabkan benda bertambah panjang atau pendek. Besarnya deformasi linear δ_T dinyatakan dengan persamaan:

$$\delta_T = \alpha L(\Delta T)$$

Dimana, α adalah koefisien perpanjangan linear, biasanya dinyatakan dengan satuan meter per meter per derajat perubahan suhu, L panjang dan ΔT perubahan suhu.

Prosedur umum untuk menentukan beban dan tegangan jika tidak menghendaki deformasi thermal, maka diperlukan langkah-langkah berikut ini:

- Bayangkan suatu struktur menahan semua bahan terpasang dan deformasi suhu tidak dapat terjadi dengan bebas. Nyatakan deformasi ini dalam sketsa, dan perbesar pengaruhnya.
- Kini bayangkan beban terpasang ke struktur guna menyimpannya ke kondisi batasan tertentu. Gambarkan beban ini dan deformasi beban langkah 1 dengan sketsa.
- Hubungan bentuk antara suhu dan deformasi beban pada sketsa memberikan persamaan dimana, bersama dengan persamaan kesetimbangan statis, bisa diselesaikan untuk besaran yang tidak diketahui.

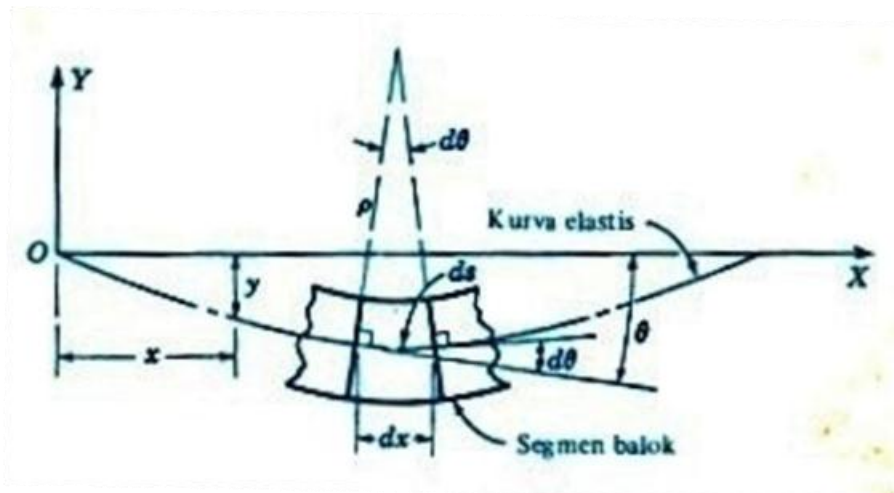
3.10 Lendutan

Dalam merencanakan sebuah konstruksi teknik seperti balok atau poros maka perlu dipertimbangkan terhadap kekuatan dan kekakuannya. Akan tetapi, bila dikehendaki sebuah konstruksi mesin untuk pekerjaan yang menuntut kepresisian, maka kekakuan komponen lebih diutamakan dibandingkan dengan kekuatannya. Kekakuan memiliki kaitan terhadap besaran deformasinya. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan lendutan, yaitu:

1. Metode integrasi ganda.
2. Metode momen luas.
3. Metode balok konyugat.
4. Metode superposisi.

3.10.1 Metode Integrasi Ganda

Gambar 6.1 di bawah ini menunjukkan sebuah permukaan netral balok yang mengalami lendutan. Kurva lendutan ini disebut kurva elastis balok.



Gambar 24. Kurva elastis balok

Kemiringan lendutan (θ) dapat dinyatakan dengan sebuah persamaan:

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx}$$

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2}$$

Besarnya busur yang terbentuk akibat lendutan ini dapat dinyatakan dengan:

$$ds = (\rho)d\theta$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds}$$

Jika diperhatikan nilai ds sangat kecil, maka dapat diasumsikan $ds \sim dx$. Dengan demikian dapat diperoleh persamaan baru, yaitu:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds} = \frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} \dots \dots [1]$$

Pada saat pembahasan tentang tegangan lentur diperoleh:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \dots \dots [2]$$

Dari Pers [1] dan [2] dapat disamakan, sehingga:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

$$M = EI \frac{d^2y}{dx^2} \dots \dots [3]$$

$$\int M dx + C_1 = EI \frac{dy}{dx} \dots \dots [4]$$

$$\int \int M dx dx + C_1x + C_2 = Ely \dots \dots [5]$$

Pers. [3] merupakan persamaan diferensial kurva elastis, sedangkan EI menunjukkan kekakuan lentur sebuah balok. Pers. [4] merupakan persamaan kemiringan sebuah titik, Pers. [5] adalah persamaan lendutan. Nilai C_1 dan C_2 dapat diperoleh dengan memasukkan kondisi batas sistem.

3.10.2 Metode Momen Luas

Metode ini dapat digunakan untuk menentukan kemiringan dan lendutan batang. Perhatikan **Gambar 25** di bawah ini.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds} = \frac{M}{EI}$$

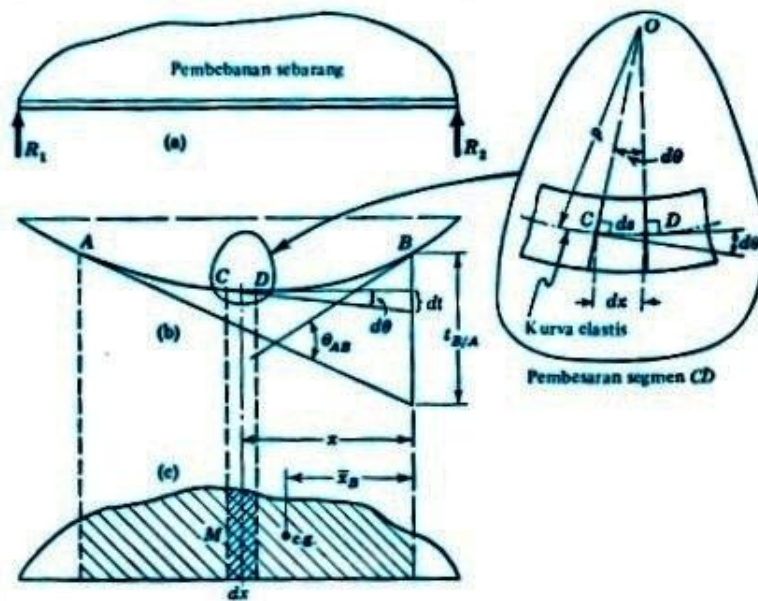
$$d\theta = \frac{M}{EI} ds = \frac{M}{EI} dx$$

$$\theta_{AB} = \int_{\theta_A}^{\theta_B} d\theta = \frac{1}{EI} \int_{x_A}^{x_B} (M dx)$$

$$dt = x d\theta$$

$$t_{B/A} = \int dt = \frac{1}{EI} \int_{x_A}^{x_B} x(M dx)$$

$t_{B/A}$ disebut sebagai penyimpangan B dari garis singgung yang ditarik pada A, atau dengan kata lain penyimpangan tangensial B terhadap A.



Gambar 25. Teori momen luas

Dari Gambar 25 terlihat bahwa $M dx$ adalah luas elemen arsiran yang berkedudukan pada jarak x dari ordinat melalui B, sehingga:

$$\theta_{AB} = \frac{1}{EI} (\text{luas})_{AB}$$

$$t_{B/A} = \frac{1}{EI} (\text{luas})_{AB} \cdot \bar{x}_B$$

Penyimpangan dikatakan positif bila titik terletak di atas garis singgung acuan darimana penyimpangan diukur. Demikian pula sebaliknya.

3.10.3 Metode Superposisi

Metode superposisi digunakan untuk menentukan kemiringan dan lendutan pada setiap titik yang dikehendaki. Untuk dapat menggunakan metode superposisi harus menggunakan Lampiran 1.

3.11 KOLOM

Kolom adalah sebuah batang tekan yang sangat tipis jika dibandingkan dengan panjangnya. Kolom dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu:

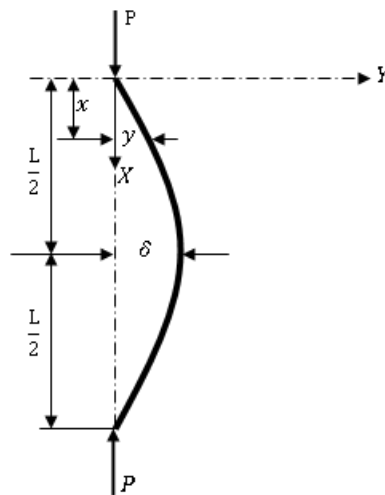
1. Kolom panjang, dicirikan dengan rusaknya batang disebabkan adanya tekukan.
2. Kolom sedang, dicirikan dengan kerusakan batang disebabkan adanya pecahan dan tekukan.
3. Kolom pendek, dicirikan dengan adanya kerusakan oleh pecahan.

Sebuah kolom dapat dikatakan ideal bila batang tersebut homogen dengan penampang yang tetap dan hanya menerima pembebanan tekan aksial. Tetapi kolom seperti sulit ditemukan, mengingat proses manufaktur dan eksentrisitas yang pasti

terjadi. Kolom dengan beban sangat pendek yang memiliki eksentrisitas sangat kecil, maka lendutan lateral dapat diabaikan dan tegangan lentur relatif sangat kecil jika dibandingkan dengan beban aksialnya. Semakin bertambahnya panjang kolom akan semakin memperbesar tegangan lenturnya.

3.11.1 Kolom Panjang

Teori beban kritis pada kolom panjang dikemukakan oleh Leonhard Euler (1757). Analisa ini didasari atas kondisi material dalam kondisi hingga tegangan proporsionalnya. Perhatikan **Gambar 26** di bawah ini.



Gambar 26. Batang kolom

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M = Py$$

Persamaan momen tidak dapat diintegrasikan secara langsung. Hal ini disebabkan momen bukan fungsi x. Persamaan ini dapat diselesaikan dengan persamaan benda yang bergetar.

$$EI \frac{d}{dx} \left(\frac{dy}{dx} \right) = Py$$

Agar dapat diselesaikan, persamaan di atas perlu dikalikan dengan dy, sehingga diperoleh nilai integrasi:

$$EI \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = Py^2 + C_1$$

Nilai $y = \delta$ jika $dy/dx = 0$. Jika nilai tersebut disubstitusikan ke persamaan di atas akan diperoleh nilai C_1 , yaitu $C_1 = -P\delta^2$.

$$EI \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = P(y^2 - \delta^2)$$

$$\frac{dy}{dx} = \sqrt{\frac{P}{EI}} \sqrt{y^2 - \delta^2}$$

$$\frac{dy}{\sqrt{y^2 - \delta^2}} = \sqrt{\frac{P}{EI}} dx$$

$$\sin^{-1}\left(\frac{y}{\delta}\right) = x \sqrt{\frac{P}{EI}} + C_2$$

Untuk menentukan nilai C_2 digunakan hubungan $y = 0$ pada $x = 0$ dan diperoleh $C_2 = 0$.

$$\sin^{-1}\left(\frac{y}{\delta}\right) = x \sqrt{\frac{P}{EI}} \text{ atau } y = \delta \sin\left(x \sqrt{\frac{P}{EI}}\right)$$

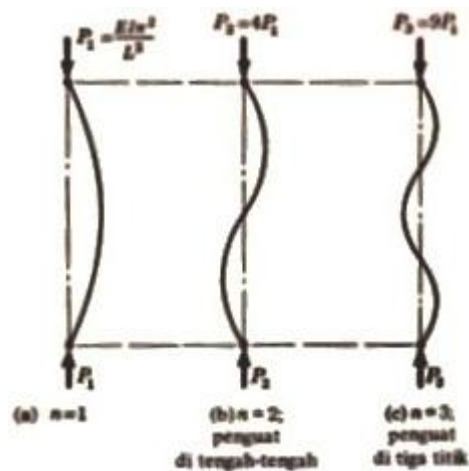
Hal ini menjadi indikasi bahwa kolom memiliki bentuk kurva sinus. Jika $y = 0$ pada $x = L$, maka diperoleh:

$$\sin\left(L \sqrt{\frac{P}{EI}}\right) = 0$$

$$L \sqrt{\frac{P}{EI}} = n\pi; \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

Dengan demikian diperoleh beban kritis sebuah kolom adalah:

$$P = n^2 \frac{EI\pi^2}{L^2}$$



Gambar 27. Kolom dengan berbagai tumpuan

Beban kritis pada kolom yang kedua ujungnya tetap dapat dinyatakan dengan sebuah persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{EI\pi^2}{L_e^2} = \frac{EI\pi^2}{\left(\frac{L}{2}\right)^2} = 4 \frac{EI\pi^2}{L^2}$$

Untuk beban kritis pada kolom yang salah satu ujungnya tetap dan yang lain bebas dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{EI\pi^2}{L_e^2} = \frac{EI\pi^2}{(4L)^2} = \frac{1}{4} \frac{EI\pi^2}{L^2}$$

Untuk beban kritis pada kolom yang salah satu ujungnya tetap dan yang lain berengsel dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{EI\pi^2}{L_e^2} = \frac{EI\pi^2}{(0,7L)^2} = 2 \frac{EI\pi^2}{L^2}$$

3.11.2 Batasan Rumus Euler

Kecenderungan menekuk searah bidangnya merupakan perilaku kolom, sehingga dalam perancangan selalu diperhitungkan terhadap momen inersia terkecil. Besarnya beban kritis tidak tergantung pada kekuatan bahan tetapi dimensi dan modulus elastisitas materialnya. Rancangan yang baik akan selalu diarahkan pada semakin besarnya momen inersia penampang.

Agar rumus Euler dapat berlaku maka tegangan lentur yang terjadi selama terjadinya tekukan tidak melebihi batas proporsionalnya. Momen inersia memiliki nilai ekuivalen dengan Ar^2 , dimana A adalah luas penampang dan r adalah jari-jari girasi terkecil.

$$P = \frac{EAR^2\pi^2}{L^2}$$

$$\frac{P}{A} = \frac{E\pi^2}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

Nilai P/A adalah tegangan rata-rata kolom pada kondisi kritis, biasa disebut tegangan kritis. Perbandingan L/r adalah rasio kerampingan kolom. Karena pembebanan akan mengakibatkan tekukan, maka untuk menentukan rasio kerampingan digunakan jari-jari girasi terkecil. Untuk menentukan tipe sebuah kolom, dapat digunakan harga ini. Misalnya sebuah baja memiliki $E = 200$ GPa dan tegangan proporsional sebesar 200 MPa, maka rasio kerampingannya sebesar:

$$200 \text{ MPa} = \frac{200 \times 10^3 \text{ MPa} (\pi^2)}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

$$\left(\frac{L}{r}\right)^2 = \frac{200 \times 10^3 (\pi^2)}{200} = 10000$$

$$\frac{L}{r} = 100$$

Rumus Euler tidak berlaku jika L/r kurang dari 100. Batas proporsional ditetapkan sebagai beban kritis. Tegangan kritis kolom berkurang sangat cepat seiring dengan bertambahnya rasio kerampingan. Rancangan yang baik adalah dengan memperkecil rasio kerampingannya.

3.11.3 Kolom Sedang

Kolom pendek didefinisikan sebagai salah satu panjangnya tidak melebihi 10X ukuran melintangnya dengan rasio kerampingannya sebesar 30. Banyak rumus empiris yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan kolom sedang, antara lain:

1. Teori modulus garis singgung.

$$\frac{P}{A} = \frac{\bar{E}\pi^2}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

Modulus yang digunakan adalah modulus reduksi E atau modulus efektif.

2. T.H. Johnson (1886).

$$\frac{P}{A} = \sigma - C \frac{L}{r}$$

Dimana, σ adalah pintasan $L/r = 0$ dan C adalah besaran kemiringan.

3. Tetmayer dan Bauschinger melakukan eksperimen pada batang baja struktur dengan ujung berengsel dan diperoleh beban kritis sebesar:

$$\frac{P}{A} = 330 - 1,45 \frac{L}{r} \quad (\text{MPa})$$

Dengan batasan L/r adalah 35 untuk titik luluh 280 MPa. Pada struktur bangunan digunakan faktor keamanan 3 untuk beban kerja yang aman. Maka persamaan di atas berubah menjadi:

$$\frac{P}{A} = 110 - 0,483 \frac{L}{r} \quad (\text{MPa})$$

Rumus ini digunakan untuk rasio kerampingan $30 \leq L/r \leq 120$ untuk batang utama dan untuk batang skeunder sebagai penguat rasio kerampingan bisa mencapai 150. Sedangkan jika $L/r \leq 30$ digunakan $P/A = 96.5$ MPa.

4. Rumus Rankine Gordon (1860). Asumsi yang digunakan adalah lendutan maksimum kolom berubah dengan L^2/c , yaitu $\delta_{\max} = \phi L^2/c$, dimana ϕ adalah konstanta kesebandingan yang dipengaruhi oleh ujung kolom.

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I} = \frac{P}{A} + \frac{(P\delta_{\max})c}{Ar^2} = \frac{P}{A} \left[1 + \phi \left(\frac{L}{r}\right)^2 \right]$$

Tegangan rata-rata dinyatakan dengan sebuah persamaan:

$$\frac{P}{A} = \frac{\sigma}{1 + \phi \left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

$$\frac{P}{A} = \frac{124}{1 + \frac{1}{18000} \left(\frac{L}{r}\right)^2} \quad (\text{MPa})$$

Rumus ini digunakan dengan $L/r = 60$ dan 20 untuk batang utama dan L/r hingga 200 untuk batang sebagai penguat. Di bawah $L/r = 60$, tegangan kerja adalah 103 MPa.

5. Prof. J.B. Johnson menyatakan:

$$\frac{P}{A} = \sigma - C \left(\frac{L}{r}\right)^2 \quad (\text{MPa})$$

Dimana, σ pada titik mulur dan C konstanta yang dipilih agar garis singgung parabolis menjadi kurva Euler.

AISC (*American Institute of Steel Construction*) menyatakan batas antara kolom sedang dan kolom panjang dengan rasio kerampingan C_c , yaitu:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_{yp}}}$$

Menurut AISC jika $L_e/r > C_c$, tegangan kerja kolom adalah:

$$\sigma_w = \frac{12\pi^2 E}{23 \left(\frac{L_e}{r}\right)^2}$$

Jika dihubungkan dengan rumus Euler, maka faktor keamanan kolom sebesar $23/12 = 1,92$. Untuk $L_e/r < C_c$, tegangan kerja kolom adalah:

$$\sigma_w = \left[1 - \frac{\left(\frac{L_e}{r}\right)^2}{2C_c^2} \right] \frac{\sigma_{yp}}{FS}$$

Faktor keamanan FS dirumuskan dengan:

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3 \left(\frac{L_e}{r}\right)}{8C_c} - \frac{\left(\frac{L_e}{r}\right)^3}{8C_c^3}$$

6. Rumus secant.

$$\frac{P}{A} = \frac{\sigma_{max}}{1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left(\frac{L}{2r} \sqrt{\frac{P}{EA}} \right)}$$

Berikut ini adalah spesifikasi paduan aluminum 2014 – T6;

$$\sigma_w = 193 \text{ MPa, untuk } \frac{L}{r} \leq 12$$

$$\sigma_w = 212 - 1,59 \frac{L}{r} \text{ MPa, untuk } 12 < \frac{L}{r} < 55$$

$$\sigma_w = \frac{372000}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} \text{ MPa, untuk } \frac{L}{r} \geq 55$$

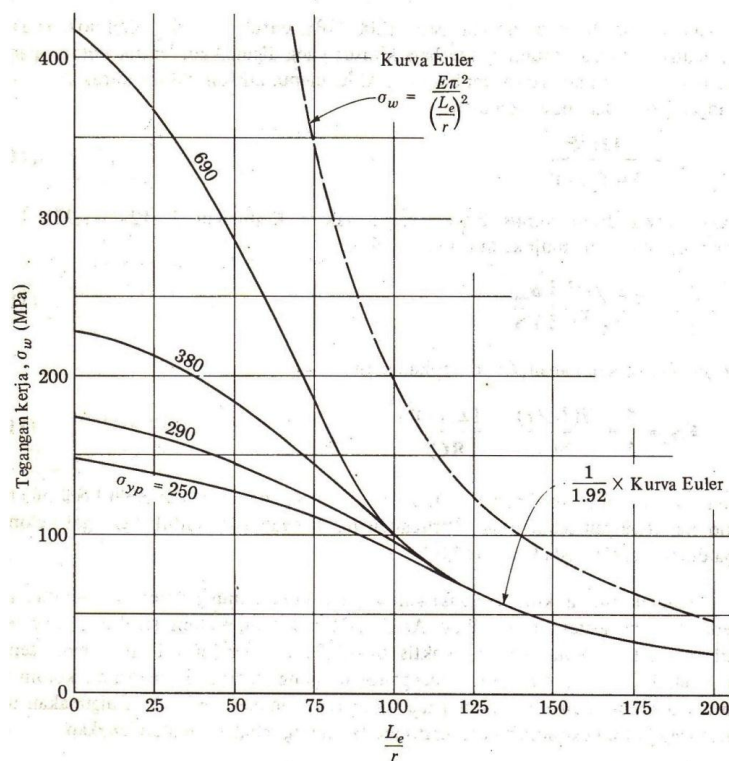
National Lumber Manufactures Association merekomendasikan untuk kolom kayu menggunakan rumus Euler dalam bentuk:

$$\sigma_w = \frac{\pi^2 E}{2,727 \left(\frac{L}{r}\right)^2} = \frac{3,619E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

Untuk kolom segiempat dengan ukuran lateral terkecil d:

$$r = \sqrt{\frac{d}{12}}$$

$$\sigma_w = \frac{0,3E}{\left(\frac{L}{d}\right)^2}$$



Gambar 27. Tegangan kerja kolom untuk berbagai grade baja

BAB IV MEKANIKA FLUIDA DAN PENERAPANNYA

4.1 Pendahuluan

Mekanika fluida adalah cabang mekanika terapan yang membahas tentang statika dan dinamika fluida dan gas. Analisa perilaku fluida didasarkan atas hukum dasar mekanika terapan yang mengorelasikan antara konservasi massa, energi dan momentum. Mekanika fluida dapat dibedakan menjadi 3 cabang keilmuan, yaitu:

1. Statika fluida: mekanika fluida pada keadaan diam.
2. Kinematika: kaitan antara kecepatan dan *streamlines* dengan gaya dan energi.
3. Dinamika fluida: kaitan antara kecepatan dan percepatan dan gaya yang dimiliki oleh fluida.

Mekanika fluida memiliki peranan sangat penting dalam bidang teknik dan ilmu pengetahuan, seperti:

1. Biomekanika: aliran darah melalui pembuluh arteri, aliran fluida dalam otak,
2. Meteorologi dan teknik kelautan: pergerakan aliran udara dan air,
3. Teknik kimia: desain peralatan proses kimia,
4. Teknik mesin: desain pompa, turbin, peralatan AC, peralatan pengendalian polusi,
5. Teknik sipil: transportasi endapan sungai, polusi udara dan air, desain sistem pemipaan, sistem pengendalian banjir.

Fluida adalah zat yang dapat mengalir. Partikel membuat fluida secara terus-menerus berubah letak relatif ke tempat yang lain. Fluida tidak memiliki tahanan tetap terhadap perubahan satu lapisan atas lapisan yang lain ketika diberikan gaya geseran. Berbeda dengan benda padat, benda padat dapat menahan gaya geser ketika diam. Gaya geser dapat menyebabkan fluida mengalir.

4.2 Dimensi dan Satuan

Sebelum diskusi rinci tentang mekanika fluida perlu ditekankan pentingnya pemahaman tentang satuan. Satuan yang digunakan dalam keteknikan antara lain:

1. Satuan SI (*Systeme International*),
2. Satuan Inggris.

Satu Newton adalah gaya yang diperlukan untuk mempercepat 1 kg massa menjadi 1 m/s². Satu slug adalah massa yang mempercepat 1 ft/s² ketika bekerja gaya sebesar 1 lb. Untuk mengingat satuan Newton, dapat digunakan Hukum Newton 2 yaitu:

$$F = ma = (\text{kg}) \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = \text{N}$$

Sedangkan dalam satuan slug dapat digunakan rumus di bawah ini.

$$m = \frac{F}{a} = \frac{(\text{lb})}{\left(\frac{\text{ft}}{\text{sec}^2}\right)} = \frac{\text{lb} \cdot \text{sec}^2}{\text{ft}}$$

Satu pound (lb) adalah gaya gravitasi yang bekerja pada platinum standard yang memiliki massa 0.45359243 kg.

Tabel 2. Satuan dan konversi

Kuantitas	Satuan SI	Satuan Inggris
Panjang (L)	Meter (m)	Foot (ft)
Massa (m)	Kilogram (kg)	Slug = lb.sec ² /ft
Waktu (T)	Second (s)	Second (sec)
Suhu	Celcius (°C)	Fahrenheit (°F)
Gaya	Newton (N) = kg.m/s ²	Pound (lb)

Berat adalah gaya tarik gravitasi antara dua benda. Hukum Newton tentang gravitasi menyatakan besarnya gaya (F) yang ditimbulkan akibat adanya dua benda yang saling berdekatan adalah:

$$F = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Dimana, G: konstanta gravitasi universal, m₁ dan m₂: massa benda 1 dan 2 dan r: jarak antara pusat massa benda.

4.3 Sifat-sifat Fluida

4.3.1 Density

Densitas adalah perbandingan massa yang diberikan oleh sejumlah zat pada volume yang diduduki. Densitas dikatakan seragam bila densitas di semua bagian zat adalah sama. Secara matematika dapat dinyatakan sebagai:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

Sedangkan berat spesifik dinyatakan sebagai:

$$\gamma = \rho g \dots \dots \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right)$$

4.3.2 Kompresibilitas

Semua fluida terkompresi jika tekanan meningkat maka densitasnya pun mengalami peningkatan. Kompresibilitas adalah perubahan volume karena perubahan tekanan. Derajat kompresibilitas suatu zat dicirikan oleh modulus elastisitas curah E_v yang didefinisikan sebagai:

$$E_v = -v \frac{dp}{dv}$$

$$v = \frac{1}{\rho}$$

Dimana dp menggambarkan sedikit peningkatan tekanan yang diberikan pada suatu zat yang menyebabkan penurunan volume dv dari volume awal v . Tanda negatif (-) adalah pengertian yang menjamin bahwa nilai E_v selalu positif.

Nilai E_v memiliki rumusan dimensi yang sama sebagai tekanan, dimana $[ML^{-1}T^{-2}]$. Nilai E_v dapat juga dinyatakan sebagai fungsi perubahan yang menyertai perubahan densitas yang disebabkan oleh peningkatan tekanan. Pemakaian pengertian densitas sebagai massa/volume dapat menunjukkan bahwa kebalikan dari modulus curah adalah kompresibilitas (*compressibility*).

Nilai E_v tergantung pada kaitan antara tekanan dan densitas di kompresi terjadi. Modulus curah isothermal adalah nilai ketika kompresi terjadi selama suhu dijaga konstan. Modulus curah isentropic adalah nilai ketika kompresi terjadi pada kondisi adiabatik. Untuk cairan, nilai E_v sangat tinggi (2.05 GPa untuk air pada tekanan sedang) dan terdapat sedikit perubahan densitas dengan tekanan. Densitas cairan dapat diasumsikan tetap tanpa rugi-rugi. Pada sisi yang lain, gas merupakan zat yang sangat kompresibel. Nilai E_v untuk air pada tekanan 15 psia dan 68°F sebesar 320,000 psi.

4.3.3 Surface Tension

Tegangan permukaan adalah gaya permukaan yang terbentuk pada lapisan batas antar dua cairan yang tak dapat tercampur atau antara cairan dan gas atau lapisan batas antara cairan dan permukaan benda padat. Karena tegangan permukaan, air kecil jatuh, gelembung gas dan air raksa mempertahankan bentuk spherical. Kehadiran tegangan permukaan dan dinamika disebabkan oleh interaksi kompleks pada level molekul sepanjang lapisan batas. Jauh dari lapisan batas, molekul dikelilingi oleh molekul pada semua sisi dan interaksi gaya molekular dapat menghasilkan gaya nol. Pada lapisan batas, molekul berinteraksi dengan molekul pada fluida yang sama dan hanya pada satu sisi saja.

Besaran dan arah gaya tarikan ini ditentukan tidak hanya oleh apa yang terjadi pada sisi lain lapisan batas, tetapi oleh molekul dua fluida yang berinteraksi satu dengan yang lainnya. Tegangan permukaan secara khusus memengaruhi fluida. Gaya-gaya tegangan permukaan juga sangat peka terhadap kondisi fisik dan kimia permukaan solid yang terjadi kontak, seperti kekasaran, kebersihan dan suhu. Besarnya tegangan permukaan didefinisikan sebagai gaya tarik yang bekerja memotong dan tegak lurus terhadap elemen garis lurus dan pendek pada permukaan dibagi dengan panjang garis itu. Formula dimensinya adalah $[MLT^{-2}]/[L] = [MT^{-2}]$.

Simbol tegangan permukaan adalah σ . Gaya antara molekul fluida dan batas molekul padat dapat meningkatkan ikatan antara fluida dan batasnya. Dua gaya ini yang menentukan apakah cairan akan membasahi permukaan padat pada bejana. Jika gaya adhesi lebih besar daripada kohesinya, maka cairan membasahi permukaan, begitu pula sebaliknya. Hal ini jarang bahwa tarikan antara molekul fluida sebanding

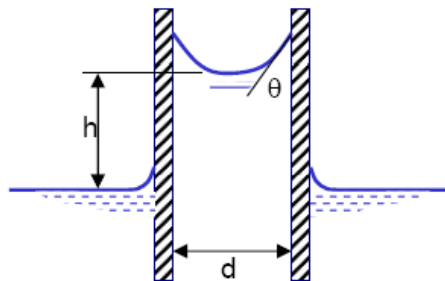
dengan antara molekul fluida dan padat, sehingga permukaan cairan dekat batas berbentuk kurva.

Untuk permukaan kurva, tegangan permukaan resultan terhadap sisi cekung. Sedangkan pada kesetimbangan, tekanan pada sisi cekung harus lebih besar daripada sisi cembung setara dengan:

$$\sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Dimana R_1 and R_2 adalah radius kelengkungan permukaan dalam dua arah tegak lurus.

Fenomena kapilaritas (*capillarity*) disebabkan oleh meningkatnya atau tertekannya *meniscus* cairan karena gaya tarik permukaan. Kolom air dalam **Gambar 28** di bawah meningkat terhadap tinggi h . Tinggi kolom diimbangi oleh gaya tarikan permukaan resultan yang bekerja pada θ terhadap vertikal pada kontak dengan tabung.



Gambar 28. Fenomena kapilaritas

Dengan kesetimbangan gaya diperoleh:

$$h = \frac{4\sigma \cos \theta}{\rho g d}$$

4.3.4 Vapour Pressure

Pada permukaan cairan, molekul dapat meninggalkan dan masuk kembali ke dalam massa cairan. Aktifitas molekul pada permukaan dapat membangkitkan tekanan uap yang merupakan ukuran laju molekul meninggalkan permukaan. Ketika tekanan uap cair sebanding dengan tekanan parsial molekul dari cairan dalam gas di atas permukaan, maka jumlah molekul yang meninggalkan cairan setara dengan jumlah yang masuk. Pada kondisi setimbang, tekanan uap disebut sebagai tekanan jenuh.

Tekanan uap tergantung pada suhu, karena aktifitas molekul tergantung pula pada kandungan panasnya. Peningkatan suhu selalui diiringi oleh tekanan uap tercapai proses pendidihan pada tekanan atmosfer lingkungan. Formulas dimensinya adalah $[ML^{-1}T^{-2}]$.

4.3.5 Viskositas

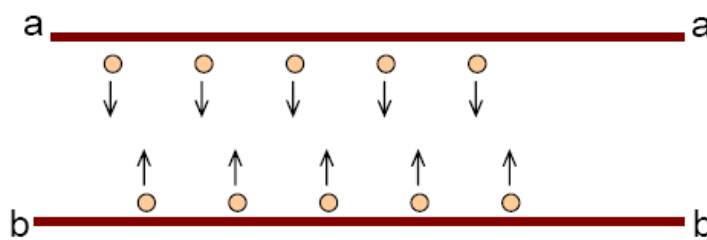
Viskositas dapat dianggap sebagai adalah kemampuan melekatnya suatu fluida. Viskositas merupakan salah satu sifat yang mengendalikan sejumlah fluida dapat

diangkut dalam pipa selama periode waktu tertentu. Sifat ini dapat digunakan untuk menghitung rugi-rugi energi yang akibat transportasi fluida dalam saluran, kanal dan pipa. Viskositas memegang peranan penting dalam pembangkitan turbulensi. Viskositas adalah sifat yang sangat penting untuk memelajari fluida yang mengalir. Semua fluida menahan gaya yang cenderung menyebabkan satu lapisan bergerak terhadap lapisan lainnya, tetapi tahanan ini hanya terjadi ketika pergerakan tersebut memiliki tempat.

Penyebab Viskositas. Untuk memahami penyebab viskositas pada fluida, perlu memelajari pengaruh suhu terhadap viskositas gas dan cairan. Viskositas gas meningkat seiring dengan peningkatan suhu. Sedangkan untuk cairan, viskositas menurun seiring dengan peningkatan suhu. Hal ini disebabkan viskositas tergantung pada dua fenomena, yaitu perpindahan momentum antara molekul dan gaya *intermolecular (cohesive)* antara molekul fluida.

Anggaplah fluida berisi dua lapisan a-a dan b-b seperti **Gambar 29**, lapisan a-a yang bergerak lebih cepat daripada b-b. Beberapa molekul dalam a-a disebabkan oleh agitasi thermalnya bermigrasi ke b-b dan menimbulkan momentum sebagai hasil kecepatan a-a. Molekul ini bertabrakan dengan molekul pada lapisan b-b dan meneruskan momentumnya serta meningkatkan kecepatan b-b. Molekul b-b juga menyebabkan agitasi thermal yang menyeberang ke lapisan a-a dan menabrak molekul di lapisan a-a.

Pengaruh penyeberangan molekul menyebabkan penurunan gerak relatif. Lapisan a-a melambat karena tumbukan dengan molekul lebih lambat. Lapisan b-b dipercepat karena tumbukan molekul lebih cepat. Peningkatan suhu dapat mengurangi gaya kohesi selagi laju perubahan molekul mengalami peningkatan.



Gambar 29. Gerak relatif molekul

Sir Isaac Newton menyimpulkan bahwa untuk gerak lurus dan sejajar fluida, tegangan tangensial antara dua lapisan fluida yang berdampingan proporsional terhadap gradient kecepatan dalam arah tegak lurus terhadap lapisan. Besarnya tegangan tangensial dinyatakan dengan:

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

Dimana μ adalah konstanta fluida pada suhu tertentu. Koefisien proporsionalitas disebut viskositas absolut atau koefisien viskositas. Nilai μ adalah besaran scalar. Jika

kecepatan u meningkat terhadap y , maka gradient kecepatan adalah positif sehingga τ juga positif.

Viskositas Kinematik (*kinematic viscosity*), ν didefinisikan sebagai perbandingan viskositas absolut terhadap densitasnya. Formula dimensinya adalah: $[L^{-2}T^{-1}]$.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

4.3.6 Tekanan (*Pressure*)

Untuk mendefinisikan tekanan perlu mengumpamakan permukaan luasan imajiner pada sembarang bagian fluida. Permukaan ini mengalami gaya sebesar F disebabkan oleh besarnya jumlah molekul yang bertabrakan dari fluida yang berdampingan. Tekanan adalah perbandingan antara gaya dan luasan, yaitu: F/A dengan formula dimensi $[ML^{-1}T^{-2}]$. Satuan yang digunakan adalah pascal (Pa) atau N/m^2 . Untuk tekanan yang besar dapat dinyatakan dalam atmosfer (atm). Satu atmosfer setara dengan 1.03125×10^5 Pa. Tekanan 10^5 disebut satu bar. Untuk tekanan kurang dari 1 atm, satuan yang digunakan adalah mm Hg.

BAB V PERPINDAHAN PANAS DALAM RANCANGAN MEKANIKAL

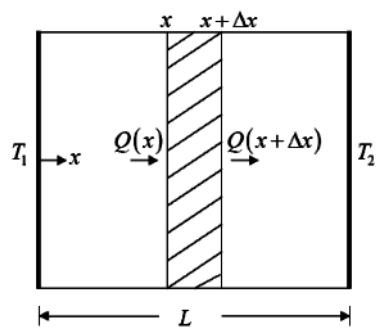
5.1 Pendahuluan

Perpindahan panas mempelajari tentang aliran panas. Perpindahan panas digunakan untuk memerkirakan laju perpindahan panas dalam berbagai kondisi proses, seperti proses distilasi, penguapan dalam boiler dan proses pertukaran panas lainnya. Pada *power plant*, produksi dan pemakaian uap yang dipindahkan ke berbagai tempat dengan menggunakan pipa uap. Pipa uap perlu diisolasi untuk mengurangi rugi-rugi panas ke udara sekeliling. Sedangkan pada proses pendinginan, transportasi cairan dingin sepanjang pipa memerlukan isolasi untuk mencegah panas luar masuk ke fluida dingin.

Kehidupan di bumi pun harus ditopang oleh energi yang berasal matahari melalui perpindahan panas radiasi. Perpindahan panas radiasi dapat juga digunakan untuk pembuatan baja. Dari berbagai kasus di atas dapat diidentifikasi tiga mekanisme perpindahan panas, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

5.2 PerPindahan Panas Konduksi (*Conduction Heat Transfer*)

Konduksi adalah mekanisme perpindahan energi atomik dari satu tempat ke tempat lain pada benda padat. Sedangkan mekanisme perpindahan panas molekular dapat terjadi pada cairan maupun gas. Sebagai contoh adalah perpindahan panas konduksi melalui jendela ketika dalam di dalam ruangan panas dan di luar ruangan dingin. Seandainya kita diketahui suhu permukaan jendela di luar dan di dalam ruangan, maka dapat dibuat pemodelan aliran panas yang melalui jendela. Asumsikan jendela berbentuk segiempat dengan tinggi dan lebar tertentu. Perhatikan **Gambar 30** di bawah ini.



Gambar 30. Pelat dengan perpindahan panas konduksi

Laju aliran panas melalui pelat diberi simbol Q . Laju aliran panas ini bervariasi terhadap jarak x dan diberi tanda $Q(x)$. Simbol $q(x)$ digunakan untuk menyatakan laju aliran panas per satuan luas atau sering disebut sebagai fluks panas.

$$Q(x) = Q(x + \Delta x)$$

$$\frac{Q(x + \Delta x) - Q(x)}{\Delta x} = 0$$

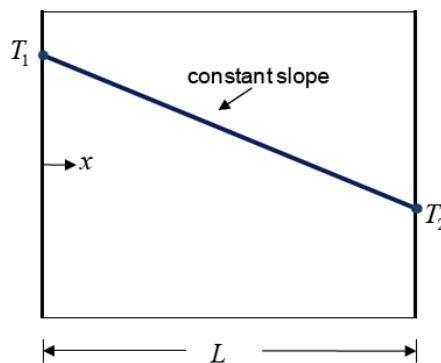
Jika $\Delta x \rightarrow 0$, maka:

$$\frac{dQ}{dx} = 0; \quad Q = \text{constant}$$

Laju aliran panas $Q = qA$, dimana A adalah luas penampang pelat terhadap arah x dan q adalah fluks panas. Fluks panas q adalah konstan dan tidak tergantung pada x . Hukum Fourier menyatakan fluks panas merupakan gradient suhu. Fourier menyatakan bahwa fluks panas adalah proporsional terhadap gradient suhu. Dengan demikian dapat dituliskan sebagai:

$$q_x = -k \frac{dT}{dx}$$

Karena q adalah konstan, maka sisi kanan juga tetap. Angka konduktifitas thermal material pelat dinyatakan dengan k . dengan demikian laju perpindahan panas dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 31. Laju perpindahan panas

Gradient suhu adalah kemiringan konstan dari sebuah garis lurus dan diperoleh sebagai:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L - 0} = -\frac{T_1 - T_2}{L} = -\frac{\Delta T}{L}$$

Dimana ΔT adalah gaya penggerak konduksi sepanjang pelat. Fluks panas dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$q = -k \frac{dT}{dx} = k \frac{\Delta T}{L}$$

Laju aliran panas tunak pada pelat adalah $Q = qA$ diperoleh sebagai:

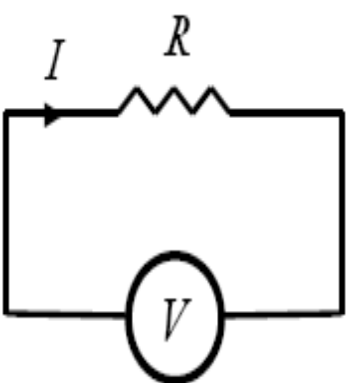
$$Q = kA \frac{\Delta T}{L}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{L/kA} = \frac{\text{gaya penggerak}}{\text{hambatan}}$$

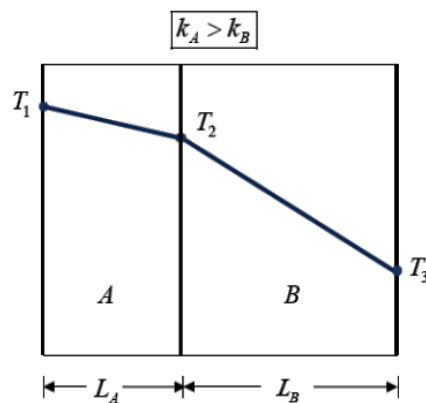
Satuan konduktifitas thermal dinyatakan dalam watt/m.K. **Tabel 3** menunjukkan nilai konduktifitas thermal beberapa bahan.

Tabel 3. Konduktifitas thermal bahan-bahan

Bahan	Konduktifitas Panas
Tembaga	386
Aluminum	204
Baja tahan karat	15
Pyrex glass	1.09
Air	0.611
Fiberglass	0.038
Polystyrene	0.028
Udara	0.027



Perpindahan panas konduksi dapat dianalogikan sebagai aliran listrik. Konduksi tunak yang mengalir pada material pelat komposit dengan konduktifitas thermal yang berbeda masing-masing k_A dan k_B . Laju aliran panas yang melalui pelat komposit adalah konstan, tidak tergantung pada waktu dan letak pelat, sehingga diperoleh:



Gambar 32. Perpindahan panas pada pelat komposit

$$Q = Q_A = Q_B; \quad k_A A \frac{T_1 - T_2}{L_A} = k_B A \frac{T_2 - T_3}{L_B}$$

Dimana A adalah luas aliran panas, sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{L_A/(k_A A)} = \frac{T_2 - T_3}{L_B/(k_B A)} = \frac{T_1 - T_2}{R_A} = \frac{T_2 - T_3}{R_B}$$

Aliran panas diberikan oleh gaya penggerak masing-masing bagian dan membaginya dengan tahanan bagian dan diperoleh:

$$T_1 - T_2 = QR_A; \quad T_2 - T_3 = QR_B$$

Dengan menambahkan kedua gaya penggerak pada kedua bagian diperoleh:

$$T_1 - T_3 = Q(R_A + R_B); \quad Q = \frac{T_1 - T_3}{R_A + R_B}$$

5.3 Perpindahan Panas Konveksi (*Convective Heat Transfer*)

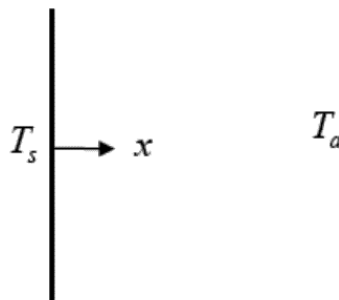
Ketika elemen fluida bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain, maka elemen tersebut membawa kandungan energi. Konveksi paksa terjadi ketika gerakan aliran fluida dibangkitkan oleh pompa, elevasi tangki penyimpanan atau fan. Aliran fluida dapat juga terjadi secara alamiah tanpa intervensi. Konveksi alam disebabkan oleh densitas fluida terhadap gaya gravitasi. Densitas fluida yang lebih rendah bergerak ke fluida dengan densitas yang lebih tinggi. Perbedaan densitas memicu konveksi alam dapat terjadi dari variasi suhu atau komposisi.

Terlepas pada gerakan dalam fluida, apakah paksa atau alamiah, mekanisme ini disebut perpindahan panas konveksi (*convective heat transfer*). Permukaan panas dengan suhu T_s yang menggerakkan fluida ke suhu T_a yang jauh dari permukaan. Fluks panas dari permukaan ke fluida dapat dituliskan sebagai:

$$q_x|_{x=0} = h(T_s - T_a) = h\Delta T$$

Dimana h adalah koefisien perpindahan panas konveksi antara permukaan pelat dengan fluida dan $\Delta T = (T_s - T_a)$ sebagai gaya penggerak perpindahan panas. Komponen kecepatan tangensial dan normal memiliki nilai nol pada permukaan padat yang tetap terhadap fluida. Perpindahan panas ke fluida di permukaan terjadi secara konduksi, sehingga dapat dituliskan sebagai:

$$q_x|_{x=0} = \left(k_{\text{fluida}} \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0}$$



Gambar 33. Perpindahan panas secara konveksi

Satuan dan dimensi koefisien perpindahan panas dapat diperoleh dari persamaan di bawah ini:

$$\text{Koefisien perpindahan panas} = \frac{\text{fluks panas}}{\text{perbedaan suhu}}$$

Dalam satuan SI digunakan $W/(m^2.K)$ dan dalam satuan British adalah $BTU/(hr.ft^2.F)$

Tabel 4. Nilai koefisien perpindahan panas konveksi, h ($W/m^2.K$)

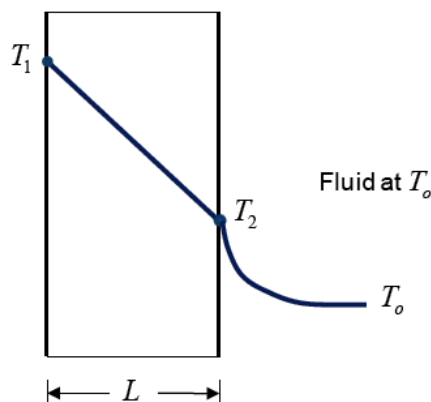
Konveksi paksa di udara	20-250
Konveksi paksa di air	50-10,000
Konveksi bebas untuk udara	3-50
Konveksi bebas untuk air	10-1,000
Penguapan dan kondensasi	3,000-100,000

Kombinasi perpindahan panas antara konduksi dan konveksi dapat terjadi dalam sebuah sistem. Panas dihantarkan melalui sebuah pelat dan diteruskan ke fluida sekeliling secara konveksi. Dua sisi pelat dengan lebar L pada suhu T_1 dan T_2 . Suhu fluida sekitar suhu T_0 dan perpindahan panas antara permukaan sebelah kanan dan fluida sekitar disebut sebagai koefisien perpindahan panas h . Sejumlah panas Q yang mengalir ke pelat dan keluar fluida dapat dibuat persamaan di bawah ini:

$$Q = qA = k_{\text{padat}}A \frac{T_1 - T_2}{L} = hA(T_2 - T_0)$$

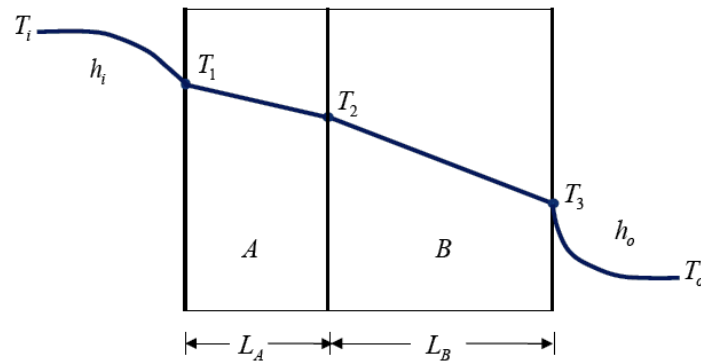
Dimana q adalah fluks panas tunak dan A adalah luas penampang pelat untuk aliran panas, dengan menuliskan persamaan di atas diperoleh:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{L/(k_{\text{padat}}A)} = \frac{(T_2 - T_0)}{1/(hA)} = \frac{T_1 - T_0}{R_{\text{padat}} - R_{\text{fluida}}}$$



Gambar 34. Analogi tahanan listrik

Kasus pada **Gambar 34** dapat dikembangkan menjadi satu tahanan konduksi dan satu tahanan konveksi secara seri. Pelat komposit terbuat dari dua material yang terkena udara pada sisi dalam ruangan dan udara pada sisi yang lain. Laju perpindahan panas konveksi di sebelah dalam dapat dijelaskan dengan menggunakan koefisien perpindahan panas. Suhu dalam ruangan jauh dari permukaan adalah T_1 dan T_i , dan suhu udara luar adalah T_o . Variasi suhu dapat ditandai seperti Gambar di bawah ini.



Gambar 35. Sketsa tahanan laju aliran panas

Pada kondisi steady state dapat dituliskan:

$$Q = h_i A (T_i - T_1) = k_A A \frac{T_1 - T_2}{L_A} = k_B A \frac{T_2 - T_3}{L_B} = h_o A (T_3 - T_o)$$

$$Q = \frac{T_i - T_1}{1/(h_i A)} = \frac{T_1 - T_2}{L_A/(k_A A)} = \frac{T_2 - T_3}{L_B/(k_B A)} = \frac{T_3 - T_o}{1/(h_o A)}$$

$$Q = \frac{T_i - T_1}{R_i} = \frac{T_1 - T_2}{R_A} = \frac{T_2 - T_3}{R_B} = \frac{T_3 - T_o}{R_o}$$

$$Q = \frac{T_i - T_o}{\sum_k R_k}$$

$$Q = \frac{T_i - T_o}{1/(UA)}$$

$$Q = UA(T_i - T_o)$$

Dimana U adalah koefisien perpindahan panas menyeluruh yang diperoleh dari persamaan berikut ini:

$$\frac{1}{UA} = \sum_k R_k = \frac{1}{h_i A} + \frac{L_A}{(k_A A)} + \frac{L_B}{(k_B A)} + \frac{1}{h_o A}$$

5.4. Perpindahan Panas Radiasi (*Radiation Heat Transfer*)

Perpindahan panas radiasi berada dimana-mana karena semua benda memancarkan dan menyerap radiasi elektromagnetik. Spectrum radiasi elektromagnetik sangat

besar, tetapi perpindahan panasnya hanya sebagian kecil saja yang disebut sebagai radiasi thermal. Panjang gelombang radiasi ini mendekati 0.1-100 μm .

Pada benda padat, radiasi dipancarkan oleh lapisan dan diserap kembali dalam sedikit lapisan atomic berikutnya. Penyinaran G adalah energi radiasi yang jatuh pada permukaan padat per satuan luas per satuan waktu. Satuan G adalah W/m^2 . Radiositas permukaan J sebagai energi radian yang dipancarkan oleh permukaan per satuan luas per satuan waktu. Satuan J adalah W/m^2 .

Benda hitam (*black body*) adalah permukaan yang menyerap setiap sedikit energi radiasi yang jatuh ke benda tersebut, terlepas dari panjang gelombang atau sudut jatuhnya. Benda tersebut tidak memantulkan energi radiasi yang jatuh. Semua radiasi yang meninggalkan permukaan benda hitam harus dipancarkannya. Hukum Stefan-Boltzmann menyatakan bahwa:

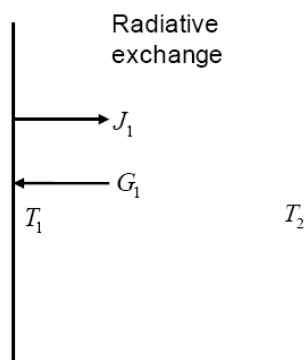
$$J = \sigma T^4$$

Konstanta Stefan-Boltzmann (σ) memiliki nilai $5.6704 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}^4)$ dan T adalah suhu absolut permukaan dalam Kelvin.

Sebagai contoh kasus adalah dua permukaan yang sangat jauh dan luas pada dua suhu absolut yang berbeda yang saling berhadapan.

Permukaan sebelah kiri berada pada suhu absolut T_1 sedangkan permukaan sebelah kanan adalah T_2 dan asumsikan kedua benda adalah hitam. Pada permukaan 1, radiositas $J_1 = \sigma T_1^4$. Radiositas pada permukaan 2 disebabkan oleh semua radiasi meninggalkan permukaan 2 jatuh ke permukaan 1, maka $G_1 = \sigma T_2^4$. Fluks panas bersih yang meninggalkan permukaan 1 pada kondisi tunak diberikan oleh:

$$q_1 = J_1 - G_1 = \sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

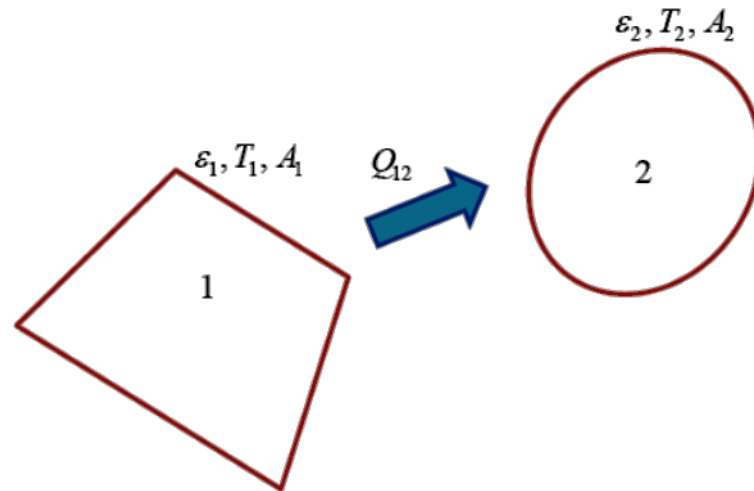


Gambar 36. Pelat radiasi

Tentunya fluks panas bersih yang meninggalkan permukaan 2 pada kondisi tunak harus negative dan hasilnya adalah:

$$q_2 = \sigma(T_2^4 - T_1^4)$$

Pada benda kelabu, emisivitas fluks energi radiasi meninggalkan dua permukaan.



Gambar 37. Emisifitas benda

Benda 1 dengan emisifitas, suhu permukaan absolut, dan luas permukaan ϵ_1, T_1 dan A_1 , sedangkan pada benda 2 masing-masing ϵ_2, T_2 dan A_2 . Hanya bagian permukaan benda 1 terlihat oleh sebagian permukaan benda 2. Untuk mengakomodasi factor-factor ini, dapat dituliskan laju pertukaran radiasi yang terjadi dari benda 1 ke 2 yaitu:

$$Q_{12} = A_1 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

Dimana F_{12} disebut faktor perpindahan yang tergantung pada emitan kedua permukaan benda, geometri, dan perbandingan dua permukaan yang terlihat satu dengan yang lain. Jika permukaan 1 seluruhnya dikelilingi oleh permukaan 2, dan $A_1 \leq A_2$ atau jika permukaan 2 adalah hitam, maka:

$$Q_{12} = A_1 \epsilon_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

Jika permukaan abu-abu 1 dikelilingi oleh permukaan abu-abu 2, dan perbedaan suhu $\Delta T = (T_1 - T_2)$ lebih kecil dibandingkan dengan T_1 atau T_2 , maka diperoleh:

$$T_1^4 - T_2^4 = (T_1^2 + T_2^2)(T_1^2 - T_2^2) = (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)(T_1 - T_2)$$

Pada sisi kanan, $(T_1 + T_2)$ dapat diganti dengan $2T_m$ dimana $T_m = (T_1 + T_2)/2$. Demikian juga untuk $(T_1^2 + T_2^2)$ dengan $2T_m^2$, maka:

$$Q_{12} = A_1 \epsilon_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) = 4A_1 \epsilon_1 \sigma T_m^3 (T_1 - T_2) = h_r A_1 (T_1 - T_2)$$

Dimana $h_r = 4\epsilon_1 \sigma T_m^3$

BAB VI PERANAN THERMODINAMIKA DI BIDANG TEKNIK

6.1 Pendahuluan

Termodinamika memiliki peran yang sangat penting dalam bidang keteknikan. Banyak rancangan sistem mekanikal yang bekerja atas dasar prinsip-prinsip termodinamika. Instalasi pembangkit daya, mesin-mesin otomotif, pendingin ruangan dan bidang keteknikan lainnya. Dalam aplikasinya, termodinamika selalu bekerja bersamaan dengan proses perpindahan panas maupun perilaku fluida.

6.2 Sistem dan Sifat-sifatnya

Sistem dapat didefinisikan sebagai jumlah zat atau suatu daerah dalam ruangan yang diamati. Massa atau daerah di luar sistem disebut sekeliling (*surrounding*). Permukaan antara disebut sebagai batas (*boundary*). Batas dapat bersifat tetap atau bergerak. Sistem dalam termodinamika dapat berupa sistem tertutup atau terbuka. Dalam sistem tertutup tidak ada massa yang dapat melewati batas sistem, sedangkan pada sistem terbuka memungkinkan massa bertukaran dengan sekelilingnya. Sistem terbuka dapat juga disebut dengan volume terkendali (*control volume*).

Karakteristik sebuah sistem disebut sifat. Sifat intensif tidak tergantung langsung jumlah zat dalam sistem. Sifat ekstensif seperti massa dan volume secara langsung tergantung pada jumlah partikel. Jika sifat ekstensif dihitung per satuan massa, maka itulah yang disebut sifat spesifik. Sifat spesifik biasanya ditulis dengan huruf kecil. Sebagai contoh adalah:

$$\text{Volume spesifik, } v = \frac{1}{\rho}$$

$$\text{Berat spesifik, } \gamma = \rho g$$

6.3 Keseimbangan

Kondisi sistem dalam termodinamika selalu berkaitan dengan keseimbangan. Sebuah sistem yang terisolasi dari pengaruh lingkungan dalam keadaan seimbang sehingga tidak mengalami perubahan. Sebuah sistem dalam keseimbangan thermal jika suhu sistem tidak memiliki perbedaan. Sistem dalam keseimbangan mekanis jika tekanannya konstan.

Keseimbangan dinyatakan dengan menggunakan sifat-sifat. Sistem yang terkompresi dinyatakan oleh dua sifat intensif. Sebuah sistem dikatakan kompresibel jika densitas tidak konstan di seluruh sistem. Sebuah sistem disebut sistem yang

sederhana jika tidak ada pengaruh elektrik, magnetik, dan gravitasi. Dua sifat adalah independen jika salah satu berubah selagi yang lain dijaga konstan.

6.4 Proses

Proses adalah perubahan sebuah sistem dari satu keadaan ke keadaan yang lain. Lintasan adalah rangkaian kedudukan yang dilalui oleh sistem. Sebuah sistem mengalami siklus jika kedudukan awal proses sama dengan kedudukan akhir proses. Ketika sistem tetap sangat tertutup terhadap kedudukan setimbang pada semua waktu, maka dikatakan proses quasi-static. Istilah tunak (*steady*) menunjukkan tidak ada perubahan di setiap waktu. Awalan kata "*iso*" dapat digunakan untuk menunjukkan sifat tertentu dalam keadaan tetap. Proses isothermal berarti suhu T tetap, proses isobaric maka tekanannya tetap dan proses adiabatic dimana tidak ada pertukaran panas dengan sekelilingnya.

6.5 Tekanan (*Pressure*)

Tekanan adalah gaya normal yang bekertja per satuan luas. Tekanan absolut adalah tekanan relatif yang diukur terhadap vakum. Tekanan sering diukur pada tekanan atmosfer. Dalam termodinamika tekanan absolut ditulis dengan huruf P. Tekanan bervariasi terhadap tinggi z karena gravitasi.

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g = -\gamma$$

Prinsip ini digunakan dalam manometer. Manometer digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan. Manometer terdiri dari pipa U dengan fluida, yang menghubungkan dua bagian A dan B. Ketika terjadi perbedaan antara A dan B, maka ketinggian fluida h_A dan h_B tidak akan sama. Korelasi antara tekanan di A dan B ditunjukkan oleh:

$$P_A - P_B = \rho g(h_A - h_B) = \gamma(h_A - h_B)$$

6.6 Energi

Salah satu hukum dasar adalah prinsip konservasi energi. Faktanya, ini adalah hukum termodinamika yang pertama. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat diubah bentuknya. Energi dapat dibedakan menjadi bermacam-macam, seperti energi kinetic, energi potensial, energi thermal, dan lain-lain.

Jumlah seluruh energi ini disebut energi total E. Energi total per satuan massa adalah $e=E/m$. Semua jenis energi dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu makroskopis dan mikroskopis. Bentuk energi makroskopis tergantung pada kerangkanya. Sebagai contoh energi kinetik dan energi potensial. Bentuk energi mikroskopis berkaitan dengan struktur molekul sistem. Jumlah semua bentuk energi mikroskopis dalam sebuah sistem disebut energi dalam (U).

6.6.1 Energi Makroskopis

Sebagai contoh dapat diambil energi kinetis. Besarnya energi kinetis ditentukan oleh besarnya gerak partikel yang dirumuskan dengan persamaan:

$$KE = \frac{1}{2}mv^2; \quad ke = \frac{1}{2}v^2$$

KE adalah energi kinetis total, sedangkan ke adalah energi kinetis per satuan massa.

Energi potensial yang disebabkan oleh lingkungan gravitasi dinyatakan dengan persamaan di bawah ini:

$$PE = mgz; \quad pe = gz$$

PE adalah energi potensial gravitasi total, sedangkan pe adalah energi potensial gravitasi per satuan massa.

Jika energi lain seperti energi listrik dan magnetik serta energi lainnya, maka energi totalnya menjadi:

$$E = U + KE + PE = U + \frac{1}{2}mv^2 + mgz;$$

$$e = u + ke + pe = u + \frac{1}{2}v^2 + gz$$

6.6.2 Energi Mikroskopis

Energi mikroskopis dapat dipelajari dari molekul suatu zat. Ketika molekul bergerak, maka akan terbentuk energi. Energi ini disebut energi sensibel. Gaya dalam bekerja antara molekul. Jika energi yang cukup ditambahkan, energi dalam dapat meresponnya. Kondisi ini dapat menyebabkan perubahan fase (contoh: cairan menjadi gas). Ketika fase kembali berubah, energi dilepaskan kembali. Energi yang berkaitan dengan perubahan fase ini disebut energi laten. Dalam kehidupan sehari-hari menunjukkan energi sensibel dan laten sebagai panas. Energi kimia berkaitan dengan ikatan molekul.

6.6.3 Transformasi Energi

Energi dapat ditransformasikan antar sistem melalui banyak cara. Panas adalah bentuk energi yang ditransformasikan antar sistem akibat adanya perbedaan suhu. Jika tidak ada perpindahan panas dalam sebuah proses, maka proses tersebut disebut sebagai proses adiabatik. Panas dapat dipindahkan melalui 3 mekanisme. Perpindahan panas **konduksi** terjadi karena interaksi antar partikel yang berdekatan. **Konveksi** adalah perpindahan panas antar permukaan benda padat dengan fluida yang bergerak. **Radiasi** adalah perpindahan panas karena adanya emisi gelombang elektromagnetik.

Kerja W adalah perpindahan energi yang disebabkan oleh gaya yang bekerja dalam jarak tertentu. Kerja yang dilakukan per satuan waktu disebut daya. Kerja yang dilakukan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$W = \int_1^2 F ds$$

Dimana s adalah jarak perpindahan. Ketika poros berputar karena adanya torsi, maka kerja yang dilakukan sebesar:

$$W_{\text{shaft}} = \int_1^2 T d\theta$$

Dimana θ sudut putaran poros. Contoh lain adalah pegas. Gaya pegas sangat dipengaruhi oleh penyimpangannya (*displacement*). Gaya pegas dapat dihitung dengan persamaan:

$$W_{\text{spring}} = \int_1^2 F ds = \int_1^2 kx dx = \frac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2)$$

Sejumlah massa yang masuk ke dalam sistem dapat memicu timbulnya energi dalam, sehingga energi total sistem meningkat. Ketika massa dihilangkan, maka energi total mengalami penurunan.

6.6.4 Energi Mekanis

Energi mekanik adalah bentuk energi yang dapat dikonversi menjadi kerja. Energi kinetik dan potensial merupakan bentuk energi mekanik, bukan energi thermal. Tekanan bukan energi, tetapi dapat menghasilkan kerja, dan disebut sebagai *flow work*. Besarnya energi mekanik dinyatakan sebagai berikut:

$$e_{\text{mech}} = \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 + gz$$

6.6.5 Performa Mesin

Performa sebuah sistem biasanya dinyatakan dalam bentuk efisiensi. Efisiensi adalah output yang diinginkan dibandingkan dengan input yang diperlukan. Efisiensi menunjukkan seberapa baik sebuah mesin bekerja. Efisiensi sebuah sistem dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\text{efficiency} = \eta = \frac{\text{desired output}}{\text{required input}} = 1 - \frac{\text{loss}}{\text{required input}}$$

Efisiensi pembakaran dan efisiensi mekanis didefinisikan sebagai berikut:

$$\eta_{\text{combustion}} = \frac{\text{heat released during combustion}}{\text{heating value of the fuel burned}}$$

$$\eta_{\text{mechanical}} = \frac{\text{mechanical energi output}}{\text{mechanical energi input}}$$

6.7 Kualitas Campuran

Cairan jenuh memiliki volume spesifik tertentu (v_f). Uap jenuh juga memiliki volume spesifik (v_g). Perubahan volume spesifik (v_{fg}) didefinisikan menjadi:

$$v_{fg} = v_g - v_f$$

Enthalpy penguapan (panas laten penguapan) didefinisikan sebagai:

$$h_{fg} = h_g - h_f$$

Pada titik kritis, v_{fg} dan h_{fg} memiliki nilai nol. Selama penguapan ada campuran cairan dan uap. Kualitas campuran x didefinisikan sebagai:

$$x = \frac{m_{uap}}{m_{total}}$$

Volume spesifik rata-rata campuran dinyatakan dengan persamaan:

$$v_{avg} = \frac{(m_{liquid})(v_f) + (m_{vapor})(v_g)}{m_{total}}$$

Kualitas campuran dinyatakan dengan persamaan:

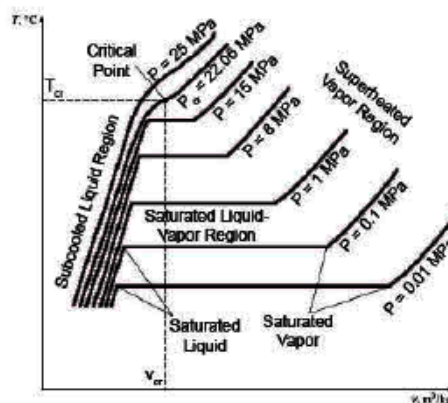
$$x = \frac{v_{avg} - v_f}{v_{fg}}$$

Energi dalam dan entalpi rata-rata campuran dinyatakan dengan persamaan:

$$u_{avg} = u_f + xu_{fg}; \quad h_{avg} = h_f + xh_{fg}$$

6.8 Diagram T - v

Variasi sifat selama proses perubahan fase dapat dipelajari dari pemahaman terhadap diagram sifat, yaitu diagram T-v, P-v dan P-T. Diagram T-v untuk air ditunjukkan oleh **Gambar 38** di bawah ini.



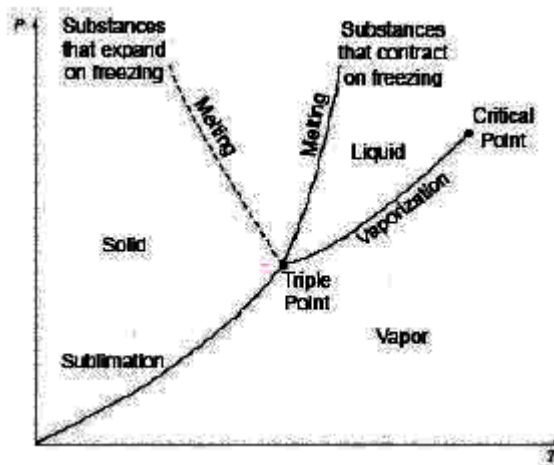
Gambar 38. Diagram temperature versus specific volume

Penguapan air pada tekanan rendah, masih ada daerah *liquid-vapor* jenuh. Daerah ini disebut daerah *liquid-vapor* jenuh. Daerah sebelah kiri disebut cairan *subcooled* dan sebelah kanan adalah uap *superheat*. Garis yang menghubungkan titik-titik jenuh dinamakan garis cairan jenuh. Garis ini memisahkan daerah cairan *subcooled* dari daerah *liquid-vapor* jenuh. Garis yang menghubungkan titik uap jenuh dinamakan garis garis uap jenuh. Titik dimana dua garis bertemu disebut titik kritis. Titik ini yang menghubungkan suhu kritis T_{cr} , tekanan kritis P_{cr} dan volume spesifik kritis v_{cr} . Diagram P-v sangat mirip dengan diagram T-v. Meskipun v mengalami kenaikan

seiring dengan peningkatan T, volume spesifik mengalami penurunan seiring dengan peningkatan P.

6.9 Diagram P - T

Pada tekanan rendah memungkinkan benda padat menjadi gas tanpa menjadi cair terlebih dahulu. Sedangkan pada tekanan tinggi (lebih tinggi dari tekanan kritis), cairan dapat kembali menjadi gas tanpa transisi yang jelas. Yang paling menarik dari **Gambar 39** adalah *triple point*. Titik ini adalah titik dimana ketiga fase dalam keadaan seimbang.



Gambar 39. Diagram showing the phase of a pure substance, given its pressure and temperature.

Diagram P-v-T berbentuk tiga dimensi yang terdiri dari permukaan P-v-T. Dengan menggunakan permukaan ini memungkinkan untuk menentukan satu dari tiga sifat.

6.10 Persamaan Sifat

Terkadang lebih tepat menggunakan persamaan untuk menyelesaikan sifat zat. Beberapa persamaan yang berkaitan dengan tekanan, suhu, dan volume spesifik zat dinamakan persamaan kedudukan. Persamaan kedudukan yang paling lazim digunakan adalah persamaan kedudukan gas ideal yaitu:

$$Pv = RT$$

Untuk gas dengan volume spesifik tinggi lebih akurat. Persamaan ini dapat dibuat lebih akurat dengan menggunakan factor kompresibilitas Z yang didefinisikan sebagai:

$$Z = \frac{Pv}{RT}$$

$$P_R = \frac{P}{P_{cr}}; \quad T_R = \frac{T}{T_{cr}}$$

Setiap jenis gas, faktor Z hanya tergantung pada tekanan dan suhu. Ada beberapa persamaan kedudukan, seperti persamaan kedudukan Van der Waals, Beattie-

Bridgeman, Benedict-Webb-Rubin dan Virial. Semua persamaan kedudukan di atas memiliki koefisien tertentu yang diperoleh melalui pengujian.

6.11 Sistem Tertutup

Sistem tertutup adalah sistem yang tidak memungkinkan pertukaran massa dengan sekelilingnya. Interaksi energi dengan sekeliling masih memungkinkan dengan perpindahan panas dan kerja.

$$\Delta E = E_{in} - E_{out} = Q_{in} + W_{in} - Q_{out} - W_{out}$$

$$\Delta E = Q - W \quad \Leftrightarrow \quad \Delta e = q - w$$

Jika nilai Q atau W negative berarti arah yang diasumsikan salah. Kerja adalah gaya dikalikan dengan jaraknya. Gaya berasal dari tekanan dalam sistem. Jarak muncul karena batas sistem bergerak. Kerja terjadi jika ada kompresi atau ekspansi sistem. Kerja yang dilakukan oleh batas sistem adalah:

$$\partial W_b = Fds = PAds = PdV; \quad W_b = \int_1^2 pdV$$

Dimana V adalah volume sistem. Kerja batas dilakukan selama proses per satuan massa adalah area di bawah diagram P-v. Selama proses, tekanan dan volume dihubungkan dengan persamaan:

$$Pv^n = C$$

Proses tersebut dinamakan proses polytropic. Dengan menggunakan hubungan ini kerja batas menjadi lebih presisi, $P = CV^{-n}$. efisiensi politropik diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\eta_{polytropic} = \frac{\frac{\gamma}{(\gamma - 1)}}{\frac{n}{(n - 1)}} \text{ jika } p \text{ turun}$$

$$\eta_{polytropic} = \frac{\frac{n}{(n - 1)}}{\frac{\gamma}{(\gamma - 1)}} \text{ jika } p \text{ naik}$$

6.12 Panas Spesifik

Panas spesifik didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu satuan massa zat sebesar satu derajat Kelvin. Sejumlah energi yang dibutuhkan tergantung pada proses. Jika pemanasan dilakukan pada volume konstan, maka diperlukan panas spesifik pada volume konstan c_v . Jika proses dilakukan pada tekanan konstan, maka diperlukan panas spesifik pada tekanan konstan c_p . Nilai c_v dan c_p adalah:

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad \text{dan} \quad c_p = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_p$$

Pada gas ideal, energy dalam u dan entalpi h hanya tergantung pada suhu. Dengan demikian panas spesifik juga hanya tergantung pada suhu.

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 c_v(T) dT \quad \text{dan} \quad \Delta h = h_2 - h_1 = \int_1^2 c_p(T) dT$$

Biasanya c_v dan c_p tidak diketahui, sehingga nilainya diperoleh dari suhu. Misal nilai c_v pada T_1 dan T_2 maka dapat digunakan nilai rata-ratanya.

$$\begin{aligned} \Delta u &= \frac{c_v T_2 - c_v T_1}{2} (T_2 - T_1) = c_{v,avg} (T_2 - T_1) \quad \text{dan} \quad \Delta h \\ &= c_{p,avg} (T_2 - T_1) \end{aligned}$$

$$dh = du + R dT$$

$$c_p = c_v + R$$

Dimana R adalah konstanta gas ideal, sehingga rasio panas spesifik adalah:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

6.13 Volume Terkontrol

Volume terkontrol adalah volume tetap dalam ruang, dimana masa dapat bergerak. Prinsip-prinsip konservasi massa dalam colume terkontrol adalah:

$$\Delta m = m_{in} - m_{out}$$

Laju aliran massa \dot{m} adalah massa yang mengalir melalui luas penampang per satuan waktu. Jika massa mengalir dalam pipa atau saluran, maka dapat ditentukan aliran massanya:

$$\dot{m} = \int_{A_c} \rho v_n dA_c = \rho v_{n,avg} A_c$$

Dimana A_c adalah luas penampang pipa, v_n kecepatan normal aliran. Dengan cara yang sama dapat diperoleh laju aliran volume, \dot{V} :

$$\dot{V} = \int_{A_c} v_n dA_c = v_{n,avg} A_c = \dot{m} v$$

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}$$

6.14 Energi Fluida yang Mengalir

Hal yang menarik dalam volume terkontrol adalah massa dapat masuk ke dalam sistem. Untuk menentukan energi yang harus ditambahkan ke dalam sistem, maka perlu diketahui energi spesifik e yang terdiri dari energy dalam spesifik, energy kinetic spesifik, dan energi potensial spesifik. Aliran kerja yang harus didorong masuk system memiliki nilai:

$$W_{\text{flow}} = PV \quad \text{atau} \quad w_{\text{flow}} = Pv$$

Energi total dari fluida yang mengalir per satuan massa adalah:

$$\theta = w_{\text{flow}} + e = Pv + u + \frac{1}{2}V^2 + gz = h = \frac{1}{2}V^2 + gz$$

6.15 Transformasi Panas-Kerja

6.15.1 Reservoir

Reservoir energy thermal sebagai hipotesis yang menyerap dan menyuplai panas tanpa disertai perubahan suhu. Reservoir menyuplai energi dalam bentuk panas yang disebut sebagai sumber.

6.15.2 Heat Engines

Kerja dapat diubah menjadi panas. Sebuah alat yang mengubah panas menjadi kerja dinamakan *heat engine*. Sebuah *heat engine* menerima panas dari sumber suhu tinggi Q_H . Mesin tersebut mengubah panas menjadi kerja W_{out} . Panas yang tersisa Q_L dibuang pada suhu rendah.

$$W_{\text{out}} = Q_H - Q_L$$

The thermal Efisiensi termal η_{th} sebuah *heat engine* dapat dihitung dengan menggunakan

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{W_{\text{out}}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

Seandainya memungkinkan sebenarnya diharapkan Q_L bernilai nol, sayangnya hal tersebut tidak mungkin. Hal ini disebabkan oleh tidak mungkin sebuah peralatan menerima heat reservoir tunggal dan memproduksi kerja (Pernyataan Kelvin-Plank). Perbandingan Q_L/Q_H sebaiknya sekecil mungkin.

6.15.3 Refrigerators and Heat Pumps

Heat engine menggunakan suhu untuk menghasilkan kerja. Pada sisi yang lain, pemakaian kerja untuk mengatur suhu. Mesin refrigerator adalah sebuah peralatan yang meneruskan panas dari daerah bersuhu rendah ke daerah yang bersuhu tinggi. Kerja dapat ditambahkan ke sistem untuk mendapatkan pengaruh yang diinginkan. *Heat engine* menghasilkan kerja, sedangkan refrigerator memerlukan kerja W_{in} . Arah perpindahan panas terbalik. Sejumlah panas Q_L berasal dari sumber yang bersuhu rendah setelah sejumlah Q_H hilang ke sumber yang bersuhu tinggi.

$$W_{\text{in}} = Q_H - Q_L$$

Untuk memeriksa performa refrigerator tidak digunakan efisiensi, tetapi COP yang didefinisikan sebagai:

$$\text{COP}_R = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{Q_L}{W_{\text{in}}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$

Alasan tidak menggunakan efisiensi karena performa lebih besar dari 1, sedangkan efisiensi kurang dari 1. Peralatan yang serupa dengan *refrigerator* adalah *heat pump*. *Refrigerator* mempertahankan sumber suhu rendah tetap dingin, sedangkan pada *heat pump* berfungsi mempertahankan ruangan tetap hangat. Koefisien performa *heat pump* dinyatakan dengan:

$$\text{COP}_{\text{HP}} = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{Q_H}{W_{\text{in}}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}} = \text{COP}_R + 1$$

6.16 Proses Reversibel

Proses reversible adalah proses yang dapat kembali lagi tanpa meninggalkan jejak di sekelilingnya. Sedangkan proses yang tidak dapat kembali lagi disebut *proses irreversible*. Proses *reversible* biasanya lebih efisien daripada proses *irreversible*. Faktor yang menyebabkan proses menjadi *irreversible* disebut *irreversibilities*. Irreversibility biasa disebut gesekan. Perpindahan panas karena perbedaan suhu menyebabkan proses *irreversible*. Sebuah proses disebut *internally reversible* jika *irreversibilities* tidak terjadi dalam batas sistem selama proses. Sebuah proses disebut *externally reversible* jika *irreversibilities* tidak terjadi di sekitar sistem.

6.16.1 Siklus Carnot

Proses *reversible* adalah proses yang paling efisien. Sebagai contoh proses *reversible* adalah siklus Carnot. Siklus ini terdiri dari 4 tahapan *reversible*. Pertama *heat engine* dihubungkan ke sumber energi pada suhu T_H , yang menyebabkan ekspansi isothermal. Sumber energi digantikan dengan isolasi yang menyebabkan ekspansi adiabatik. Setelah itu, isolasi dilepaskan dan energi pada suhu T_L dihubungkan dengan *heat engine*. Hal ini menyebabkan kompresi isothermal. Akhirnya, energi digantikan dengan isolasi yang menyebabkan kompresi adiabatik. Dalam siklus ini, panas dialirkan dari sumber energi (pada T_H) ke energi (pada T_L) menghasilkan kerja W_{out} . Kerja yang ditambahkan ke sistem untuk mengantarkan panas dari sumber energi baru T_L ke T_H .

6.16.2 Kualitas Energi

Efisiensi tergantung pada suhu sumber sistem. Efisiensi sangat dipengaruhi oleh faktor Q_H/Q_L . Untuk proses *reversible* dapat dinyatakan:

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{\phi(T_H)}{\phi(T_L)}$$

Dimana $\phi(T)$ adalah fungsi tidak yang diketahui. Biasanya fungsi ini diasumsikan menjadi $\phi(T) = T$ yang menghasilkan:

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{(T_H)}{(T_L)}$$

This makes the efficiency of a Carnot heat engine (the so-called Carnot efficiency)

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Koefisien performa refrigerator Carnot dinyatakan dengan:

$$\text{COP}_R = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

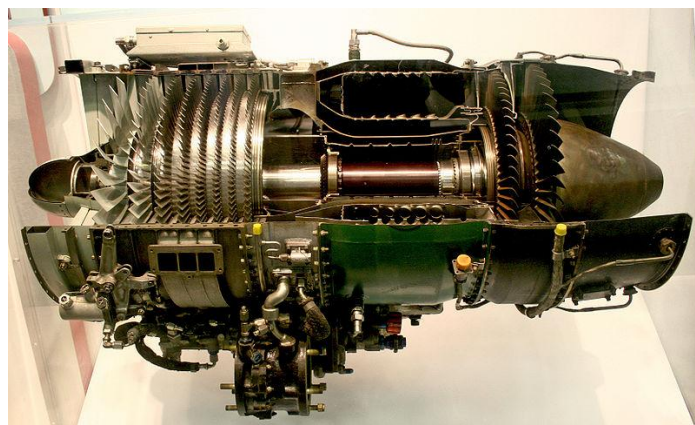
BAB VII MATERIAL UNTUK REKAYASA STRUKTUR

Material memegang peranan penting dalam kehidupan manusia, baik material yang diperoleh dari alam semesta maupun hasil rekayasa lanjut oleh manusia. Material tersebut banyak digunakan dalam bangunan, mesin atau produk lainnya.

Bahan mentah diambil dari alam semesta melalui proses penambangan kemudian diolah menjadi bahan baku. Penggunaan material harus memperhitungkan kebutuhan energi dan pengaruhnya terhadap lingkungan sekitar. Untuk itu dibutuhkan kematangan dalam merumuskan kebijakan produksi dan kajian teknologinya. Hal ini didasari oleh semakin menipisnya cadangan energi nasional dan kesadaran masyarakat akan pentingnya lingkungan yang sehat.

Ilmu material adalah ilmu yang mempelajari korelasi antara struktur material dan sifat yang dimilikinya. Sedangkan teknologi material mempelajari korelasi struktur dan sifatnya, mendesain dan merekayasa struktur material untuk menghasilkan sifat yang diinginkan. Seiring dengan waktu dan tuntutan perubahan jaman, maka kedua pokok keilmuan tersebut melebur menjadi satu yakni ilmu dan teknologi material.

Ilmu dan teknologi bahan meliputi pengembangan dan penerapan pengetahuan mengenai hubungan antara komposisi, struktur dan pemrosesan bahan dengan sifat dan pemakaiannya (Djaprie, 1994). **Gambar 40** di bawah ini menunjukkan sebuah turbojet engine yang menunjukkan keragaman penggunaan material dalam satu mesin. Tentunya akan berbeda antara material satu dengan material lainnya tergantung dari fungsi dan kondisi layanan setiap komponen mesin tersebut.



Gambar 40. Turbojet Engine J85-GE-17A

Seorang insinyur dalam merancang sebuah sistem mekanikal selalu dihadapkan pada banyaknya pilihan material. Kemampuan memilih material dan proses yang tepat dapat meningkatkan optimasi sebuah produk. Kondisi layanan, kekuatan, tingkat keamanan, kenyamanan dan faktor lingkungan harus mendapat perhatian serius ketika merancang. Untuk itu menjadi sebuah kelaziman jika seorang insinyur harus memiliki pengetahuan yang cukup tentang sifat dan perilaku material.

7.1 Klasifikasi Material

Berdasarkan karakteristiknya, material dapat diklasifikasikan menjadi 5 kelompok besar, antara lain:

1. Logam dan paduannya,
2. Keramik dan kaca,
3. Polimer/plastik,
4. Semikonduktor, dan
5. Komposit.

Kelima kelompok material tersebut memiliki struktur mikro dan sifat yang beragam. Berikut ini adalah uraian secara singkat terhadap 5 kelompok material tersebut.

7.1.1 Logam dan Paduannya

Material yang dikelompokkan ke dalam logam adalah aluminum, baja, magnesium, seng, titanium, tembaga, nikel dan lain sebagainya. Secara umum, logam memiliki konduktifitas thermal dan listrik yang baik. Sifat lain adalah logam memiliki kekuatan, kekakuan, keuletan yang relatif tinggi, kemampuan dibentuk dan ketahanannya terhadap benturan cukup baik. Material logam pada umumnya merupakan kombinasi dari elemen metalik. Beberapa sifat logam berkaitan langsung dengan unsur-unsur paduannya.



Gambar 41. Aplikasi material logam di bidang teknik

7.1.2 Keramik dan Kaca

Keramik merupakan material kristalin inorganik yang dapat diperoleh melalui proses alamiah maupun teknologi modern. Pasir pantai ataupun batu karang adalah contoh keramik yang dihasilkan oleh perilaku alam. Keramik yang diolah secara tradisional banyak digunakan untuk pembuatan bata merah, closet, batu tahan api atau material abrasif lainnya.

Keramik modern diperoleh melalui proses tertentu. Dalam teknologi modern, keramik banyak digunakan sebagai lapisan substrat chip komputer, actuator, sensor, capacitor, inductor, busi dan insulator listrik lainnya. Keramik juga digunakan untuk lapisan coating pada mesin turbin.

Keramik merupakan senyawa dari unsur metalik dengan non-metalik, seperti oksida, nitrida, dan karbida. Keramik bersifat insulatif terhadap listrik dan panas, memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan pengaruh lingkungan jika dibandingkan dengan logam maupun polimer. Karakteristik keramik yang paling menonjol adalah kekerasannya yang sangat tinggi dan sangat getas.



Gambar 42. Produk dengan bahan dasar keramik dan kaca

Kaca adalah jenis material amorphous. Amorphous adalah material yang tidak memiliki keteraturan atom secara periodik. Industri *fiber optic* merupakan salah satu bentuk dari *high-purity silica glass*. Kaca juga digunakan di rumah tangga, mobil, layar televisi maupun komputer. Kaca dapat diberikan perlakuan secara thermal untuk meningkatkan kekuatannya. Kaca dan kaca-keramik dapat diproses melalui *melting* maupun *casting*.

7.1.3 Polimer

Polimer dalam kesehariannya disebut plastik. Polimer merupakan jenis material organik yang diperoleh melalui proses polimerisasi. Polimer memiliki ketahanan listrik, termal dan korosi yang sangat baik. Meskipun polimer memiliki kekuatan yang tidak terlalu tinggi, akan tetapi sangat baik terhadap rasio kekuatan dan berat (*strength-to-weight ratio*). Polimer tidak cocok digunakan pada lingkungan bersuhu tinggi. Polimer dapat digunakan untuk pembuatan rompi anti peluru, *compact disk* (CD), *liquid crystal display* (LCD), kain hingga cangkir.

Polimer dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu: *thermoplastic* dan *thermosetting*. Polimer *thermoplastic* merupakan rantai molekul yang panjang dan tidak terikat secara kaku, memiliki keuletan dan kemampuan dibentuk yang sangat baik. Sedangkan polimer *thermosetting* lebih kuat tetapi getas karena rantai molekul bertautan dengan sangat kuat. Berikut ini adalah contoh penggunaan plastic dalam kehidupan sehari-hari.



Gambar 43. Aplikasi polimer dalam sebuah produk

7.1.4 Semikonduktor

Semikonduktor dengan bahan dasar *silicon*, *germanium* dan *gallium* banyak digunakan dalam pembuatan komponen elektronik maupun komputer. Konduktifitas elektrik semikonduktor berada di antara insulator keramik dan konduktor metalik. Pada beberapa semikonduktor, derajat konduktifitas dapat dikendalikan oleh perangkat lain, seperti transistor, diode dalam sebuah *integrated circuit* (IC).



Gambar 44. Perangkat semikonduktor

7.1.5 Komposit

Komposit merupakan perpaduan dari dua atau lebih material yang membentuk sifat baru yang tidak dimiliki oleh material ketika berdiri sendiri. Beton, plywood dan fiberglass merupakan jenis komposit yang banyak kita jumpai sehari-hari. Fiberglass dibuat dengan menyebarkan serat gelas pada matriks polimer. Serat gelas inilah yang menyebabkan polimer menjadi lebih kaku tanpa meningkatkan densitasnya. Pesawat komersial dan ruang angkasa saat ini banyak menggunakan material komposit, seperti

carbon-fiber-reinforced polymer. Peralatan olahraga seperti sepeda, tongkat golf dan raket tennis terbuat dari komposit yang memadukan sifat ringan dan kekakuan. Berikut ini adalah contoh produk yang dihasilkan dari komposit.



Gambar 45. Produk dengan bahan komposit

7.2 Klasifikasi Fungsional Material

Klasifikasi material dapat dibedakan berdasarkan fungsional ketika sistem tersebut beroperasi. Fungsional sebuah komponen akan berpengaruh terhadap pemilihan material yang tepat. Dari pengalaman dan kebutuhan teknologi, maka sebuah komponen harus memiliki fungsi mekanikal, biological, electrical, magnetical dan optical.

Aerospace. Material ringan seperti kayu dan paduan aluminum digunakan dalam sejarah penerbangan Wright bersaudara. Pesawat ruang angkasa menggunakan serbuk aluminum sebagai roket penggerak. Paduan aluminum, plastik maupun silica banyak digunakan sebagai *space shuttle tile*.

Biomedical. Tulang dan gigi manusia terbentuk secara alamiah dari *hydroxyapatite*. Sejumlah organ buatan seperti pengganti tulang, *cardiovascular stent*, *orthodontic braces*, dan komponen lain dibuat menggunakan plastik, paduan titanium, baja tahan karat non-magnetik.

Electronic Material. Barium titanate (BaTiO_3), tantalum oxide (Ta_2O_5) dan material dielektrik lainnya digunakan untuk membuat kapasitor keramik dan perangkat lainnya. Superconductor digunakan dalam pembuatan *powerful magnet*. Tembaga, aluminum dan logam lainnya digunakan sebagai transmisi daya dan *microelectronic* lainnya.

Energy and Environmental Technology. Material uranium oxide dan plutonium digunakan sebagai bahan bakar dalam industri nuklir. Baja tahan karat dan kaca digunakan untuk menangani material nuklir dan limbah radioaktif. Material untuk pembuatan baterai dan *fuel cell* dapat digunakan keramik, seperti zirconia (ZrO_2) dan plastik. Teknologi baterai memiliki peranan penting untuk memenuhi kebutuhan perangkat elektronik yang memerlukan daya lebih lama dan portable. Industri perminyakan menggunakan zeolite, alumina dan material lainnya sebagai *catalyst substrate*.

Magnetic Material. *Hard disk* computer, kaset video dan audio dibuat dari keramik, logam dan polimer. Partikel *iron oxides* atau *gamma iron oxides* ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) didepositkan pada substrat polimer dalam pembuatan *audio cassette*. *High-purity iron particle* dimanfaatkan untuk pembuatan *video tape*. *Hard disk* komputer dapat dibuat dari paduan antara *cobalt-platinum-tantalum-chromium* (Co-Pt-Ta-Cr). Beberapa magnetic ferrite dapat digunakan untuk membuat inductor dan komponen komunikasi nirkabel. Sedangkan inti transformator terbuat dari baja berbasis besi dan silicon.

Optical Material. Silica banyak digunakan dalam pembuatan serat optik. Material optik digunakan untuk pembuatan alat pendeteksi semikonduktor dan laser yang digunakan dalam sistem komunikasi. Alumina (Al_2O_3) dan *yttrium aluminum garnet* (YAG) digunakan untuk pembuatan laser. Silicon amorphous digunakan dalam pembuatan sel surya dan *photovoltaic modul* dan polimer untuk pembuatan LCD.

Smart Material. Smart material sangat sensitif terhadap stimulan eksternal, perubahan suhu, tegangan, kelembaban dan lingkungan. Sehingga material ini cocok untuk sensor dan actuator yang peka terhadap perubahan. Smart material seperti *lead zirconium titanate* (PZT) yang dikenai tegangan dapat membangkitkan voltage. Karakteristik seperti ini dimanfaatkan untuk spark generator dan sensor yang mampu mendeteksi keberadaan obyek di bawah air pada industri perikanan dan kelautan.

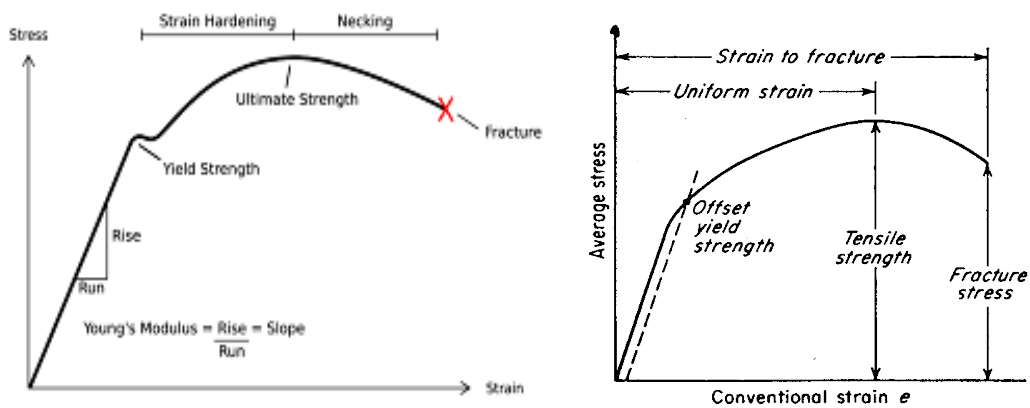
Structural material. Material ini dirancang agar dapat menahan berbagai macam tegangan ketika bekerja. Baja, beton dan komposit digunakan untuk pembuatan jembatan dan gedung. Baja, kaca, palstik dan komposit sudah lazim digunakan di bidang otomotif. Sering kali sebuah struktur membutuhkan kombinasi kekuatan, kekakuan dan ketangguhan pada kondisi pembebanan dan suhu tertentu.

7.3 Sifat Mekanis Material

Sifat mekanis material sangat dipengaruhi oleh struktur mikro dan komposisi penyusunnya. Material ketika mendapatkan gaya maka akan menyebabkan terjadinya tegangan dan terdeformasi. **Tegangan (*stress*)** adalah besaran gaya yang mengenai luasan tertentu sebuah material. Tegangan dapat dikelompokkan menjadi tegangan Tarik, tekan, lentur dan geser. Tegangan dinyatakan dalam satuan psi (*pounds per square inch*) maupun Pa (*Pascal*). **Regangan (*strain*)** adalah perubahan dimensi per satuan panjang. Satuan regangan adalah in/in atau cm/cm. Material yang mendapat **regangan elastis (*elastic strain*)** tidak menunjukkan perubahan yang permanen.

Slope pada kurva tegangan-regangan bersifat linier. Hal ini menunjukkan pada daerah tersebut sebagai modulus Young atau modulus elastistas. **Deformasi plastis** disebut sebagai regangan plastis (*plastic strain*). Ketika tegangan dilepaskan, maka material tidak dapat kembali ke bentuk semula. Laju dimana regangan mengalami

perubahan disebut laju regangan (*strain rate*). Beberapa material ulet dapat mengalami perilaku getas ketika memiliki laju regangan yang tinggi.



Gambar 46. Diagram tegangan-regangan antara bahan ulet dan getas

Material viskos (*viscous material*) adalah regangan yang berkembang melewati periode waktunya dan tidak dapat kembali ke bentuk semula setelah tegangan dilepaskan. **Viscoelastic atau anelastic** adalah material yang memiliki respon antara material viskos dan elastisnya. Dari kurva tegangan-regangan ada beberapa istilah yang perlu diketahui, antara lain:

1. Kekuatan Luluh (*Yield Strength*)
2. Kekuatan Tarik (*Ultimate Strength*)

Ketika sebuah material diberikan gaya, maka material akan mengalami deformasi. Deformasi yang terjadi sebanding dengan besar tegangan yang diberikan. Dalam kondisi seperti ini, material dapat kembali ke bentuk dan dimensi semula ketika tegangan dihilangkan. Perbandingan tegangan dan regangan yang memiliki nilai tetap ini disebut sebagai modulus elastisitas dan dinyatakan sebagai:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Satuan Modulus Elastisitas adalah Pascal (Megapascal, MPa). Besarnya modulus elastisitas dipengaruhi oleh ikatan antar atom. Dalam desain struktur selalu digunakan di daerah proporsional ini.

Kekuatan luluh (*yield strength*) adalah ketahanan material terhadap deformasi plastis. Pada bahan yang lunak memiliki titik luluh yang jelas, sedangkan bahan yang lain tidak memiliki batas proporsional yang jelas. Biasanya batas proporsional benda yang sudah mengalami proses mekanis diambil sebesar offset 0.2%.

Kekuatan tarik (*tensile strength*) adalah tegangan waktu patah. Dalam merancang sebuah struktur maka tegangan harus di bawah kekuatan luluhnya. Di samping itu insinyur juga dapat menghitung tegangan yang sebenarnya (*true stress*)

yakni gaya dibagi dengan luasan sesungguhnya. Dengan demikian material mengalami deformasi plastis sepanjang benda uji dan mencapai nilai maksimum pada daerah susut.

Kekerasan (*hardness*) adalah ketahanan benda terhadap penetrasi pada permukaan material. Kekerasan material dapat dinyatakan dalam kekerasan Brinell, kekerasan Vickers maupun kekerasan Rokwell. **Ketangguhan (*toughness*)** adalah energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu bahan. Untuk mengetahui ketangguhan suatu material digunakan metode Charpy atau Izod.

7.4 Karakteristik Thermal Material

Suhu memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap perilaku material. Suhu adalah derajat thermal sedangkan kandungan kalor disebut energi thermal.

Kapasitas kalor (*heat capacity*) adalah perubahan kandungan kalor per satuan derajat celcius. Kapasitas kalor juga dapat disebut **panas jenis (*specific heat*)** sebagai perbandingan antara kapasitas kalor bahan tersebut dengan kapasitas kalor air. Kapasitas panas air sebesar 4.184 J/g.°C.

Muai panas (*thermal expansion*). Pemuai panas disebabkan oleh peningkatan getaran thermal atom. Besarnya muai panas dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha_T \Delta T$$

α_T adalah koefisien muai linier.

Daya hantar panas (*thermal conductivity*). Panas yang mengalir melalui benda padat terjadi secara konduksi. Koefisien daya hantar panas adalah konstanta (k) yang menghubungkan aliran panas (Q) dengan gradient suhu ($\Delta T/\Delta x$):

$$Q = k \left(\frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} \right)$$

7.5 Karakteristik Elektrik Material

Logam dan semikonduktor dapat menghantarkan muatan listrik bila ditempatkan dalam medan listrik. **Tahanan jenis material (ρ)** dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{1}{\rho} = \sigma = nq\mu$$

Dimana, σ adalah daya hantar listrik, n jumlah pembawa muatan, q besar muatan listrik dan μ mobilitas pembawa muatan.

$$\mu = \frac{\bar{v}}{\varepsilon}$$

Tahanan jenis merupakan sifat bahan sehingga tidak dipengaruhi oleh bentuk bahan. Untuk itu bahan yang memiliki bentuk seragam memiliki tahanan sebesar:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

Sifat dielektrik. Isolator listrik tidak dapat menghantarkan arus listrik, tetapi sangat peka terhadap medan listrik. Medan listrik dinyatakan dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{E}{d}$$

Bila antara dua pelat terdapat ruang kosong, maka rapat muatan D_0 pada tiap pelat sebanding dengan medan listrik (ε). Jika setiap volt/meter medan terdapat muatan sebesar 8.85×10^{-12} coulomb per meter persegi pelat elektroda sebesar:

$$D_0 = \left(8.85 \times 10^{-12} \frac{C}{V.m} \right) \varepsilon$$

Jika di antara pelat diletakkan sebuah bahan (m) maka rapat muatan dapat ditingkatkan dari D_0 menjadi D_m . Perbandingan antara D_m/D_0 disebut konstanta dielektrik (K) sebesar:

$$K = \frac{D_m}{D_0}$$

BAB VIII PEMILIHAN MATERIAL DAN PROSES UNTUK STRUKTUR

Desain sistem mekanikal akan dihadapkan dengan ribuan material yang harus dipilihnya. Kemampuan seorang insinyur untuk dapat mengidentifikasi material dan memperkirakan perilaku material selama melayani kondisi operasional memegang peran penting. Hal ini dimaksudkan agar diperoleh sebuah rancangan yang optimum baik dari sisi desain, konsumsi energi dan nilai ekonomis.

8.1 Perilaku Material

Korelasi antara struktur dan sifat material pada sebuah komponen/struktur dapat dipengaruhi oleh kondisi sekitar. Suhu, pembebanan berulang, beban tiba-tiba, korosi maupun oksidasi dapat menurunkan performa material, bahkan kegagalan. Insinyur desain dan material harus mampu mengantisipasi pengaruh pemakaian produk dan material yang ada dalam produk. Semakin insinyur mengetahui kegagalan tertunda, maka semakin mudah untuk mengendalikan kegagalan dan memodifikasi desainnya.

8.1.1 Creep

Perubahan suhu dapat mengubah sifat material. Sifat baja dan paduannya dapat diperkuat dengan proses laku panas ataupun teknologi pembentukan dapat mengalami penurunan kekuatan jika dipanaskan. Temperature yang tinggi dapat mengubah struktur keramik, dan menyebabkan polimer meleleh. Pada suhu yang sangat rendah, baja atau polimer dapat mengalami kegagalan karena berperilaku getas. Tenggalamnya kapal *Titanic* atau kecelakaan pesawat Challenger (1986) disebabkan penggetasan pada *rubber O-ring*.

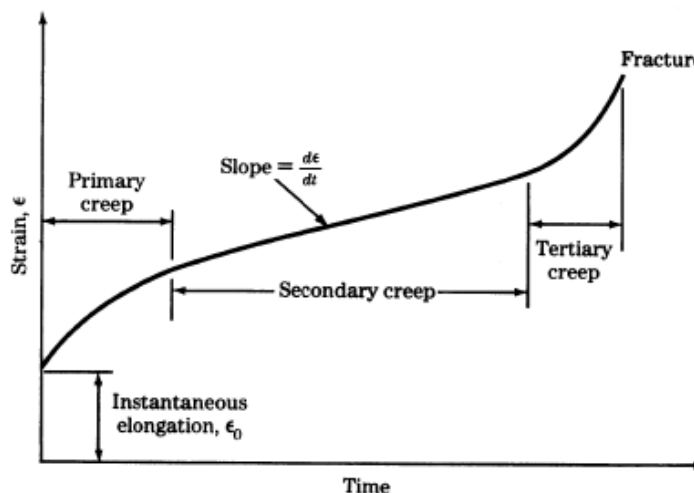
Ketika sebuah material dikenai beban pada suhu tinggi, maka material tersebut bersifat irreversible karena pengaruh deformasi creep. Creep dibedakan dari deformasi suhu rendah. Material yang dikenai beban mengalami elastisitas, dan kadang regangan plastis, tetapi regangan creep sama dengan nol. Total deformasi dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\varepsilon = \varepsilon_{el}(\sigma) + \varepsilon_{pl}(\sigma) + \varepsilon_c(\sigma)$$

Laju regangan diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan di atas menjadi:

$$\varepsilon_c = \int_0^t \dot{\varepsilon} dt$$

Repson creep material dapat dibagi menjadi 3 tahapan: *primary (creep transien)*, *secondary (steady state)* dan *tertiary (final)*.



Gambar 47. Kurva creep material

Meskipun ada 3 tahapan, namun yang digunakan untuk memperhitungkan lamanya layanan komponen adalah tahap secondary. Deformasi selama primary creep tidak dapat diketahui secara baik, tetapi terlihat jelas dari perubahan struktur mikro yang membuat material sulit terdeformasi. Kasus ini tidak seperti pengerasan regangan pada suhu ruangan selama pengujian tarik. Laju regangan biasanya menurun secara konstan. Selama tertiary creep, retakan berkembang dalam struktur mikro, khususnya lubang-lubang kecil (*void*) sepanjang batas butir. Akumulasi void ini akan mempercepat laju regangan dan patah akan segera terjadi.

Tabel 5. Titik luluh beberapa material

Material	T_m (K)	RT/T_m	$T_m/3$ (K)
W	3680	0.08	1200
SiC	3110	0.1	1000
Al ₂ O ₃	2400	0.13	800
Fe	1809	0.16	600
Ni	1726	0.17	580
Cu	1084	0.27	360
Al ₂ O ₃	660	0.45	220
Pb	327	0.91	109
Ice	273	1.1	90

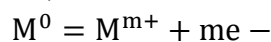
Deformasi pada suhu tinggi menyebabkan material berperilaku berbeda. Perilaku tersebut antara lain: [1] kurva tegangan regangan jenuh, [2] tegangan jenuh tergantung pada suhu dan laju regangan, [3] jika tegangan yang diberikan pada material konstan, maka regangan akan meningkat seiring waktu. Suhu tinggi itu setara

dengan $T/T_m = 0.3$, dimana T_m adalah suhu luluh material. Berikut beberapa contoh material dan suhu luluhnya.

8.1.2 Korosi

Pada suhu tinggi, sebagian besar logam dan polimer dapat bereaksi dengan oksigen atau gas lainnya. Material yang mendapat serangan korosi akan mengalami kegagalan lebih cepat. Insinyur mesin harus mampu memilih material atau proses pelapisan yang dapat mencegah terjadinya reaksi korosi dan memungkinkan suatu material bekerja pada suhu ekstrem.

Korosi adalah sebuah proses deteriorasi permukaan pada logam dan material terkait. Perubahan tersebut disebabkan oleh logam (M) kehilangan elektron dan berubah menjadi positif.



Korosi akan terhenti jika [1] hubungan listrik terputus, [2] reaktan katoda habis dan [3] produk reaksi anoda ($M^{m+} + me^-$) jenuh.

Suhu dan konsentrasi larutan kimia memegang peranan penting dalam proses korosi. Semakin tinggi temperature dan konsentrasi larutan, maka semakin tinggi laju korosinya. Potensial listrik tergantung pada konsentrasi elektrolit. Pada suhu 25°C, potensial listrik dapat dihitung dengan persamaan Nernst.

$$E = E_0 + \frac{0.0592}{n} \log(C_{ion})$$

Dimana, E adalah potensial listrik dalam larutan yang berisi konsentrasi C_{ion} (dalam mol) sebuah logam, n adalah valensi ion metalik, dan E_0 adalah potensial electrode standar dalam larutan 1-M.

Korosi logam diklasifikasikan menjadi 8 jenis, yaitu: *uniform, galvanic, crevice, pitting, inter-granular, selective leaching, erosion-corrosion, dan stress corrosion*.

Uniform corrosion: korosi elektrokimia terjadi pada permukaan material sebagai hasil dari pembentukan kerak atau lapisan film. Korosi seragam mudah untuk diamati dan tidak terlalu bahaya dibandingkan jenis korosi yang lainnya. Pengecatan permukaan adalah langkah untuk mengurangi laju korosinya.

Galvanic corrosion: korosi ini terjadi ketika dua logam memiliki komposisi yang berbeda dan terhubung secara elektrik di dalam larutan elektrolit. Laju korosi tergantung pada luasan permukaan *anode-to-cathode* relatif yang terkena *electrolyte*.

Crevice corrosion: korosi ini terjadi sebagai akibat perbedaan konsentrasi antara dua tempat pada logam yang sama. Korosi ini dapat dicegah jika menghindari perbedaan konsentrasi, seperti membuang endapan (*deposits*) dan menghindarkan dari area yang stagnan.

Pitting Corrosion: Korosi ini terjadi dalam arah normal terhadap permukaan yang terbuka dan sulit dimonitor. Korosi ini sangat berbahaya karena material tidak dapat dideteksi sehingga kegagalan terjadi. Langkah yang dapat ditempuh adalah dengan memoles permukaan.

Inter-granular corrosion: Korosi ini karena perbedaan konsentrasi, tetapi pada batas butir yang biasanya memiliki komposisi yang berbeda dengan butirnya. Batas butir sangat rentan terhadap serangan korosi. Bentuk korosi ini sangat hebat pada baja tahan karat (*stainless steels*). Material dapat dilindungi dengan laku panas, penurunan kandungan karbon, penambahan unsur paduan yang cepat membentuk *carbide*.

Selective leaching: Adalah kecenderungan pelepasan paduan padat oleh proses korosi. Sebagai contoh adalah pelepasan zinc dari kuningan. Hal ini terjadi karena kehilangan Ni, Sn dan Cr dari paduan tembaga. Fe dari besi tuang, dan Ni dari paduan baja. Sebagai akibatnya adalah sifat mekanis komponen menjadi rusak sebagaimana komponen menjadi *porous*. Cara menghindarinya adalah dengan mengubah komposisi dan lingkungan serta proteksi katodik.

Erosion-corrosion: Dapat didefinisikan sebagai percepatan serangan korosi dalam logam karena gerak relatif fluida korosif dan permukaan logam. Kombinasi antara serangan korosif dan keausan/abrasive inilah terjadi akselerasi korosi. Untuk melindungi material dari korosi ini dapat dilakukan perubahan desain, pemilihan logam untuk komponen yang berbeda, pelepasan partikel dan gelembung yang memicu pengaruh erosi.

Stress corrosion: Korosi jenis ini disebut sebagai *stress corrosion cracking (SCC)* sebagai hasil aksi gabungan antara tegangan tarik yang bekerja dan lingkungan korosif. Selama SCC, permukaan logam biasanya diserang sedikit selagi perambatan letak terlokalisir sangat tinggi. Tegangan yang menyebabkan SCC adalah tegangan sisa. Metode terbaik untuk mencegahnya adalah mengurangi tegangan eksternal, mengurangi lingkungan yang merusak, mengubah unsur paduan jika lingkungan atau derajat tegangan tidak bias dilakukan, proteksi katodik dan penambahan *inhibitor*.

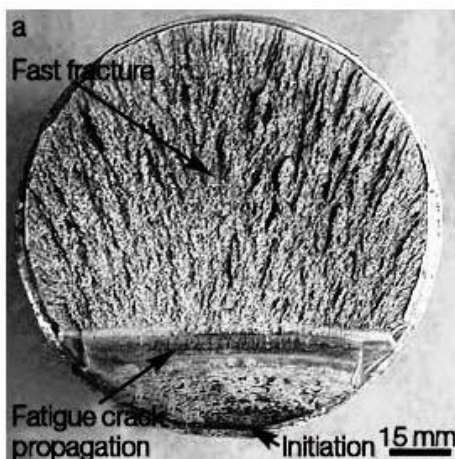
Hydrogen embrittlement lebih tepat disebut kegagalan jika dibandingkan dengan korosi. Kegagalan ini disebabkan oleh hidrogen yang dihasilkan oleh korosi. Atom hidrogen yang dihasilkan selama korosi berdifusi secara interstisial ke dalam kisi kristal dan mempengaruhi gerak dislokasi yang akhirnya mengalami kegagalan. Metode yang dapat digunakan untuk mengurangi *hydrogen embrittlement* adalah memberikan laku panas untuk mengurangi kekuatan paduan, membuang sumber *hydrogen*; memanggang untuk mengeluarkan hidrogen yang terlarut.

8.1.3 Fatik

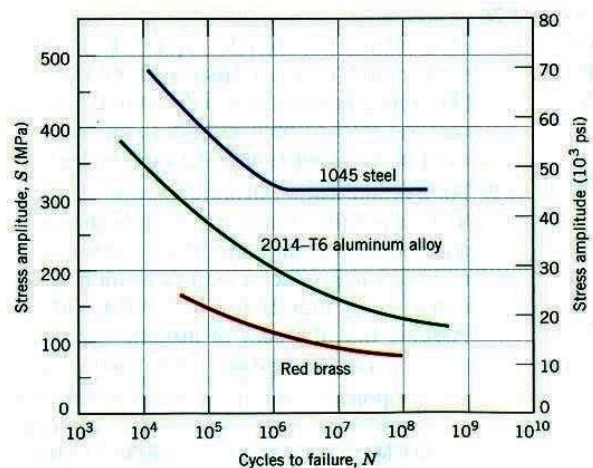
Sebuah poros yang menerima tegangan siklik dapat mengalami kegagalan lelah dalam waktu tertentu. Bahkan, poros dengan beban statis pun dapat gagal ketika berada dalam lingkungan lembab dan reaktif. Perpatahan tertunda yang terjadi akibat pembebanan berulang dan berfluktuasi dalam waktu yang sangat lama disebut kegagalan lelah (*fatigue failure*). Kegagalan tetap dapat terjadi meskipun tegangan yang bekerja jauh di bawah tegangan tariknya. Kegagalan fatik dapat terjadi tanpa ada deformasi plastis dan tanpa peringatan.

Permukaan patahan memiliki kontur yang halus dan menunjukkan adanya garis pantai (*beach mark*). Desain mesin seperti poros ada kalanya membutuhkan pembebanan siklik, dari tarik menjadi tekan dan sebaliknya. Fatik juga terjadi akibat tegangan yang berfluktuasi. Ada 3 faktor dasar yang dapat menjadi penyebab kegagalan fatik, antara lain: tegangan tarik maksimum, variasi fluktuasi tegangan dan yang bekerja cukup tinggi. Di samping 3 faktor dasar tersebut, kegagalan fatik juga dapat dipicu oleh faktor-faktor tambahan sebagai berikut:

1. Lingkungan (vacuum, kelembaban relatif, korosi),
2. Konsentrasi tegangan,
3. Suhu,
4. Finishing permukaan material,
5. Fenomena creep,
6. Keausan,
7. Pembebanan berlebih,
8. Tegangan sisa, dan
9. Tegangan gabungan.



Gambar 48. Penampang muka patahan fatik



Gambar 49. Pengaruh amplitudo tegangan terhadap umur lelah material

Kegagalan fatik mengalami beberapa tahapan sebelum akhirnya patah (*fracture*). Tahapan tersebut dapat dibagi menjadi 4, yaitu:

1. *Crack initiation*: pembentukan awal terjadinya kerusakan leleh. Insiasi retakan dapat dihilangkan melalui proses anil.
2. *Slip band crack growth*: peningkatan retakan awal pada bidang tegangan geser cukup tinggi.
3. *Crack growth on planes of high tensile stress*: pertumbuhan retak dalam arah normal terhadap tegangan Tarik maksimum.
4. *Ultimate ductile failure*: terjadi ketika retakan mencapai panjang yang cukup sehingga sisa penampang tidak dapat menahan beban yang bekerja.

8.1.4 Keausan

Keausan merupakan sebuah kegagalan yang tidak diinginkan, karena dapat mengubah dimensi benda. Perubahan dimensi disebabkan oleh pelepasan partikel akibat adanya kontak antar dua material dalam sistem mekanikal. Keausan bukan merupakan proses tunggal, tetapi kombinasi proses yang berbeda.

Adhesive wear dapat terjadi karena tekanan setempat yang cukup tinggi pada kontak *asperity* yang diikuti oleh deformasi plastis. *Abrasive wear* terjadi disebabkan oleh partikel aus yang terlepas dari permukaan. Partikel ini bergerak di antara dua pasangan permukaan material. Ketika keausan adhesi dan abrasi terjadi secara bersamaan, maka dapat memicu terjadinya korosi sehingga menghasilkan keausan korosif.

Surface fatigue wear adalah fenomena keausan yang berkaitan dengan permukaan lengkung pada kontak *rolling* maupun *sliding*. Tegangan geser siklik yang terjadi di bawah permukaan merambat ke permukaan dan partikel membuat alur-alur keausan. *Deformation wear* merupakan hasil deformasi elastis yang terjadi secara berulang-ulang pada permukaan dan menghasilkan matrik retakan.

8.1.5 Perpatahan

Patah adalah berpisahannya suatu benda menjadi dua atau lebih bagian. Patah terjadi ketika suatu material tidak dapat menahan beban yang bekerja. Pola patahan ada 2 macam, yaitu patah getas (*brittle fracture*) dan patah ulet (*ductile fracture*). Patah ulet dapat terjadi bila material mengalami deformasi plastis sehingga material tersebut pecah menjadi dua bagian. Insiasi dan akumulasi void-void kecil merambat pelan hingga gagal. Bentuk patahan berupa *cone* and *cup* serta permukaan patahan nampak berserat.

Patahan getas terjadi bila deformasi elastis pada komponen mesin berperilaku getas dan ekstrem sehingga ikatan *interatomic* pecah. Pecahnya ikatan atom ini

menyebabkan terpisahnya material menjadi dua bagian. Retakan berkembang sangat cepat hingga gagal dan meninggalkan *granular*.

8.2 Proses Manufaktur

Proses manufaktur adalah mengubah bahan baku menjadi barang jadi atau setengah jadi. Proses manufaktur memiliki korelasi dengan biaya produksi dan perubahan sifat material. Ada beberapa proses produksi antara lain:

1. Pengecoran (*Casting*),
2. Pembentukan (*Forming*),
3. Pemesinan (*Machining*),
4. Penyambungan (*Joining*), dan
5. Metalurgi Serbuk (*Powder Metalurgy*).

8.2.1 Pengecoran

Proses-proses dalam pengecoran terdiri dari pembuatan cetakan, peleburan logam, penuangan logam cair dalam cetakan, pembersihan coran dan proses daur ulang. Pengecoran biasanya dibedakan menjadi dua, yaitu pengecoran dan pencetakan. Bahan yang digunakan untuk cetakan adalah pasir dan logam. Sifat cetakan pasir pun ada yang bisa dipakai secara berulang-ulang atau pun pola sekali pakai.

Cetakan dibedakan berdasarkan bahan yang digunakan, seperti: cetakan pasir basah, cetakan kulit kering, cetakan pasir kering, cetakan lempung, cetakan furan, cetakan CO₂, cetakan logam, cetakan khusus. Cetakan dalam proses pengecoran harus dibuat dengan baik agar menghasilkan kualitas coran. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain: desain saluran, penambah dan karakteristik pembekuannya. Saluran masuk (*gating system*) harus dirancang dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut ini:

1. Aliran logam harus dapat menjangkau semua rongga cetakan dengan turbulensi sekecil mungkin.
2. Aliran logam cair memiliki pembekuan terarah.
3. Slag, kotoran, dan partikel asing diusahakan tidak ikut terbawa oleh logam cair.

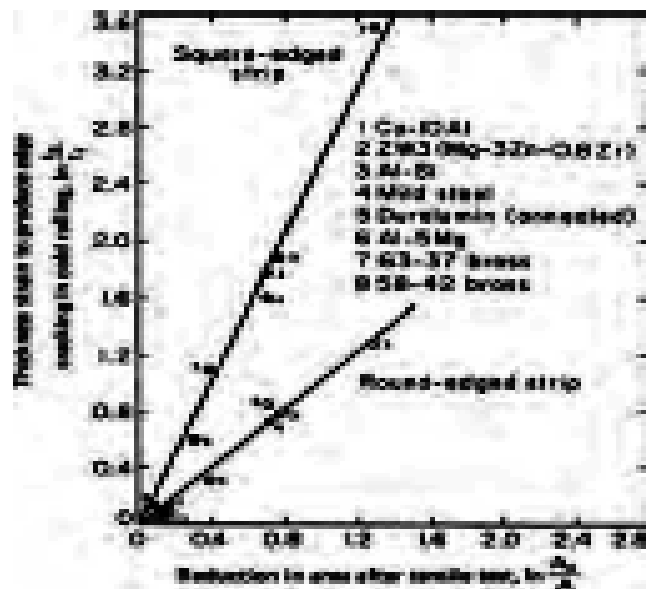
Pasir yang digunakan sebagai bahan cetakan harus diperiksa secara rutin untuk mengetahui sifat-sifatnya. Sifat-sifat pasir itu antara lain:

1. Permeabilitas. Porositas dapat menyebabkan terjadinya pelepasan gas dan uap yang terbentuk dalam cetakan.
2. Kekuatan. Pasir harus memiliki gaya kohesi. Gaya kohesi sangat dipengaruhi oleh lempung dan kadar air.
3. Ketahanan terhadap suhu tinggi.
4. Ukuran dan bentuk butiran pasir.

Selain pasir, logam juga sering digunakan sebagai bahan cetakan. Logam dapat digunakan sebagai material cetakan permanen yang dapat digunakan secara berulang-ulang. Ada 4 macam cara pengecoran khusus, antara lain: pengecoran dengan menggunakan cetakan logam, pengecoran sentrifugal, pengecoran presisi, pengecoran kontinu.

8.2.2 Pembentukan

Pembentukan (*forming*) adalah proses pengerjaan material tanpa menyebabkan kegagalan. Pembentukan material dibatasi oleh jenis material dan bentuk deformasinya. Keuletan logam sangat dipengaruhi oleh sifat matrik dan kehadiran inklusi. Faktor-faktor yang meningkatkan kekuatan material, biasanya menurunkan keuletannya. Inklusi memegang peranan penting dalam patah ulet. Fraksi volum, sifat, bentuk dan distribusi inklusi berpengaruh terhadap keuletan logam. Perhatikan Gambar 50 di bawah ini.



Gambar 50. Korelasi regangan pada ujung retakan pada pelat terhadap pengurangan luas

Proses pembentukan memiliki beberapa operasional, seperti penarikan, penekanan, pelengkungan, pengguntingan, berenergi tinggi, hob, ekstrusi dan penumbukan peluru. Deformasi yang dialami material selama penarikan sangat tinggi. Logam menerima beban melebihi elastisitasnya, sehingga terjadi aliran plastis.

Pelengkungan pelat diberikan untuk memberikan bentuk silindris. Radius yang terlalu tajam dapat mengakibatkan kegagalan Tarik pada sisi luar lengkungan atau bahkan *buckling* pada sisi dalam radius. Retakan dapat terjadi ketika regangan tarik pada lengkungan sisi luar cukup besar.

Proses pembentukan berenergi tinggi (*high energy rate forming, HERF*) meliputi proses kecepatan tinggi dan bertekanan sangat tinggi. Dengan proses HERF, maka ongkos produksi dapat ditekan. **Tabel 6** menunjukkan kecepatan deformasi berbagai proses.

Tabel 6. Kecepatan deformasi beberapa proses pembentukan

Proses	Kecepatan(m/menit)
Press hidrolik	1.80
Press rem	1.80
Pres mekanik	1.80 – 44.0
Palu	14.4 – 258.0
Ram yang digerakkan dengan gas	120 – 4900
Ledakan	540 – 13800
Magnetic	1600 – 13800
Hidroelektro	1600 – 13800

8.2.3 Pemesinan

Proses pemesinan merupakan salah satu proses pengubahan bahan menjadi bentuk-bentuk tertentu melalui proses mekanikal. Secara garis besar, proses pemesinan dapat dikelompokkan menjadi 3 macam, yaitu:

1. Pemesinan konvensional (*conventional machining*), seperti pembubutan, pengefraisan, pengeboran dan penggerindaan.
2. *Non-traditional machining*, seperti EDM (*electro discharge machining*), chemical milling, waterjet dan proses-proses sejenis.
3. *Micro-electronics processes*, seperti proses etsa yang menggunakan *masks* atau *beam*, polish mekanik-kimia.

Ada beberapa kelebihan dari proses pemesinan jika dibandingkan dengan proses selainnya, antara lain:

1. Proses pemesinan 82elative tidak mengubah sifat material.
2. Sangat fleksibel.
3. Memungkinkan untuk diperoleh dimensi yang tepat.
4. Memungkinkan untuk memperoleh kekasaran permukaan akhir yang baik.

Sedangkan kelemahan dari proses ini, antara lain:

1. Proses manufaktur membutuhkan waktu 82elative lama.
2. Limbah produksinya cukup besar.
3. Refixturing for large forces

8.2.4 Penyambungan

Sebuah produk yang terdiri dari dua atau lebih perlu dirakit menjadi satu sehingga menjadi produk yang diinginkan. Untuk mengikat beberapa komponen atau produk tersebut dapat digunakan proses penyambungan. Ada beberapa proses penyambungan yang digunakan di industry, antara lain: pengelasan, solder, sintering, keling, baut, lem dan penyambungan lainnya. Setiap proses penyambungan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Pemilihan proses penyambungan yang tepat dapat meningkatkan performa mesin, menurunkan biaya produksi dan menjamin keselamatan operasional mesin, operator dan lingkungan kerja.

8.2.5 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk adalah proses pembuatan produk yang berasal dari serbuk logam melalui proses penekanan. Proses ini disertai dengan pemanasan, tetapi suhu kerja berada di bawah suhu luluh serbuk material. Pemanasan ini dimaksudkan untuk menghasilkan pengikatan antar partikel halus. Proses metalurgi sserbuk dapat berasal dari campuran logam atau campuran non logam. Kobal (Co) dicampurkan dengan maksud untuk mengikat tungsten, sedangkan grafit ditambahkan untuk menghasilkan kualitas mekanis bantalan.

Karakteristik sifat material yang dihasilkan dari proses metalurgi serbuk dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain: bentuk, ukuran partikel, distribusi ukuran partikel, mampu alir, sifat kimia, kompresibilitas, berat jenis curah dan kemampuan sintering. Jenis serbuk logam memerlukan sifat fisik dan kimia tertentu. Cara pembuatan yang berbeda dengan prosedur berbeda berpengaruh terhadap ukuran dan struktur partikel. Metalurgi serbuk merupakan alternatif proses produksi yang lebih baik dan ekonomis. Ada beberapa keuntungan proses metalurgi serbuk ini, antara lain:

1. Dapat menghasilkan karbida sinter, bantalan porous, dan produk bimetal.
2. Dapat mengendalikan tingkat porositas produk.
3. Mampu menghasilkan produk dalam ukuran kecil dengan permukaan yang halus dalam jumlah massal.
4. Produk murni dapat menghasilkan produk murni pula.
5. Produk ini bersifat ekonomis dan sedikit limbah.
6. Proses manufaktur yang cukup mudah.

Sedangkan kelemahan dari proses ini antara lain:

1. Harga serbuk mahal dan mudah terkontaminasi.
2. Peralatan mahal.
3. Keterbatasan tekanan dan rasio kompresi.
4. Bentuk yang rumit sulit diproduksi karena kemampu-alir serbuk yang rendah.

5. Oksida logam seperti tin, timah hitam, seng dan cadmium menyulutkan dalam sintering karena tidak dapat tereduksi pada suhu di bawah titik cair logam.
6. Beberapa jenis serbuk logam memiliki potensi ledakan dan kebakaran.
7. Densitas produk tidak dapat merata.

Gambar 51 menunjukkan berbagai produk yang dihasilkan melalui proses metalurgi serbuk



Gambar 51. Produk hasil metalurgi serbuk

8.2.6 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah proses pemanasan dan pendinginan logam dengan cara dan parameter tertentu dengan tujuan untuk memperoleh sifat-sifat logam yang diinginkan. Salah satu tujuan perlakuan panas adalah untuk memperoleh material keras yang tahan aus, laju korosi yang rendah, kemampuan mesin yang baik serta menghilangkan tegangan sisa pada material. Komposisi kimia, terutama karbon sangat berpengaruh terhadap sifat material.

Laju pendinginan pada proses perlakuan panas merupakan faktor pengendali kekerasan material. Pendinginan cepat dapat menghasilkan struktur material keras dan pendinginan lambat menghasilkan struktur lunak. Ada beberapa proses perlakuan panas, antara lain: pengerasan (*hardening*), temper (*tempering*), anil (*annealing*), normalizing, pengerasan permukaan, dan pengerasan induksi.

Pengerasan (*hardening*) adalah pemanasan baja pada di daerah atau di atas daerah kritis dan diikuti oleh pendinginan cepat. Pemanasan yang cepat menyebabkan bagian luar jauh lebih panas dengan bagian dalam sehingga mengakibatkan distribusi struktur yang tidak merata. Kekerasan material sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan. Baja dengan kadar karbon rendah dan sedang cocok didinginkan dengan air. Laju pendinginan yang cepat dapat membentuk struktur martensit. Sedangkan baja karbon tinggi dan baja paduan lebih cocok didinginkan menggunakan minyak. Kadar karbon di atas 0.60% berada di atas suhu eutectoid yang terdiri dari perlit dan sementit. Perlit inilah yang dapat meningkatkan kekerasan baja.

Temper (*tempering*) merupakan metode untuk menurunkan kegetasan dan kekerasan material sehingga dapat digunakan. Dengan tempering, kekerasan dan

kekuatan tarik menurun sedangkan keuletan dan ketangguhan material mengalami peningkatan. Tempering dilakukan pada suhu di bawah suhu kritis. Tempering pada suhu 150-230°C tidak menyebabkan kekerasannya menurun, tetapi dapat menghilangkan tegangan sisa material. Martensit dapat terurai lebih cepat pada suhu 315°C menjadi martensit temper. Proses tempering menyebabkan penggumpalan dan presipitasi sementit. Pengendapan sementit terjadi pada suhu 315°C diiringi penurunan kekerasan. Peningkatan suhu tempering dapat mempercepat penggumpalan karbida tetapi kekerasan mengalami penurunan.

Anil (*annealing*) adalah pelunakan baja keras sehingga mampu dikerjakan di mesin atau pengerjaan dingin. Proses anil dilakukan sedikit di atas suhu kritis A_{c3} hingga merata dan didinginkan secara perlahan. Logam yang dipanaskan di atas daerah kritis struktur kembali menjadi austenite. Pendinginan yang sangat lambat dapat austenite menjadi struktur yang lebih lunak.

Normalisasi (*normalizing*) dan speoidisasi adalah pemanasan baja 10-40°C di atas daerah kritis atas kemudian diikuti pendinginan di udara. Tujuan normalisasi adalah agar struktur butiran lebih merata dan menghilangkan tegangan dalam. Baja dipanaskan perlahan-lahan hingga suhu sedikit di bawah daerah kritis dan dibiarkan beberapa waktu. Baja yang dinormalisasi biasanya baja hiperutektoid. Sementit yang berbentuk bulat dapat memperbaiki sifat mampu-mesin.

Pengerasan permukaan dapat dilakukan dengan karburisasi, karbonitriding, cyaniding, dan nitriding. Karburisasi dilakukan dengan cara memanaskan besi di atas suhu A_{c1} dalam lingkungan yang mengandung karbon. Karbonitriding dilakukan dengan memanaskan baja di atas suhu kritis dalam lingkungan gas karbon atau ammonia. Ketebalan lapisan karbonitriding mencapai 0.08-0.75 mm.

8.3 Pengaruh Proses Manufaktur terhadap Perilaku Material

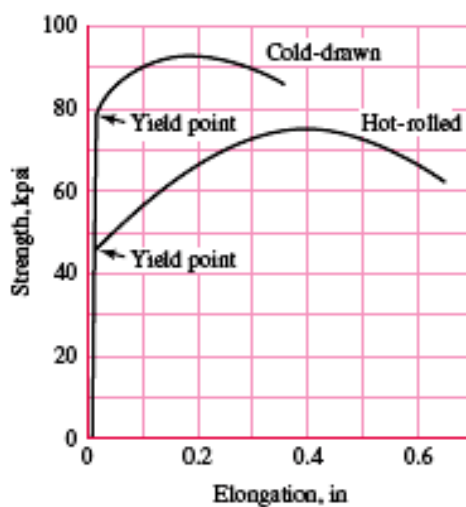
Proses manufaktur yang dilakukan baik pada suhu tinggi maupun suhu kamar dapat memengaruhi perubahan sifat mekanis, sifat teknologis dan sifat fisis material lainnya. Berikut akan diskusikan secara singkat dampak proses manufaktur secara singkat.

8.3.1 Pengerjaan Dingin (*Cold Working*)

Pengerjaan dingin adalah membentuk logam pada suhu rendah/suhu kamar. Baja batangan dan poros dihasilkan melalui proses *rolling*, *drawing*, *turning*, *grinding*, dan *polishing*. Proses rolling dingin dan drawing dingin memberikan dampak pada sifat mekanis. Proses pengerjaan dingin tidak mengubah ukuran butir, tetapi hanya memberikan distorsi saja. Pengerjaan dingin dapat meningkatkan kekuatan luluh, kekuatan ultimate dan kekerasan, tetapi menurunkan keuletannya. **Gambar 52** menunjukkan perbandingan antara proses dingin dengan proses yang menggunakan temperatur tinggi.

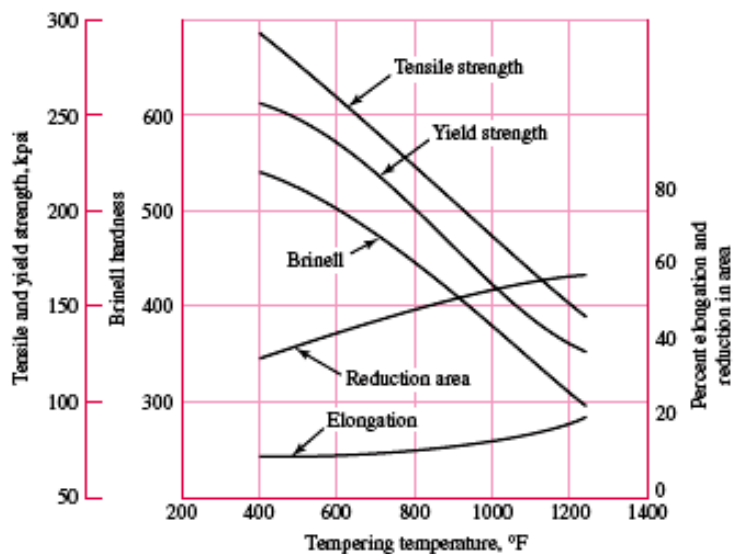
8.3.2 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Ketika baja sudah dikeraskan, maka baja tersebut menjadi sangat keras dan getas serta memiliki tegangan sisa yang sangat tinggi. Baja menjadi tidak stabil disebabkan oleh tegangan sisanya. Tegangan internal dapat dikurangi dengan proses pemanasan. Baja yang sudah dikeraskan di atas suhu kritis kemudian dipanaskan kembali pada suhu sedikit di bawah suhu kritis selama periode waktu tertentu serta diikuti pendinginan di udara. Suhu pemanasan tergantung pada komposisi, kekerasan dan ketangguhan yang diinginkan. Pemanasan kembali ini untuk melepaskan carbon dalam martensit dan membentuk kristal karbida. Struktur yang diperoleh adalah *tempered martensite*.



Gambar 52. Diagram tegangan regangan baja UNS G10350 untuk hot rolled dan cold drawn

Pengaruh perlakuan panas pada terhadap beberapa sifat mekanis baja paduan rendah ditunjukkan oleh Gambar 53 di bawah ini.



Gambar 53. Pengaruh thermal-mekanikal terhadap sifat mekanis baja AISI 4340

8.3.3 Permukaan Pemesinan

Sebuah produk yang dipolish dengan kualitas permukaan akhir berpengaruh terhadap performa komponen ketika bekerja. Faktor modifikasi permukaan tergantung pada kualitas permukaan akhir komponen. Pernyataan kuantitas hasil proses pemesinan (*ground, machined, or cold-drawn, hot-rolled, and as-forged*) ditunjukkan oleh **Tabel 7** di bawah ini.

Tabel 7. Penentuan pengaruh kekasaran terhadap performa material

Surface finish	Factor a		Exponent b
	S _{ut} , kpsi	S _{ut} , MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272	-0.995

Konstanta k_a dinyatakan dengan persamaan di bawah ini:

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Konstanta k_a adalah faktor kekasaran permukaan hasil permesinan yang akan memengaruhi umur lelah material. S_{ut} adalah kekuatan tarik minimal material.

8.4 Metodologi Pemilihan Material

Diperkirakan ada 40,000 jenis material metalik dan non-metalik. Banyaknya jenis dan proses material ini memaksa seorang insinyur untuk memahami korelasi yang sangat kompleks dengan sifat material, biaya dan fungsi. Pemilihan material memerlukan pengetahuan yang cukup. Kesalahan dalam pemilihan material dalam sebuah struktur dapat menyebabkan kegagalan. Ada 3 tahapan dalam pemilihan material dan proses manufaktur, antara lain:

1. Penyaringan awal material (*Initial screening of materials*),
2. Membandingkan dan mengurutkan material (*Comparing and ranking alternatives*),
3. Pemilihan material optimum (*Selecting the optimum solution*).

Pemilihan material dan proses tidak selalu berkaitan dengan produk baru, tetapi juga dapat menggantikan jenis material yang sudah ada. Pemilihan dan penggantian material memerlukan pertimbangan antara keuntungan dan keterbatasan.

8.4.1 Initial Screening of Materials

Tahapan pertama dalam pengembangan produk baru adalah merumuskan beberapa pertanyaan berikut: what is it? What does it do? How does it do it? Dari pernyataan-

pernyataan tersebut dapat ditentukan secara khusus kebutuhan performa material dan proses yang tepat.

A. Analisa Kebutuhan Performa Material (*Analysis of Material Performance Requirements*)

Kebutuhan performa material dapat dibagi menjadi 5 kategori, yaitu: kebutuhan fungsional, kebutuhan mampu proses, biaya, reliabilitas dan ketahanan dalam kondisi layanan.

Kebutuhan Fungsional (*Functional Requirement*). Kebutuhan fungsional berkaitan langsung dengan karakteristik produk yang diinginkan. Contoh: jika sebuah produk menerima beban tarik uniaksial, maka kandidatnya adalah material yang memiliki kekuatan luluh.

Kebutuhan Mampu Proses (*Processability Requirement*). Mampun proses adalah kemampuan material untuk dikerjakan atau dibentuk menjadi produk akhir. Mampu proses tersebut berupa mampu cor, mampu las dan mampu mesin. Keuletan dan kekerasan berkaitan dengan mampu proses jika material dideformasi atau dikeraskan dengan laku panas.

Harga (*Cost*). Harga adalah faktor penting untuk menganalisa material. Dalam beberapa penerapan dibatasi biaya. Jika biaya tidak dibatasi, maka dapat digunakan material dan proses yang sedikit lebih mahal.

Reliabilitas (*Reliability*). Reliabilitas material adalah kemungkinan material dapat melakukan fungsinya tanpa mengalami kegagalan. Reliabilitas material sulit diukur, karena material tersebut tidak hanya tergantung pada sifat-sifatnya saja, tetapi juga dipengaruhi oleh riwayat produksi dan prosesnya. Analisa kegagalan biasanya digunakan untuk memerkirakan mekanisme kegagalan sebuah produk. Penyebab kegagalan sebuah produk selama beroperasi adalah cacat material, gagal desain, kondisi layanan yang tidak diharapkan, kesalahan pemakaian produk.

Ketahanan Dalam Kondisi Layanan (*Resistance to Service Conditions*). Lingkungan yang korosif, suhu tinggi maupun suhu rendah memiliki pengaruh yang kuat terhadap performa material. Pada lingkungan thermal diperlukan material yang memiliki koefisien ekspansi thermal yang sama agar tidak terjadi tegangan termal.

B. *Quantitative Methods for Initial Screening*

Sifat material dapat dinyatakan secara kualitatif dan kuantitatif, penting atau diinginkan. Metode kuantitatif dapat digunakan untuk screening awal untuk mengurangi jumlah material untuk dievaluasi lebih detail. Berikut ini adalah metode kuantitatif untuk screening awal material: limits on material properties, cost-per-unit-property method, Ashby's method, Dargie's method, Esawi and Ashby's method.

Limits on Material Properties. Screening awal pada material dapat dicapai dengan mengklasifikasikan kebutuhan performanya ke dalam dua kategori:

1. Rigid, or go-no go, requirements
2. Soft, or relative, requirements

Kebutuhan tetap dapat dilakukan dengan menghilangkan material yang tidak masuk kategori. Misalnya, ketika dibutuhkan insulator listrik, maka semua logam dihilangkan. Jika insulator harus fleksibel, maka semua keramik dihilangkan. Kebutuhan tetap material meliputi perilaku material pada suhu kerja, ketahanan terhadap lingkungan korosif, keuletan, konduktifitas thermal dan listrik, transparan terhadap lampu atau gelombang.

Cost-Per-Unit-Property Method. Metode ini digunakan jika screening awal terhadap terdapat sifat material yang dianggap paling kritis. Misalnya, sebuah batang baja dengan panjang L dan beban F, maka luas penampangnya adalah:

$$A = \frac{F}{S} \dots \dots \dots [1]$$

Dimana S adalah tegangan kerja material. Harga sebatang baja dapat dihitung dengan persamaan berikut (C').

$$C' = C_p A L = \frac{C_p F L}{S} \dots \dots \dots [2]$$

Dimana C adalah harga material per satuan massa, ρ adalah densitas material. F dan L adalah konstan untuk material. Perbandingan didasarkan pada harga per satuan kekuatan, maka kuantitasnya adalah:

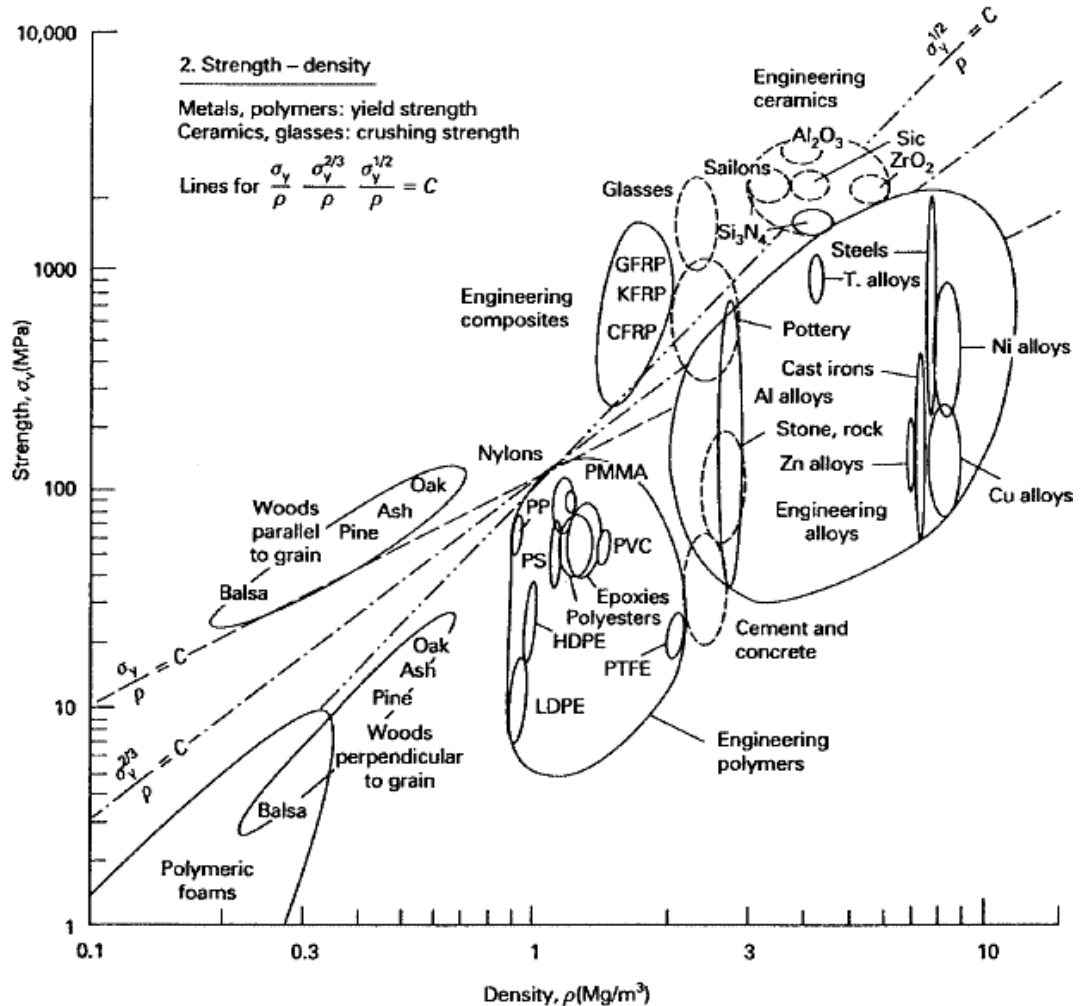
$$\frac{C_p}{S} \dots \dots \dots [2]$$

Material dengan biaya terendah per satuan kekuatan dapat dijadikan kandidat material. Persamaan [2] dan [3] dapat digunakan untuk membandingkan material atas dasar biaya per satuan kekakuan ketika kriteria defleksi dianggap kritis. Perhatikan **Tabel 8** di bawah ini.

Tabel 8. Formula untuk estimasi biaya per satuan sifat

Cross section and loading condition	Cost per unit strength	Cost per unit stiffness
Solid cylinder in tension or compression	C_p/S	C_p/E
Solid cylinder in bending	$C_p/S^{2/3}$	$C_p/E^{1/2}$
Solid cylinder in torsion	$C_p/S^{2/3}$	$C_p/G^{1/2}$
Solid cylinder bar as slender column	---	$C_p/E^{1/2}$
Solid rectangular in bending	$C_p/S^{1/2}$	$C_p/E^{1/2}$
Thin-walled cylindrical pressure vessel	C_p/S	$C_p/S^{1/3}$

Ashby's Method. Metode ini menggunakan chart untuk melakukan screening awal material. Dari **Gambar 54** diketahui bahwa material yang berada di atas garis menunjukkan bahwa metrial memiliki performa yang baik, sedangkan jika di bawah garis tentu memiliki performa yang kurang baik.



Gambar 54. Contoh kartu pemilihan material

Dargie's Method. Screening awal pemilihan material dan proses didasarkan secara manual atas performa material menurut handbook atau katalog. Dargie mengusulkan pemakaian sistem MAPS-1. Lima digit MAPS-1 yang pertama berkaitan dengan pengurangan atas kelayakan proses manufaktur.

- 1) Digit pertama adalah ukuran kelompok,
- 2) Digit kedua menunjukkan esensi dan tergantung atas dimensi utama dan apakah komponen itu panjang, datar atau *compact*,
- 3) Digit ketiga menunjukkan bentuk yang dikelompokkan berdasarkan bentuknya *prismatic*, *axisymmetric*, *cup shaped*, *nonaxisymmetric*, dan *nonprismatic*,
- 4) Digit keempat berkaitan dengan toleransi,

- 5) Digit kelima berkaitan dengan kekasaran permukaan. Tiga digit berikutnya adalah untuk mengeliminasi material yang tidak layak,
- 6) Digit keenam berkaitan dengan suhu layanan,
- 7) Digit ketujuh berkaitan dengan laju korosi yang masih diterima,
- 8) Digit kedelapan menunjukkan tipe lingkungan terhadap bagian komponen yang terbuka.

Sistem Dargie menggunakan dua jenis data base untuk persiapan pemilihan material dan proses, yaitu: [1] matriks kelayakan dan [2] matriks kesesuaian. Matriks kelayakan berkaitan dengan kelayakan proses dan material pada komponen dengan pertimbangan. Masing-masing digit memiliki sebuah matriks. Kolom matriks menunjukkan nilai digit dan baris matriks menunjukkan proses dan material dalam database. Elemen matriks bernilai 0 berarti tidak layak, dan 2 mengindikasikan material dan sebuah proses adalah layak.

Matriks kesesuaian menyatakan kesesuaian kombinasi proses dan material yang berbeda. Kolom matriks berkaitan dengan material, sedangkan baris menyatakan proses. Jika elemen matriks adalah 0 mengindikasikan kombinasi yang tidak sesuai, 1 adalah kombinasi sulit atau tidak biasa, 2 adalah kombinasi yang biasa digunakan dalam praktis. Program ini dapat memunculkan daftar kandidat kombinasi material dan proses. Daftar ini sangat membantu desainer untuk mengidentifikasi berbagai alternatif yang mungkin untuk proses desain selanjutnya.

Esawi and Ashby's Method. Metode ini membandingkan perkiraan biaya material, energi, modal, waktu, dan informasi yang dibutuhkan komponen yang menggunakan kombinasi material dan proses manufaktur yang berbeda. Menurut metode ini total biaya komponen terdiri atas tiga elemen, yaitu: *material cost*, *tooling cost*, and *overhead cost*. *Material cost* adalah fungsi biaya per satuan berat material dan jumlah material yang dibutuhkan. *Cost of tooling (dies, molds, jigs, fixtures)* sebagai fungsi produk. *Overhead per component* adalah fungsi laju produksi.

Pemakaian metode ini membutuhkan database, seperti CES 4, yang memuat daftar harga material, sifat proses yang berbeda, alju produksi, umur perkakas, dan harga perlengkapan dan peralatan. Software CES 4 berisi rekaman 112 proses pembentukan seperti *vapor deposition*, *casting*, *molding*, *metal forming*, *machining*, dan *composite forming*. Output *software* berupa bentuk grafik yang memberikan variasi biaya untuk proses atau kombinasi material.

8.4.2 Comparing and Ranking Alternative Solution

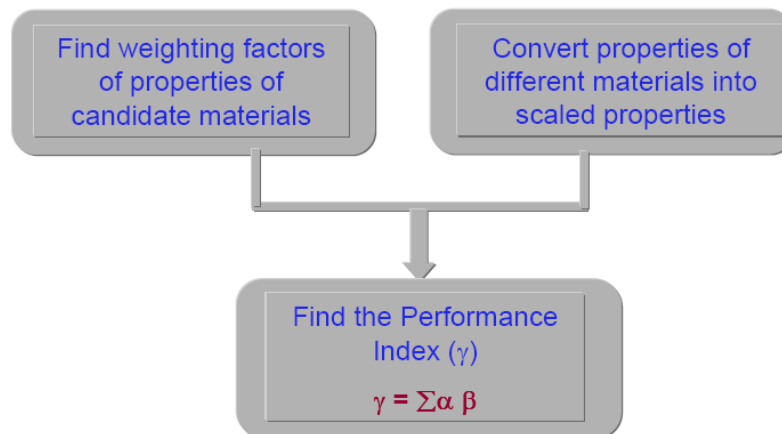
Setelah mempersempit material yang layak digunakan dengan screening awal pemilihan material, maka metode kuantitatif dapat digunakan untuk lebih mempersempit kandidat material dengan proses manufaktur yang sesuai. Sifat adalah

karakteristik material yang dapat membedakan satu hal dengan yang lainnya. Ada dua langkah untuk perankingan sifat material:

- 1) Ranking untuk menentukan pentingnya sifat tanpa mempertimbangkan bagaimana pentingnya satu sifat terhadap sifat yang lainnya.
- 2) Bobot digunakan untuk menentukan pentingnya masing-masing sifat material.

Weighted-Properties Method. Dalam metode ini masing-masing sifat material diberikan bobot tertentu tergantung dari penting tidaknya performa komponen dalam layanan operasional. Metode ini menyatakan bahwa:

1. Mengukur seberapa penting kebutuhan yang diinginkan dengan menentukan faktor pembobot (α).
2. Mengukur material kandidat yang memenuhi kebutuhan masing-masing dengan menentukan faktor skala (β).



Gambar 55. Tahapan metode pembobotan sifat

8.4.3 Selecting the Optimum Solution

Kandidat yang memiliki indeks performa yang paling baik digunakan untuk mengembangkan desain detail. Masing-masing desain rinci mengungkap titik-titik kekuatan material, menghindari titik lemah, dan menggambarkan kebutuhan proses manufaktur yang dibutuhkan oleh material. Informasi jenis material yang dibutuhkan untuk desain rinci berbeda dengan screening awal dan ranking. Informasi ini diperoleh melalui handbook, publikasi organisasi perdagangan, laporan teknis dalam bentuk text, file pdf, tabel, grafik, dan photograph. Setelah melengkapi desain yang berbeda, solusi kemudian dibandingkan, elemen biaya sebagai pertimbangan untuk memperoleh kombinasi desain–material–proses yang optimum

BAB IX PERANCANGAN SISTEM MEKANIKAL

9.1 Pendahuluan

Tujuan dari perancangan sistem mekanikal adalah untuk membuat mesin baru dan lebih baik performanya serta meningkatkan kualitas mesin yang sudah ada. Sebuah rancangan mesin harus lebih ekonomis dari sisi biaya produksi dan operasinya. Proses desain biasanya membutuhkan waktu yang sangat panjang. Mulai dari ide yang sudah ada ataupun ide baru yang harus disusun. Ide-ide tersebut dipelajari kemudian diwujudkan menjadi produk komersial dan dituangkan ke dalam bentuk gambar teknik. Dalam merancang sebuah komponen mesin dibutuhkan pengetahuan yang baik, seperti Matematika, mekanika teknik, material teknik, kekuatan material, teori mesin, proses manufaktur dan gambar teknik.

9.2 Klasifikasi Desain Mesin

Karena desain mesin membutuhkan waktu yang sangat panjang, maka secara otomatis desain mesin terus mengalami perubahan seiring dengan kebutuhan dan kemajuan teknologi. Secara umum desain mesin dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu: *adaptive design*, *development design* dan *new design*.

9.2.1 *Adaptive design*.

Dalam banyak kasus, kerja desainer terpusat pada desain yang sudah ada. Desain seperti ini tidak membutuhkan pengetahuan atau ketrampilan khusus dan dapat dilakukan oleh seorang desainer melalui pelatihan teknis. Desainer hanya membuat sedikit perubahan dan modifikasi desain produk yang sudah ada.

9.2.2 *Development design*.

Tipe desain seperti ini memerlukan pelatihan pengetahuan dan pertimbangan serta kemampuan mendesain agar desain yang sudah ada dapat dimodifikasi menjadi ide baru. Ide baru tersebut dapat berupa pemakaian material baru atau metode manufaktur yang berbeda. Desainer memulai pekerjaan dari desain yang sudah ada, tetapi produk akhir dapat saja berbeda dari produk awal ketika dipasarkan.

9.2.3 *New design*.

Tipe desain seperti ini memerlukan riset yang panjang, kemampuan teknis dan berfikiran kreatif. Hanya seorang desainer yang memiliki kualitas personal yang cukup tinggi yang dapat mengambil pekerjaan desain baru. Berdasarkan metode yang digunakan, desain dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Rational design*. Tipe desain ini tergantung pada rumusan matematika dan prinsip-prinsip mekanika

2. *Empirical design*. Tipe desain ini tergantung pada rumus-rumus empiris yang didasarkan atas pengalaman praktis dan pengalaman masa lampau.
3. *Industrial design*. Tipe desain seperti ini didasarkan atas aspek produksi untuk membuat komponen mesin di industri.
4. *Optimum design*. Tipe ini merupakan desain yang paling baik yang memiliki fungsi tujuan sesuai dengan hambatan tertentu. Desain ini dapat meminimalisir pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan.
5. *System design*. Desain ini merupakan sistem mekanikal yang cukup kompleks seperti mobil ataupun wujud kendaraan lainnya.
6. *Element design*. Desain beberapa komponen sistem mekanikal seperti *piston*, *crankshaft*, *connecting rod*, dan elemen mesin lainnya.
7. *Computer aided design*. Desain ini memerlukan komputer untuk membantu kreatifitas, modifikasi, analisis dan optimasi desain.

9.3 Tanggungjawab Profesional Insinyur Desain

Karena sebuah komponen mesin atau mesin dirancang berdasarkan kebutuhan manusia, sehingga mesin tersebut selalu berinteraksi dan bersinggungan dengan manusia. Dengan demikian dibutuhkan peran dan tanggungjawab seorang insinyur, antara lain:

1. Insinyur desain harus dapat menjamin keamanan produk yang dibutuhkan oleh konsumen, seperti manajemen, clients, pelanggan. Untuk itu dibutuhkan seorang insinyur yang kompeten, bertanggungjawab, beretika dan profesional.
2. Beberapa mahasiswa teknik memandang dirinya sendiri setelah lulus sebagai insinyur praktis yang mendesain, mengembangkan dan menganalisa produk dan proses serta mempertimbangkan kebutuhan ketrampilan komunikasi yang baik meliputi percakapan dan tulisan.
3. Hal ini jauh dari kebenaran. Kebanyakan insinyur menggunakan waktunya dengan rekan kerjanya, menulis proposal dan laporan teknis, presentasi dan berinteraksi dengan bidang keteknikan dan non teknik dalam rangka mendorong personel untuk bertanggungjawab, beretika dan profesional.
4. Ketrampilan berkomunikasi harus terus dibangun selama studi.

9.4 Pertimbangan Umum Desain Mesin.

Karena sebuah mesin harus menjamin pemakainya aman selama beroperasi, maka ada beberapa pertimbangan dalam mendesain komponen mesin, antara lain:

1. **Tipe pembebanan dan tegangan.** Beban yang bekerja pada komponen mesin dapat memengaruhi tegangan internal bahan.

2. **Gerak komponen atau kinematika mesin.** Operasional mesin yang baik tergantung pada simpelnya susunan komponen mesin yang membutuhkan gerak tertentu. Gerak komponen mesin dapat berupa:
 - a. Gerak lurus yang meliputi gerak bolak-balik atau banyak arah.
 - b. Gerak melengkung yang meliputi berputar, bergelombang dan harmonik sederhana.
 - c. Kecepatan konstan.
 - d. Percepatan konstan atau bervariasi.
3. **Pemilihan material.** Seorang desainer harus memiliki pengetahuan tentang sifat material dan perilakunya di bawah kondisi kerja. Beberapa sifat material yang harus diperhitungkan, antara lain: kekuatan, masa pakai, fleksibilitas, bobot, ketahanan terhadap panas dan korosi, kemampuan dicetak, dilas, atau dikeraskan, kemampuan dikerjakan di mesin dan daya hantar listriknya.
4. **Bentuk dan ukuran komponen.** Bentuk dan ukuran adalah dasar penilaian. Penampang dengan luasan terkecil dapat digunakan tetapi harus diperiksa bahwa tegangan yang terinduksi diyakini aman. Dalam mendesain ukuran dan bentuk komponen mesin, maka perlu diketahui beban yang bekerja pada komponen tersebut. Pembebanan tiba-tiba dan tumbukan dapat memicu terjadinya kegagalan.
5. **Ketahanan gesek dan pelumasan.** Dalam rancangan mesin selalu ada rugi-rugi daya karena gesekan. Oleh karena itu menjadi penting untuk memerhatikan pelumasan semua permukaan yang bergerak dalam kontak satu dengan yang lain, apakah *rotating*, *sliding*, atau *rolling bearings*.
6. **Ketepatan dan fitur ekonomis.** Dalam desain, fitur operasional mesin harus dipelajari secara serius. Jika sebuah komponen mesin digantikan dengan produk lain yang berbeda dapat dengan mudah diakses sesuai dengan kebutuhan.
7. **Pemakaian komponen standar.** Pemakaian komponen standar berkorelasi terhadap biaya, karena biaya komponen standar atau komponen cadangan hanya merupakan perbandingan dari biaya komponen sejenis. Komponen standar atau cadangan dapat digunakan sewaktu-waktu. Komponen standard dan cadangan selalu ada seperti rod gigi, puli dan bantalan.
8. **Keamanan operasional.** Beberapa mesin memiliki tingkat berbahaya ketika dioperasikan, khususnya mesin yang dipercepat untuk menjamin laju produksinya maksimum. Oleh sebab itu komponen mesin yang bergerak dan berada dalam area pekerja harus dipertimbangkan sebagai sumber bahaya dan dapat menjadi penyebab kecelakaan.
9. **Fasilitas bengkel.** Insinyur desain harus familiar dengan keterbatasan bengkelnya untuk menghindari kebutuhan pekerjaan di bengkel lain.

Terkadang penting untuk merencanakan dan mengawasi operasional bengkel dan merancang metode pengecoran, penanganan dan pemesinan bagian-bagian tertentu.

10. **Jumlah mesin yang diproduksi.** Jumlah mesin yang diproduksi memengaruhi desain dalam jumlah metode. Biaya teknis dan bengkel yang disebut sebagai *fixed charges* atau *overhead expenses* didistribusikan ke sejumlah mesin yang diproduksi. Jika mesin yang diproduksi hanya sedikit, biaya ekstra tidak dapat dibenarkan, kecuali mesin diproduksi dalam jumlah besar atau tujuan khusus desain lainnya.
11. **Biaya konstruksi.** Biaya konstruksi merupakan pertimbangan penting dalam desain mesin. Dalaam banyak kasus, memungkinkan untuk menghentikan segera jika harga sebuah rancangan mesin tinggi. Jika sebuah rancangan mesin dilakukan secara manual dan bernilai komersial, maka dapat dipertimbangkan sebagai penghematan, kecuali jika diproduksi dalam jumlah besar yang membutuhkan mesin-mesin otomatis.
12. **Perakitan.** Setiap mesin atau struktur harus dirakit menjadi satu kesatuan untuk memenuhi fungsinya. Sebuah unit yang besar dirakit di bengkel, diuji dan dipindahkan ke tempat operasionalnya. Tempat terakhir mesin menjadi sangat penting bagi insinyur desain untuk mengantisipasi lokasi pasti dan fasilitas setempat untuk konstruksinya.

9.5 Prosedur Umum Desain Mesin

Dalam mendesain komponen mesin tidak ada aturan yang baku. Ada beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan desain. Berikut ini adalah prosedur desain mesin antara lain:

1. **Recognition of need.** Langkah pertama adalah membuat pernyataan masalah, menunjukkan kebutuhan, tujuan mesin didesain.
2. **Synthesis (Mechanisms).** Memilih mekanisme atau sekelompok mekanisme yang memungkinkan dapat memberikan gerakan yang diinginkan.
3. **Analysis of forces.** Menemukan gaya yang bekerja pada masing-masing komponen mesin dan aenergi yang diteruskan antar komponen mesin.
4. **Material selection.** Memilih material yang paling tepat untuk etiap komponen mesin.
5. **Design of elements (size and stresses).** Menentukan ukuran masing-masing komponen mesin dengan mempertimbangkan gaya yang bekerja pada setiap komponen mesin dan tegangan material yang diijinkan. Harus diyakini bahwa setiap komponen tidak terdeformasi atau terdefleksi.
6. **Modification.** Modifikasi ukuran komponen mesin menyesuaikan dengan pengalaman dan penilaian terhadap kelengkapan manufaktur. Modifikasi juga

menjadi penting sebagai pertimbangan desain manufaktur untuk mengurangi biaya keseluruhan.

7. **Detailed drawing.** Gambar detail setiap komponen dan perakitan mesin dengan spesifikasi lengkap untuk proses manufaktur.
8. **Production.** Komponen yang sudah digambar secara detail selanjutnya diproduksi di workshop.

Catatan: ketika banyak komponen tersedia di pasaran yang memiliki kualitas, efisiensi, masa pakai, dan harga yang secara alamiah menarik konsumen terhadap sebuah produk. Estetika dan ergonomik merupakan fitur sangat penting yang memberikan daya Tarik produk di pasaran.

9.6 Toleransi

Toleransi memengaruhi biaya spesifikasi desain, toleransi menjadi sangat penting. Toleransi, proses manufaktur dan finishing permukaan saling berkaitan dan memengaruhi produksi. Toleransi menjadi langkah tambahan dalam proses dan inspeksi untuk produksi secara ekonomis. Jika komponen mesin memiliki toleransi yang besar dapat diproduksi mesin dengan laju produksi yang tinggi, sehingga biaya dapat berkurang secara signifikan.

9.7 Reliabilitas

Metode realibilitas desain adalah salah satu yang diperoleh dengan distribusi tegangan dan kekuatan. Pengukuran probabilitas elemen mesin yang tidak akan mengalami kegagalan selama pemakaian disebut reliabilitas. Reliabilitas R dapat dinyatakan dengan angka antara $0 \leq R \leq 1$. Reliabilitas $R = 0.90$ menyatakan bahwa ada 90% kesempatan komponen mesin bekerja sempurna sesuai fungsinya tanpa kegagalan. Kegagalan 6 komponen di setiap 1000 produksi menunjukkan bahwa laju kegagalan masih dapat diterima. Hal ini menggambarkan reliabilitas sebesar 99.4%. Dengan metode reliabilitas desain, tugas desainer adalah menentukan pemilihan material, proses dan ukuran untuk mencapai reliabilitas tertentu.

Aspek-aspek desain yang perlu menjadi bahan pertimbangan untuk menjamin reliabilitas sebuah rancangan mesin antara lain:

- 1) Reliabilitas semua komponen pemesinan;
- 2) Pemakaian mode kegagalan yang aman pada komponen;
- 3) Duplikasi atau redundancy keamanan yang berhubungan dengan komponen; dan
- 4) Monitoring otomatis terhadap kondisi kegagalan.

9.8 Desain Untuk Mengurangi Bahaya Mesin dan Pabrik

Pertimbangan untuk menghilangkan atau mengurangi bahaya dalam desain pemesinan dan pabrik dapat meningkatkan keselamatan dan kesehatan. Pertimbangan desain selama manufaktur dapat mengurangi bahaya secara signifikan

selama orang menggunakan mesin atau pabrik. Desain dan bahaya memiliki kaitan terhadap karakteristik pabrik itu sendiri. Yang termasuk kategori bahaya yang harus dipertimbangkan dalam desain mesin antara lain:

1. Bahaya mekanikal, bahaya yang dihasilkan oleh bentuk, posisi, massa dan stabilitas, energi kinetik dan kekuatan material. Aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan antara lain:
 - 1) Terlihatnya area kerja dari tempat pengendalian;
 - 2) Bentuk dan gap antara komponen mekanis;
 - 3) Pengurangan sisi-sisi yang tajam;
 - 4) Tempat kerja yang efektif dan akses pengendalian;
 - 5) Pembatasan gaya dan emisi.

Sebuah desain harus memiliki stabilitas yang cukup dengan memperhatikan aspek-aspek berikut ini:

- 1) Geometri pondasi (*base*);
 - 2) Distribusi bobot mesin;
 - 3) Gaya dinamik;
 - 4) getaran;
 - 5) goyangan;
 - 6) sifat permukaan dudukan;
 - 7) Gaya luar.
2. Bahaya elektrikal, faktor-faktor yang berhubungan atau dekat dengan bagian elektrik, ketersediaan isolasi, fenomena elektrostatik, radiasi thermal, beban berlebih dan hubungan pendek.
 3. Bahaya thermal, kontak dengan obyek atau material suhu tinggi.
 4. Bahaya kebisingan dan getaran.
 5. Bahaya radiasi, ionising dan non-ionising.
 6. Bahaya zat atau material, bahaya yang ditimbulkan oleh proses produksi, yang digunakan dan dipancarkan oleh mesin atau material konstruksi.
 7. Bahaya ergonomik, kesalahan operasional atau ketidaksesuaian karakteristik pemesinan dan manusia. Pertimbangan prinsip-prinsip ergonomic atau batas antara mesin-operator dapat mengurangi resiko fisik seperti amputasi, psikologi dan tekanan mental atau kemungkinan kesalahan dalam semua aspek pemakaian mesin. Elemen-elemen ergonomik antara lain:
 - 1) Sifat postur dan gerakan;
 - 2) Kemudahan operasional fisik;
 - 3) Dampak kebisingan dan suhu;
 - 4) Penerangan lingkungan;
 - 5) Kejelasan dan tempat pengendalian manual; dan

- 6) Desain dial, penandaan dan tampilan karakteristik persepsi dan kognisi manusia.
Penerapan penting ergonomis adalah pemakaian antropometrik (*human body*) dalam desain pemrosesan. Informasi ini penting untuk penentuan dimensi akses bukaan untuk perawatan dan perbaikan, ruang operator, jarak aman dan gap untuk mencegah kontak antar bagian badan dengan daerah bahaya.
8. Bahaya yang berkaitan dengan perawatan, ketika pengaman dilepaskan untuk proses pembersihan, perawatan atau mengakses area sekitar mesin. Aspek-aspek perawatan yang penting meliputi:
 - 1) Aksesibilitas (*accessibility*);
 - 2) Mudah penanganan; dan
 - 3) Pengurangan jumlah peralatan dan perlengkapan yang dibutuhkan.
9. Bahaya slip, trip dan jatuh, permukaan lantai.
10. Bahaya lingkungan kerja, pengaruh kondisi lingkungan seperti suhu, cuaca dan penerangan.

9.9 Pertimbangan Siklus Umur Desain

Siklus umur pemrosesan atau pabrik sebaiknya dipertimbangkan selama fase desain, fitur desain untuk mengendalikan resiko yang tidak dapat diterima yang terjadi selama operasional. Hal ini perlu dilakukan untuk mengurangi bahaya pada sumber-sumber yang dapat diperkirakan. Fase siklus umur mesin dan pabrik adalah:

1. Manufaktur, pengendalian bahaya pada sumbernya, seperti: penggantian rantai dengan roda gigi untuk mengurangi bahaya geser.
2. Transportasi, mesin sebaiknya dirakit secara lengkap ketika dikirim ke customer.
3. Instalasi, untuk mengurangi bahaya selama instalasi, sejumlah mesin harus didesain sehingga dapat diganti mesin baru pada tempat semula dengan menggunakan *crane*. Hal ini dilakukan untuk menghindarkan pekerja pada ketinggian secara manual.
4. Commissioning, untuk mencegah permasalahan terkait dengan kecurangan pada area mesin dan pabrik, pengujian instrument dan alarm yang terpasang pada mesin dan pabrik.
5. Pemakaian, pertimbangan yang harus diberikan kepada operator bagaimana bekerja secara aman.
6. Perawatan, pertimbangan yang meliputi kesiapan akses ke area untuk mengidentifikasi selama perawatan, seperti *cleaning*, pelumasan dan penyetulan. Pertimbangan lain yang masuk dalam lingkup perawatan adalah:
 - 1) Penyetulan rutin sebaiknya didesain untuk dilakukan dengan menghentikan mesin tanpa melepaskan *safeguard* atau membongkar komponen mesin;

- 2) Jika frekuensi akses diperlukan, maka sebaiknya *interlocked guard* dapat digunakan;
- 3) *self-lubrication* atau pelumasan terpusat sebaiknya dipertimbangkan jika akses area sulit dilakukan;
- 4) peralatan *positive lock-off* sebaiknya disediakan untuk mencegah restarting mesin yang tidak disengaja, khususnya setelah mesin *shut down* secara tidak sengaja;
7. Storage, mempertimbangkan bagaimana menyimpan mesin sehingga tidak menghadirkan bahaya. Diperlukan suatu prosedur aman untuk *breakdown* penyimpanan; dan
8. Pembuangan, pertimbangan bahaya yang berhubungan dengan energi potensial seperti pegas dan *pressure devices*, dan zat-zat berbahaya yang menjadi bagian mesin atau pabrik.

9.10 Aturan Baku Desain Pengaman

Jika keselamatan tidak dapat dicapai dalam desain, pengaman mesin menjadi penting untuk mengurangi bahayanya. Fungsi utama pengaman adalah sebagai batas antara pekerja dengan bagian mesin atau pabrik yang berbahaya. Ada beberapa aturan baku dalam mendesain pengaman antara lain:

1. Menjamin material yang digunakan cukup kuat dan memiliki kualitas yang baik;
2. Mengetahui bahwa alat pengaman semata tidak cukup. Pengaman yang didesain secara tidak baik memiliki kontribusi terhadap kecelakaan;
3. Pertimbangan lingkungan secara hati-hati bahwa pengaman adalah kebutuhan operator; dan
4. Jika pengaman digunakan dari mesin lain, maka dilakukan pemeriksaan secara hati-hati untuk menjamin bahwa pengaman:
 - 1) Tidak cacat;
 - 2) Tepat dengan mesin target;
 - 3) Kekuatan dan kualitas cukup baik untuk dipakai di mesin lain;
 - 4) Tercapai tujuan pengendalian resiko.

9.11 Pemilihan Material untuk Keamanan Konstruksi

Pemilihan material untuk menjamin sebuah konstruksi aman meliputi 4 pertimbangan utama, antara lain:

1. *Strength and durability*: pemakaian material non logam dalam lingkungan korosif.
2. Pengaruh terhadap reliabilitas mesin: pengaman padat yang dapat menyebabkan mesin kelebihan panas;

3. Visibilitas: alasan operasional dan keamanan untuk keperluan penglihatan yang jelas terhadap area bahaya;
4. Pengendalian bahaya lainnya: pemakaian material yang tidak memungkinkan pelepasan logam cair.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bruce R. Munson, Donald F. Young dan Theodore H. Okiishi, 2002, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, John Wiley & Sons, Inc.
2. Darwing Sebayang, 1981, *Kekuatan Bahan (Terjemahan dari Strength of Material)*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
3. Donald R Askeland dan Pradeep P Phule, 2006, *The Science and Engineering of Materials*, Thomson.
4. Ferdinand P. Beer dan E. Russel Johnston, 1996, *Mekanika untuk Insinyur: Statika*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
5. Frank M. White, 1991, *Fluid Mechanics*, Mc Graw-Hill.
6. Genick Bar-Meir, 2008, *Basics of Fluid Mechanics*, Minneapolis.
7. John H. Lienhard IV dan John H. Lienhard V, 201, *A Heat Transfer Textbook*, Phlogiston Press.
8. John W. Norbury, 2000, *Elementary Mechanics and Thermodynamics*, Physics Department, University of Wisconsin-Milwaukee.
9. Mahmoud M. Faraq, 2006, *Mechanical Engineers Handbook: Materials and Mechanical Design, Volume 1*, John Wiley & Sons Inc.
10. Marc Andre Meyers dan Krishan Kumarchawla, 1999, *Mechanical Behavior of Materials*, Prentice-Hall International.
11. Michael F. Ashby, 2005, *Materials Selection in Mechanical Design*, Butterworth-Heinemann.
12. Pierre R. Roberge, 2000, *Handbook of Corrosion Engineering*, McGraw-Hill.
13. Rajender Singh, 2006, *Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology*, New Age International Limited.
14. Richard G. Budynas dan J. Keith Nisbett, 2011, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, Mc. Graw-Hills.
15. Sriati Djaprie, 1981, *Teknologi Mekanik (Terjemahan dari Manufacturing Processes)*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
16. William F. Hosford dan Robert M. Caddel, 2007, *Metal Forming: Mechanics and Metallurgy*, Cambridge University Press.

Kontrak Perkuliahan

Identitas Mata Kuliah	: MES614101
Nama Mata Kuliah	: Pengantar Teknik Mesin
Jumlah SKS	: 2 (Dua)
Semester	: 1 (Satu)
Hari Pertemuan/jam	: Kamis/100 menit
Tempat Pertemuan	: Kampus Teknik Untirta, Cilegon
Manfaat Mata Kuliah	: Memberikan gambaran secara umum tentang berbagai kompetensi dasar keteknikan yang harus dimiliki oleh seorang insinyur teknik mesin.
Deskripsi Mata Kuliah	: Mata kuliah ini berisi tentang Program Studi Teknik Mesin Untirta, keprofesian insinyur dan dasar-dasar kompetensi keteknikan.
Standar Kompetensi	: Mahasiswa mengenal Jurusan Teknik Mesin Untirta dan mampu menguasai konsep-konsep dasar keteknikan.
Kompetensi Dasar	: <ol style="list-style-type: none">1. Mahasiswa mengenal dan memahami sejarah Program Studi Teknik Mesin.2. Mahasiswa mengetahui konsep dasar thermal dan dinamikanya.3. Mahasiswa menguasai konsep dasar material dan manufaktur serta metodologi pemilihannya untuk rancangan mekanikal.4. Mahasiswa menguasai konsep statika partikel dan aplikasinya di lapangan.5. Mahasiswa mengetahui dan memahami konsep kekuatan material dan kalkulasi sederhana.6. Mahasiswa memahami klasifikasi dan prosedur desain sistem mekanikal.
Strategi Perkuliahan	: Diskusi, presentasi, penugasan dan ceramah.
Materi Pokok	: <ol style="list-style-type: none">1. Sejarah, visi dan misi Jurusan Teknik Mesin Untirta,2. Peranan insinyur dan tantangan global,3. Mekanika Teknik (statika material dan kekuatan bahan),4. Konversi energy: fluida, termodinamika dan kalor,5. Material dan proses manufaktur,6. Perancangan desain mekanikal.
Bahan Bacaan	: <ol style="list-style-type: none">1. Darwin Sebayang, 1981, Kekuatan Bahan (Terjemahan dari <i>Strength of Material</i>), Jakarta: Penerbit Erlangga.

2. Donald R Askeland dan Pradeep P Phule, 2006, The Science and Engineering of Materials, Thomson.
3. Ferdinand P. Beer dan E. Russel Johnston, 1996, Mekanika untuk Insinyur: Statika, Jakarta: Penerbit Erlangga.
4. Genick Bar-Meir, 2008, Basics of Fluid Mechanics, Minneapolis.
5. Mahmoud M. Faraq, 2006, Mechanical Engineers Handbook: Materials and Mechanical Design, Volume 1, John Wiley & Sons Inc.
6. Marc Andre Meyers dan Krishan Kumarchawla, 1999, Mechanical Behavior of Materials, Prentice-Hall International.
7. Michael F. Ashby, 2005, Materials Selection in Mechanical Design, Butterworth-Heinemann.
8. Rajender Singh, 2006, Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology, New Age International Limited.
9. Richard G. Budynas dan J. Keith Nisbett, 2011, Shigley's Mechanical Engineering Design, Mc. Graw-Hills.
10. Sriati Djaprie, 1981, Teknologi Mekanik (Terjemahan dari Manufacturing Processes), Jakarta: Penerbit Erlangga.
11. Sunardi, 2013, Audit Mutu Internal, Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA.

Tugas-Tugas :

1. Laporan eksplorasi sumber daya alam di Propinsi Banten.
2. Presentasi.

Kriteria Penilaian :

1. Absensi : 10%
2. Tugas : 20%
3. UTS : 30%
4. UAS : 40%

Jadwal Kuliah :

- Kelas A : Kamis, Jam 10.50 s.d. 12.30
 Kelas B : Kamis, Jam 13.10 s.d. 14.50

Cilegon, Juli 2014
 Wakil Mahasiswa

Dosen Pengampu Mata Kuliah,

NIM.

NIP. 19731205 200604 1 002

SILABUS MATA KULIAH

Program Studi : Teknik Mesin
 Kode Mata Kuliah : MES614101
 Nama Mata Kuliah : Pengantar Teknik Mesin
 Jumlah SKS : 2 (Dua) SKS
 Mata Kuliah Pra Syarat : Tidak Ada
 Standar Kompetensi :

Mahasiswa mengenal Jurusan Teknik Mesin Untirta dan mampu menguasai konsep-konsep dasar keteknikan.

Kompetensi Dasar	Indikator	Materi Ajar	Waktu	Sumber Belajar	Penilaian
Mahasiswa mengenal dan memahami sejarah Program Studi Teknik Mesin	Mahasiswa dapat menjelaskan sejarah, visi dan misi JTM Untirta, profesi dan tantangan insinyur di masa depan.	1. Sejarah, Visi dan Misi JTM Untirta, 2. Profesionalitas insinyur 3. Kompetensi insinyur 4. Sumber daya alam nasional	200 menit	1. Dokumen Prodi Teknik Mesin UNTIRTA, 2. Diktat PTM	Presentasi, Laporan
Mahasiswa mengetahui konsep dasar thermal dan dinamikanya	Mahasiswa dapat menjelaskan konsep dasar dan penerapan mekanika fluida di lapangan	1. Dimensi dan satuan, 2. Sifat-sifat fluida, 3. Persamaan fluida, dan 4. Penerapan mekanika fluida	50 menit	Diktat PTM	QUIZ-UTS-UAS
	Mahasiswa dapat menjelaskan konsep dasar perpindahan panas	1. Macam-macam perpindahan panas, 2. Persamaan perpindahan panas, 3. Penerapan persamaan perpindahan panas.	50 menit	Diktat PTM	QUIZ-UTS-UAS
	Mahasiswa dapat memahami konsep termodinamika dan penerapannya pada produk.	1. Sistem dan sifat sistem. 2. Energi dan proses termodinamika. 3. Penerapan termodinamika	50 menit	Diktat PTM	QUIZ-UTS-UAS

Mahasiswa menguasai konsep dasar material dan manufaktur serta metodologi pemilihannya untuk rancangan mekanikal.	Mahasiswa mampu mengidentifikasi ragam material dan sifat-sifatnya	1. Klasifikasi material. 2. Karakteristik material.	100 menit	Diktat PTM	QUIZ-UTS-UAS
	Mahasiswa mampu menjelaskan proses manufaktur dan pengaruhnya terhadap performa material	1. Ragam proses manufaktur. 2. Perilaku material.	100 menit	Diktat PTM	QUIZ-UTS-UAS
	Mahasiswa dapat menjelaskan metode pemilihan material dan proses manufaktur.	Metodologi pemilihan material dan proses manufaktur			QUIZ-UTS-UAS
Mahasiswa menguasai konsep statika partikel dan aplikasinya di lapangan	Mahasiswa dapat menjelaskan tentang konsep gaya dan aplikasinya pada struktur rekayasa	1. Penguraian dan penjumlahan gaya, 2. Momen, 3. Gaya pada batang, 4. Gaya dalam, 5. Struktur mesin	50 menit	Diktat PTM	QUIZ-UTS-UAS
Mahasiswa mengetahui dan memahami konsep kekuatan material dan kalkulasi sederhana.	Mahasiswa dapat menjelaskan konsep tegangan	1. Tegangan sederhana, 2. Regangan sederhana, 3. Perilaku material	100 menit	Diktat PTM	QUIZ-UTS-UAS
Mahasiswa memahami klasifikasi dan prosedur desain sistem mekanikal.	Mahasiswa mengenal klasifikasi desain dan dapat menjelaskan prosedur serta pertimbangan desain mekanikal	1. Klasifikasi desain, 2. Pertimbangan desain, dan 3. Prosedur desain.	50 menit	Diktat PTM	QUIZ-UTS-UAS

Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

Cilegon, Desember 2014

Dosen Pengampu,

SUNARDI, M.Eng.

NIP. 19731205 200604 1 002

SUNARDI, M.Eng.

NIP. 19731205 200604 1 002

RENCANA PEMBELAJARAN

Nama Dosen : Sunardi, M.Eng.
Program Studi : Teknik Mesin
Kode Mata Kuliah : MES614101
Nama Mata Kuliah : Pengantar Teknik Mesin
Jumlah SKS : 2 SKS
Kelas/Semester : A-B/I (satu)
Pertemuan : 14 Pertemuan
Alokasi Waktu : @50 menit
Pertemuan :

- I. Standar Kompetensi :
- II. Kompetensi Dasa :
- III. Indikator :
- IV. Materi Ajar :
- V. Metode/Strategi Pembelajaran:
- VI. Tahap Pembelajaran:
 - A. Kegiatan Awal :
 - B. Kegiatan Inti :
 - C. Kegiatan Akhir :
- VII. ALat/Bahan/Sumber Belajar:
 - A. Alat/Media :
 - B. Bahan/Sumber Belajar :
- VIII. Penilaian
 - A. Teknik dan instrument penilaian :
 - B. Kriteria Penilaian :

Mengetahui Kajur/Kaprodi

Serang,2014
Dosen Mata Kuliah

NIP.

SILABUS
MATA KULIAH PENGANTAR TEKNIK MESIN (MES614101)

SUNARDI, M. Eng.

Kode Matakuliah MES614101	Bobot SKS 2 (DUA)	Semester 1 (SATU)	Sifat Wajib
Nama Matakuliah	Pengantar Teknik Mesin		
Silabus Ringkas	Mata kuliah ini memperkenalkan Program Studi Teknik Mesin UNTIRTA, profesi insinyur dan dasar-dasar ilmu teknik mesin beserta penerapannya di lapangan/industri.		
Silabus Lengkap	<p>Mata kuliah ini membahas tentang:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Program Studi Teknik Mesin UNTIRTA, seperti sejarah, visi, misi, pendidikan karakter, peranan insinyur, potensi alam nasional dan karakteristik insinyur dalam menghadapi persaingan global: 2. Dasar-dasar ilmu teknik mesin, seperti mekanika teknik, kekuatan bahan, fluida, perpindahan panas, termodinamika, material teknik, pengenalan proses manufaktur, metode pemilihan material dan proses manufaktur yang tepat serta dasar-dasar perancangan system mekanikal. 3. Gambaran umum dan penerapan konsep dasar keteknikan di industri dan kehidupan sehari-hari. 		
Luaran (Outcomes)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mampu menjelaskan visi dan misi Program Studi Teknik Mesin Untirta sehingga memiliki gerak yang sama dengan jurusan. 2. Mampu mengidentifikasi kompetensi dan tantangan global terkait dengan profesinya. 3. Mampu menjelaskan konsep-konsep dasar keteknikan dan penerapannya secara baik. 4. Mampu mengembangkan kompetensi keinsinyuran melalui pembelajaran eksploratif dan mandiri. 5. Memiliki karakteristik insinyur profesional. 		
Matakuliah Terkait	Fisika Dasar, Material Teknik		
Kegiatan Penunjang	Presentasi kerja kelompok		
Pustaka	<ol style="list-style-type: none"> 1. Darwin Sebayang, 1981, Kekuatan Bahan (Terjemahan dari Strength of Material), Jakarta: Penerbit Erlangga. 2. Donald R Askeland dan Pradeep P Phule, 2006, The Science and Engineering of Materials, Thomson. 3. Ferdinand P. Beer dan E. Russel Johnston, 1996, Mekanika untuk Insinyur: Statika, Jakarta: Penerbit Erlangga. 4. Genick Bar-Meir, 2008, Basics of Fluid Mechanics, Minneapolis. 5. Mahmoud M. Faraq, 2006, Mechanical Engineers Handbook: Materials and Mechanical Design, Volume 1, John Wiley & Sons Inc. 		

	6. Marc Andre Meyers dan Krishan Kumarchawla, 1999, Mechanical Behavior of Materials, Prentice-Hall International. 7. Michael F. Ashby, 2005, Materials Selection in Mechanical Design, Butterworth-Heinemann. 8. Rajender Singh, 2006, Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology, New Age International Limited. 9. Richard G. Budynas dan J. Keith Nisbett, 2011, Shigley's Mechanical Engineering Design, Mc. Graw-Hills. 10. Sriati Djaprie, 1981, Teknologi Mekanik (Terjemahan dari Manufacturing Processes), Jakarta: Penerbit Erlangga. 11. Sunardi, 2013, Audit Mutu Internal, Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA.		
Panduan Penilaian	Absensi	Ya	10%
	UTS	Ya	30%
	UAS	Ya	40%
	Tugas	Ya	20%
Catatan Tambahan			

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA,

Tangerang, Juli 2014
Dosen Pengampu,

Sunardi, M.Eng.
NIP. 19731205 200604 1 002

Sunardi, M.Eng.
NIP. 19731205 200604 1 002

SATUAN ACARA PERKULIAHAN (SAP)
JURUSAN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
MATA KULIAH PENGANTAR TEKNIK MESIN

Minggu	Topik	Sub Topik	Capaian Belajar Mahasiswa	Pustaka
1-2	Mengenal Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA	<ol style="list-style-type: none"> Sejarah Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA, visi, misi, kurikulum, profil dan laboratorium. Peranan insinyur dalam pembangunan nasional dan kompetisi global. 	<ol style="list-style-type: none"> Mahasiswa mengetahui dan memahami tentang Program Studi Teknik Mesin UNTIRTA. Mahasiswa memahami peran besar insinyur dalam pembangunan nasional dan kompetisi global. Tugas Kelompok: presentasi potensi sumber daya alam sekitar tempat tinggal. 	[11]
3	Konsep Dasar Statika Struktur	Konsep dasar statika, resultan gaya, penguraian gaya, keseimbangan partikel, momen dan aplikasi konsep statika struktur.	<ol style="list-style-type: none"> Mahasiswa memahami konsep dasar gaya dan keseimbangan. Mahasiswa mampu melakukan kalkulasi sederhana gaya-gaya. Mahasiswa mampu menyelesaikan persoalan sederhana sebuah struktur. Mahasiswa mengetahui aplikasi statika dalam rancangan mekanikal. 	[3]
4-5	Kekuatan Material	<ol style="list-style-type: none"> Konsep dasar tegangan. Lendutan balok. Kolom <i>buckling</i>. 	<ol style="list-style-type: none"> Mahasiswa memahami konsep dasar tegangan dan perhitungan sederhana. Mahasiswa mengetahui berbagai metode untuk menentukan lendutan pada balok. Mahasiswa mampu mengidentifikasi tipe kolom dan beban kritisnya. 	[1] [5] [6] [9] [10]
6	Mekanika Fluida dan Penerapannya	<ol style="list-style-type: none"> Dimensi dan satuan. Sifat-sifat fluida. 	<ol style="list-style-type: none"> Mahasiswa mengetahui dimensi dan satuan yang digunakan dalam pembahasan fluida. Mahasiswa mampu menjelaskan sifat-sifat fluida. 	[4] [5]
7	Perpindahan Panas dalam Rancangan Mekanikal.	Macam-macam perpindahan panas	<ol style="list-style-type: none"> Mahasiswa mengetahui klasifikasi perpindahan panas. Mahasiswa mampu melakukan kalkulasi 	[5]

			sederhanan proses perpendahan panas pada material.	
8	<i>Ujian Tengah Semester (UTS)</i>			
9-10	Peranan Termodinamika di Bidang Teknik	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistem dan sifat-sifatnya. 2. Energi. 3. Proses-proses termodinamika. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mahasiswa mampu mengidentifikasi sebuah sistem dan karakteristiknya. 2. Mahasiswa mampu membaca diagram P-T dan T-V. 3. Mahasiswa mampu menjelaskan karakteristik proses termodinamika. 	[5]
11-12	Material untuk Rekayasa Struktur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Klasifikasi material dan fungsional. 2. Karakteristik material: mekanikal, elektrikal dan thermal 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mahasiswa mampu mengklasifikasikan jenis material dan contoh produk. 2. Mahasiswa mampu mengidentifikasi karakteristik mekanis, elektris dan termis. 	[2] [5] [6] [9] [10]
13-14	Pemilihan Material dan Proses untuk Struktur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perilaku material dalam kondisi operasional. 2. Ragam proses manufaktur dan pengaruhnya terhadap sifat material. 3. Metodologi pemilihan proses dan material. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mahasiswa mampu mengidentifikasi perilaku material ketika beroperasi. 2. Mahasiswa mampu menjelaskan proses manufaktur dan dampaknya terhadap sifat-sifat mekanis material. 3. Mahasiswa mengenal berbagai metode untuk optimasi material dan prosesnya. 	[7] [8] [10]
15	Perancangan Sistem Mekanikal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Klasifikasi desain mesin. 2. Pertimbangan dan prosedur umum dalam desain mesin. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mahasiswa mampu mengklasifikasikan macam-macam desain mesin. 2. Mahasiswa mampu menjelaskan pertimbangan dan prosedur umum dalam desain mesin. 	[9]
16	<i>Ujian Akhir Semester (UAS)</i>			

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA,

Tangerang, Juli 2014
Dosen Pengampu,

Sunardi, M.Eng.
NIP. 19731205 200604 1 002

Sunardi, M.Eng.
NIP. 19731205 200604 1 002