



JILID 1

MATERIAL TEKNIK

Ir. Bartolomeus Rante Allo, S.T., M.T.

MATERIAL TEKNIK

JILID 1

Penulis :

Ir. Bartolomeus Rante Allo, S.T., M.T.



MATERIAL TEKNIK

JILID 1

Penulis:

Ir. Bartolomeus Rante Allo, S.T., M.T.

Desain Cover:

Andi Juliandi

Sumber Ilustrasi:

www.freepik.com

Tata Letak:

Handarini Rohana

Editor:

Neneng Sri Wahyuni

ISBN Jilid Lengkap:

978-634-246-232-4

ISBN Jilid 1:

978-634-246-233-1

Cetakan Pertama:

Agustus, 2025

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

WIDINA MEDIA UTAMA

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 519/JBA/2025

Website: www.penerbitwidina.com

Instagram: [@penerbitwidina](https://www.instagram.com/penerbitwidina)

Telepon (022) 87355370

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku ajar yang berjudul "Material Teknik" ini. Buku ini disusun sebagai salah-satu sumber belajar utama bagi para mahasiswa di bidang rekayasa dan teknik, serta bagi para praktisi yang ingin memperdalam pemahaman mengenai dunia material. Perkembangan teknologi yang pesat menuntut adanya inovasi berkelanjutan, dan inti dari inovasi tersebut seringkali terletak pada penemuan dan pengembangan material baru. Oleh karena itu, pemahaman yang fundamental dan komprehensif mengenai material teknik menjadi sebuah keniscayaan yang tidak dapat ditawar. Buku ini dirancang untuk menjembatani antara teori dasar ilmu material dengan aplikasi praktis di dunia industri, mengupas tuntas hubungan esensial antara struktur, sifat, proses, dan performa material.

KATA PENGANTAR

Buku ajar ini hadir di hadapan pembaca dan mahasiswa sebagai panduan untuk menyelami kompleksitas dan keajaiban dunia material teknik. Harapan terbesar penulis adalah agar buku ini tidak hanya menjadi kumpulan teori, tetapi juga menjadi pemicu rasa ingin tahu, mendorong pemikiran kritis, dan menginspirasi lahirnya inovasi-inovasi baru berbasis material. Setiap bab dirancang secara sistematis, dimulai dari konsep-konsep dasar hingga aplikasi-aplikasi terkini, dilengkapi dengan contoh kasus, rangkuman, dan soal latihan untuk menguji serta memperdalam pemahaman. Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari segenap pembaca akan diterima dengan tangan terbuka untuk perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik moril maupun materiel, dalam proses penyusunan buku ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia.

DAFTAR ISI

PRAKATA	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
BAB 1: PENGANTAR MATERIAL TEKNIK	1
Tujuan Pembelajaran	1
Pendahuluan	1
A. Definisi dan Klasifikasi Material Teknik	2
1. Konsep Dasar Material Teknik	4
2. Penggolongan Material Utama (Logam, Keramik, Polimer)	5
3. Penggolongan Material Maju (Komposit, Semikonduktor, Biomaterial)	5
B. Hubungan antara Struktur, Sifat, dan Proses	6
1. Struktur Material (Atom, Mikro, Makro)	8
2. Sifat Material (Mekanik, Fisik, Kimia)	8
3. Proses Manufaktur dan Pengerjaan	9
C. Sifat Mekanik Material	10
1. Kekuatan, Kekerasan, Keuletan, dan Ketangguhan	11
2. Konsep Elastisitas dan Plastisitas	12
3. Sifat Dinamis: Kelelahan dan Mulur	13
D. Sifat Fisik dan Kimia Material	14
1. Sifat Termal (Konduktivitas, Ekspansi)	15
2. Sifat Listrik, Magnetik, dan Optik	15
3. Sifat Kimia (Korosi dan Degradasi)	16
E. Peran Material Teknik dalam Rekayasa	17
1. Pemilihan Material dalam Desain Produk	18
2. Inovasi Material untuk Teknologi Terkini	19
3. Dampak Material terhadap Lingkungan dan Keberlanjutan	19
Rangkuman Bab	20
Latihan Mahasiswa	21
REFERENSI	26
BAB 2: STRUKTUR ATOM DAN IKATAN KIMIA DALAM MATERIAL	27
Tujuan Pembelajaran	27
Pendahuluan	27
A. Struktur Atom dan Tabel Periodik	28
1. Model Atom Bohr dan Mekanika Kuantum	29
2. Konfigurasi Elektron dan Elektronegativitas	30

3. Tabel Periodik dan Klasifikasi Unsur	31
B. Ikatan Primer Material	32
1. Ikatan Ionik (Elektron Valensi Berpindah).....	33
2. Ikatan Kovalen (Elektron Valensi Berbagi)	34
3. Ikatan Logam (Laut Elektron Valensi)	35
C. Ikatan Sekunder Material	36
1. Ikatan Van der Waals (Gaya Dipol)	37
2. Ikatan Hidrogen (Interaksi Elektrostatik)	38
3. Pengaruh Ikatan Sekunder terhadap Sifat Fisik	39
D. Energi Ikatan dan Sifat-sifat Material	39
1. Hubungan Energi Ikatan dan Titik Leleh	41
2. Hubungan Energi Ikatan dan Modulus Elastisitas	41
3. Hubungan Energi Ikatan dan Koefisien Ekspansi Termal	42
E. Ikatan Campuran dan Struktur Molekuler.....	43
1. Ikatan Kovalen-Ionik pada Keramik	44
2. Ikatan Kimia pada Polimer	45
3. Sifat Material Berdasarkan Jenis dan Kekuatan Ikatan	45
Rangkuman Bab	46
Latihan Mahasiswa	47
REFERENSI	52
BAB 3: STRUKTUR KRISTAL MATERIAL PADAT	53
Tujuan Pembelajaran	53
Pendahuluan	53
A. Struktur Kristal dan Sel Satuan	54
1. Konsep Kisi Kristal dan Sel Satuan.....	55
2. Sistem Kristal (7 Sistem Kristal).....	56
3. Parameter Kisi dan Jumlah Atom per Sel Satuan	57
B. Struktur Kristal Logam Umum	57
1. Body-Centered Cubic (BCC).....	58
2. Face-Centered Cubic (FCC).....	59
3. Hexagonal Close-Packed (HCP)	59
C. Indeks Kristalografi	60
1. Indeks Miller untuk Arah Kristal.....	61
2. Indeks Miller untuk Bidang Kristal	61
3. Densitas Linear dan Planar.....	62
D. Defek Kristal.....	63
1. Defek Titik (Vakansi dan Interstitial).....	64
2. Defek Garis (Dislokasi)	64
3. Defek Permukaan dan Batas Butir	65

E. Fenomena Difusi dalam Material	65
1. Mekanisme Difusi (Vakansi dan Interstitial)	66
2. Hukum Fick I dan Hukum Fick II	67
3. Faktor yang Mempengaruhi Laju Difusi	67
Rangkuman Bab	68
Latihan Mahasiswa	69
REFERENSI	73
BAB 4: SIFAT MEKANIK MATERIAL	75
Tujuan Pembelajaran	75
Pendahuluan	75
A. Pengujian Tarik (Tension Test)	76
1. Prosedur dan Standar Pengujian	77
2. Kurva Tegangan-Regangan (Engineering Stress-Strain)	78
3. Nilai-nilai Kritis dari Kurva: Kekuatan Luluh, Kekuatan Tarik	79
B. Konsep Tegangan dan Regangan	80
1. Tegangan Normal dan Geser	80
2. Regangan Elastis dan Plastis	81
3. Modulus Elastisitas dan Hukum Hooke	82
C. Keuletan, Kekerasan, dan Ketangguhan	82
1. Definisi dan Pengukuran Keuletan	83
2. Metode Pengujian Kekerasan (Brinell, Rockwell, Vickers)	84
3. Konsep Ketangguhan dan Pengujian Impak	84
D. Fenomena Kelelahan (Fatigue)	85
1. Mekanisme Kerusakan Akibat Beban Siklus	86
2. Kurva S-N (Stress-Number of Cycles)	87
3. Faktor yang Mempengaruhi Kelelahan	87
E. Fenomena Mulur (Creep)	88
1. Definisi dan Mekanisme Mulur	89
2. Kurva Mulur (Creep Curve)	89
3. Faktor yang Mempengaruhi Mulur dan Aplikasinya	90
Rangkuman Bab	90
Latihan Mahasiswa	91
REFERENSI	96
BAB 5: DIAGRAM FASA DAN PADUAN LOGAM	99
Tujuan Pembelajaran	99
Pendahuluan	99
A. Konsep Fasa dan Keseimbangan Fasa	100
1. Definisi Fasa dan Komponen	101
2. Diagram Fasa Keseimbangan	102
3. Aturan Fasa Gibbs	102

B. Diagram Fasa Biner	103
1. Sistem Biner dengan Kelarutan Padat Lengkap	104
2. Sistem Biner Eutektik (Batas Kelarutan Padat)	105
3. Analisis Mikrostruktur dan Perhitungan Fasa (Lever Rule)	105
C. Sistem Besi-Karbon	106
1. Diagram Fasa Fe-C (Fase dan Transformasi)	107
2. Paduan Besi-Karbon: Besi Cor dan Baja	107
3. Mikrostruktur pada Pendinginan Lambat (Perlit, Ferit, Sementit)	108
D. Pengerjaan Panas (Heat Treatment)	108
1. Pengenalan Pengerjaan Panas pada Baja	109
2. Proses Anneling, Normalizing, Hardening	110
3. Kurva TTT (Time-Temperature-Transformation)	110
E. Paduan Non-Ferrous	111
1. Paduan Tembaga (Kuningan dan Perunggu)	112
2. Paduan Aluminium (Seri 2xxx, 7xxx)	112
3. Paduan Titanium dan Nikel	112
Rangkuman Bab	113
Latihan Mahasiswa	115
REFERENSI	119
BAB 6: MATERIAL LOGAM	121
Tujuan Pembelajaran	121
Pendahuluan	121
A. Penggolongan dan Sifat-sifat Baja	122
1. Klasifikasi Baja Karbon (Rendah, Menengah, Tinggi)	123
2. Baja Paduan (Alloy Steels) dan Perannya	124
3. Sifat Mekanik dan Aplikasi Berbagai Jenis Baja	125
B. Besi Cor (Cast Iron)	126
1. Pengenalan Besi Cor Kelabu (Grey Cast Iron)	127
2. Pengenalan Besi Cor Putih (White Cast Iron)	127
3. Jenis Besi Cor Lain dan Aplikasinya	128
C. Logam Non-Ferrous	128
1. Logam Aluminium dan Paduannya	129
2. Logam Tembaga dan Paduannya	130
3. Logam Titanium dan Paduannya	130
D. Proses Produksi Logam	131
1. Ekstraksi Logam dari Bijih	132
2. Pembentukan Logam (Forming): Pengecoran, Penempaan, Penggulungan	132
3. Pengerjaan Panas (Heat Treatment) dan Pengaruhnya	133

E. Korosi pada Logam	134
1. Mekanisme Dasar Korosi Elektrokimia	135
2. Jenis-jenis Korosi (Seragam, Pitting, Galvanik)	135
3. Metode Pencegahan Korosi (Pelapisan, Proteksi Katodik)	136
Rangkuman Bab	137
Latihan Mahasiswa	137
REFERENSI	142
BAB 7: MATERIAL KERAMIK	143
Tujuan Pembelajaran	143
Pendahuluan	143
A. Struktur dan Sifat Dasar Keramik	144
1. Ikatan Atom pada Keramik (Kovalen dan Ionik)	145
2. Struktur Kristal Keramik (AX, AmXp)	146
3. Sifat Khas Keramik: Kekerasan Tinggi dan Kerapuhan	146
B. Keramik Tradisional	147
1. Proses Produksi (Pembentukan, Pengeringan, Pembakaran)	148
2. Jenis-jenis Keramik Tradisional (Gerabah, Batu Bata)	149
3. Aplikasi Keramik Tradisional dalam Kehidupan Sehari-hari	149
C. Keramik Teknik (Advanced Ceramics)	150
1. Sifat Unggul Keramik Teknik (Alumina, Zirkonia, Silikon Karbida)	151
2. Aplikasi di Bidang Elektronik (Substrat, Kapasitor)	151
3. Aplikasi di Bidang Medis (Implan Ortopedi, Gigi)	152
D. Sifat Fisik dan Termal Keramik	153
1. Sifat Termal (Tahan Panas, Konduktivitas Rendah)	154
2. Sifat Listrik (Isolator dan Superkonduktor)	154
3. Pengujian Sifat Mekanik Keramik	155
E. Penggunaan Keramik dalam Industri Modern	155
1. Refraktori untuk Tungku Industri	156
2. Keramik untuk Sensor dan Transduser	157
3. Pengembangan Biokeramik dan Keramik Komposit	157
Rangkuman Bab	158
Latihan Mahasiswa	159
REFERENSI	163

BAB 1

PENGANTAR MATERIAL TEKNIK

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan definisi dan lingkup ilmu material teknik dalam konteks rekayasa.
2. Mengklasifikasikan material teknik ke dalam golongan utama (logam, keramik, polimer) dan golongan maju (komposit, semikonduktor, biomaterial).
3. Menganalisis hubungan fundamental antara struktur, sifat, proses, dan performa material.
4. Mengidentifikasi dan mendeskripsikan sifat-sifat dasar material, meliputi sifat mekanik, fisik, dan kimia.
5. Menjelaskan peran krusial pemilihan material dalam proses desain rekayasa.
6. Menilai dampak penggunaan material terhadap lingkungan dan pentingnya aspek keberlanjutan.
7. Memberikan contoh inovasi teknologi yang dimungkinkan oleh pengembangan material baru.

Pendahuluan

Ilmu dan rekayasa material adalah bidang interdisipliner yang mempelajari hubungan antara struktur material pada berbagai skala dengan sifat-sifatnya. Sejarah peradaban manusia secara intrinsik terkait erat dengan kemampuannya dalam memanfaatkan material. Kita mengenal era peradaban berdasarkan material dominan yang digunakan, seperti Zaman Batu, Zaman Perunggu, dan Zaman Besi. Setiap era menandai lompatan teknologi yang signifikan, yang dimungkinkan oleh penemuan atau penguasaan cara mengolah material baru. Kemampuan untuk membuat perkakas yang lebih kuat, senjata yang lebih tajam, atau wadah yang lebih tahan lama secara langsung membentuk struktur sosial, ekonomi, dan militer pada masanya. Evolusi ini menunjukkan bahwa material bukan sekadar objek pasif, melainkan enabler atau pemungkin kemajuan teknologi.

Memasuki era modern, peran material menjadi semakin sentral dan kompleks. Revolusi industri tidak akan terjadi tanpa kemampuan memproduksi baja secara massal. Era informasi dan digital saat ini bergantung sepenuhnya pada material semikonduktor seperti silikon.

REFERENSI

- Ashby, M. F. (2018). *Materials selection in mechanical design* (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Aversa, R., Petrescu, R. V. V., Apicella, A., & Petrescu, F. I. T. (2017). Modern materials for modern engines. *Journal of Aircraft and Spacecraft Technology*, 1(1), 1-14. <https://doi.org/10.3844/jastsp.2017.1.14>
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.
- Hadi, M., & Du, H. (2021). Smart materials and structures: A review. *Smart Materials and Structures*, 30(8), 083001. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/ac0c3c>
- Kumar, A., & Krishnan, S. (2021). An overview of mechanical properties of materials. In *Materials Science and Engineering*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97371>
- Salih, E., & Aravinthan, T. (2022). A review on recent advances in sustainable engineering materials. *Materials Today: Proceedings*, 65, 3037-3043. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.536>
- Sapuan, S. M., & Ilyas, R. A. (2021). *Biocomposites for food packaging applications*. Elsevier.
- Shackelford, J. F. (2020). *Introduction to materials science for engineers* (8th ed.). Pearson.
- Suryanarayana, C., & Ivanov, E. (2017). The science and technology of mechanical alloying. *Progress in Materials Science*, 90, 1-124. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.06.002>
- Tor-Świątek, A., & Rorat, R. (2021). The importance of structure in materials science. *Materials*, 14(16), 4683. <https://doi.org/10.3390/ma14164683>
- Zhang, W., Xu, Y., Zhang, C., & Li, H. (2018). The rise of 2D materials and their composites: from synthesis to device applications. *Small*, 14(20), 1704124. <https://doi.org/10.1002/sml.201704124>

BAB 2

STRUKTUR ATOM DAN IKATAN KIMIA DALAM MATERIAL

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan model-model atom fundamental dan kaitannya dengan konfigurasi elektron.
2. Menggunakan tabel periodik untuk memprediksi tren sifat-sifat unsur yang relevan dengan ilmu material.
3. Membedakan tiga jenis ikatan kimia primer: ionik, kovalen, dan logam.
4. Mengidentifikasi ikatan sekunder (van der Waals dan hidrogen) dan menjelaskan pengaruhnya terhadap sifat material.
5. Menganalisis hubungan antara energi ikatan dengan sifat-sifat makroskopik seperti titik leleh, modulus elastisitas, dan ekspansi termal.
6. Menjelaskan karakteristik ikatan campuran yang ditemukan pada material keramik dan polimer.
7. Memprediksi sifat umum suatu material berdasarkan jenis ikatan kimia dominan yang dimilikinya.

Pendahuluan

Pada Bab 1, kita telah memahami bahwa struktur internal suatu material menentukan sifat-sifatnya. Kini, kita akan menyelam lebih dalam ke tingkat paling fundamental dari struktur tersebut, yaitu level atomik. Segala sesuatu di sekitar kita, dari baja pada konstruksi jembatan hingga silikon pada cip komputer, tersusun dari atom. Cara atom-atom ini berinteraksi dan saling mengikat satu sama lain adalah penentu utama mengapa suatu material bersifat kuat, sementara yang lain rapuh, mengapa satu material menghantarkan listrik, dan yang lain menjadi isolator. Interaksi ini diatur oleh hukum-hukum fisika dan kimia yang fundamental, yang berpusat pada perilaku elektron di dalam atom.

Pemahaman tentang struktur atom dan ikatan kimia adalah fondasi dari ilmu material. Tanpa pemahaman ini, upaya untuk merancang material baru atau memodifikasi material yang ada hanya akan menjadi serangkaian coba-coba tanpa arah. Dengan memahami bagaimana elektron di kulit terluar berperilaku dan bagaimana hal tersebut mengarah pada pembentukan ikatan yang stabil, kita dapat mulai memprediksi dan menjelaskan sifat-sifat yang

Kunci Jawaban Soal Pilihan Ganda

1. C
2. C
3. B
4. D
5. B
6. C
7. C
8. B
9. C
10. B

REFERENSI

- Atkins, P., & de Paula, J. (2018). *Physical chemistry* (11th ed.). Oxford University Press.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.
- Carter, C. B., & Norton, M. G. (2021). *Ceramic materials: Science and engineering* (3rd ed.). Springer.
- Ehrenstein, G. W., Riedel, G., & Trawiel, P. (2021). *Polymer engineering: Fundamentals and applications*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- Israelachvili, J. N. (2011). *Intermolecular and surface forces* (3rd ed.). Academic Press.
- Jeffrey, G. A. (1997). *An introduction to hydrogen bonding*. Oxford University Press.
- Jensen, W. B. (1995). The historical development of the van Arkel-Ketelaar diagram of bonding. *Bulletin for the History of Chemistry*, 17, 1-15.
- Pauling, L. (1960). *The nature of the chemical bond and the structure of molecules and crystals: An introduction to modern structural chemistry* (3rd ed.). Cornell University Press.
- Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonnette, C. (2017). *General chemistry: Principles and modern applications* (11th ed.). Pearson.
- Shackelford, J. F. (2020). *Introduction to materials science for engineers* (8th ed.). Pearson.
- Zhang, H., & Li, X. (2019). Bond energy and its relationship with mechanical properties of materials. *Journal of Materials Science & Technology*, 35(10), 2275-2284.
<https://doi.org/10.1016/j.jmst.2019.05.053>

BAB 3

STRUKTUR KRISTAL MATERIAL PADAT

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Membedakan antara material kristalin dan amorf berdasarkan keteraturan atomiknya.
2. Mendefinisikan konsep kisi kristal, sel satuan, dan tujuh sistem kristal.
3. Menggambarkan dan membandingkan tiga struktur kristal logam yang umum: *Body Centered Cubic* (BCC), *Face Centered Cubic* (FCC), dan *Hexagonal Close Packed* (HCP).
4. Menentukan Indeks Miller untuk arah dan bidang kristalografi dalam sel satuan kubik.
5. Mengklasifikasikan dan menjelaskan berbagai jenis ketidaksempurnaan atau defek dalam kristal, termasuk defek titik, garis, dan permukaan.
6. Menjelaskan mekanisme atomik dari proses difusi dalam padatan.
7. Menerapkan Hukum Fick pertama dan kedua untuk menganalisis proses difusi dalam kondisi tunak dan tidak tunak.

Pendahuluan

Pada Bab 2, kita telah memahami bagaimana atom-atom saling terikat melalui ikatan primer dan sekunder. Namun, kekuatan dan jenis ikatan saja tidak cukup untuk menjelaskan seluruh spektrum sifat material. Langkah selanjutnya adalah memahami bagaimana atom-atom yang telah terikat ini menyusun diri mereka dalam ruang tiga dimensi. Sebagian besar material padat, terutama logam dan keramik, memiliki atom-atom yang tersusun dalam pola yang teratur, berulang, dan dapat diprediksi dalam jarak yang jauh. Susunan teratur ini dikenal sebagai struktur kristal, dan material yang memilikinya disebut material kristalin. Sebaliknya, beberapa material seperti kaca dan banyak polimer memiliki susunan atom yang acak dan tidak teratur, yang disebut sebagai struktur amorf.

Struktur kristal adalah salah satu faktor paling fundamental yang menentukan sifat-sifat suatu material. Bayangkan mencoba menyusun kelereng dalam sebuah kotak. Ada cara-cara penyusunan yang sangat efisien dan padat, dan ada cara-cara lain yang kurang efisien. Demikian pula, atom-atom dalam padatan akan menyusun diri dalam konfigurasi energi terendah, yang seringkali merupakan susunan yang paling padat. Cara atom-atom ini "berkemas" secara langsung mempengaruhi densitas, kekakuan, dan yang

5. **Poin Kunci:** Proses ini adalah difusi non-tunak yang dikendalikan oleh suhu.
- **Fenomena Fisika:** Fenomena yang terjadi adalah **difusi interstitial non-tunak**. Atom karbon dari atmosfer kaya karbon berdifusi ke dalam permukaan baja yang panas. Karena atom karbon lebih kecil dari atom besi, ia bergerak melalui mekanisme interstitial.
 - **Faktor yang Mempengaruhi:** Kedalaman penetrasi dikendalikan oleh laju difusi. Faktor utamanya adalah: (1) **Suhu:** Faktor paling penting. Menurut persamaan Arrhenius, menaikkan suhu akan meningkatkan koefisien difusi secara eksponensial, sehingga mempercepat penetrasi. (2) **Waktu:** Semakin lama proses, semakin dalam karbon berdifusi. (3) **Gradien Konsentrasi:** Perbedaan konsentrasi karbon antara atmosfer dan di dalam baja menjadi gaya pendorong difusi.

Kunci Jawaban Soal Pilihan Ganda

1. C
2. B
3. D
4. D
5. C
6. C
7. C
8. B
9. C
10. C

REFERENSI

- Ashcroft, N. W., & Mermin, N. D. (1976). *Solid state physics*. Holt, Rinehart and Winston.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.
- Hahn, T. (Ed.). (2005). *International tables for crystallography, volume A: Space-group symmetry* (5th ed.). Springer.
- Hirth, J. P., & Lothe, J. (1982). *Theory of dislocations* (2nd ed.). Wiley.
- Hull, D., & Bacon, D. J. (2011). *Introduction to dislocations* (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Kittel, C. (2018). *Introduction to solid state physics* (9th ed.). Wiley.
- Mehrer, H. (2007). *Diffusion in solids: Fundamentals, methods, materials, diffusion-controlled processes*. Springer Science & Business Media.

- Philibert, J. (2005). One and a half century of diffusion: Fick, Einstein, before and beyond. *Diffusion Fundamentals*, 2, 1.1-1.18.
- Porter, D. A., & Easterling, K. E. (2021). *Phase transformations in metals and alloys* (4th ed.). CRC press.
- Shackelford, J. F. (2020). *Introduction to materials science for engineers* (8th ed.). Pearson.

BAB 4

SIFAT MEKANIK MATERIAL

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan prosedur dan tujuan dari pengujian tarik standar serta menginterpretasikan data yang dihasilkannya.
2. Mendefinisikan dan membedakan antara tegangan dan regangan, baik *engineering* maupun *true*.
3. Menganalisis kurva tegangan-regangan untuk menentukan properti-properti kunci seperti modulus elastisitas, kekuatan luluh, dan kekuatan tarik.
4. Membedakan dan menjelaskan metode pengukuran untuk keuletan, kekerasan, dan ketangguhan material.
5. Menganalisis mekanisme kegagalan akibat kelelahan (*fatigue*) dan menginterpretasikan kurva S-N.
6. Menjelaskan fenomena mulur (*creep*) sebagai mekanisme deformasi yang bergantung pada waktu dan suhu.
7. Mengidentifikasi faktor-faktor utama yang mempengaruhi perilaku mekanik suatu material dalam aplikasi rekayasa.

Pendahuluan

Dalam merancang struktur atau komponen apapun, mulai dari kerangka gedung pencakar langit hingga implan panggul buatan, pertanyaan paling fundamental yang harus dijawab oleh seorang insinyur adalah: "Apakah material ini cukup kuat?". Pertanyaan ini melampaui sekadar intuisi atau perkiraan, ia menuntut jawaban yang kuantitatif, dapat diukur, dan andal. Sifat mekanik material adalah cabang ilmu yang menyediakan jawaban tersebut. Ia adalah studi tentang bagaimana material merespons atau berdeformasi terhadap gaya atau beban yang diterapkan. Memahami sifat mekanik adalah inti dari desain rekayasa yang aman dan efisien.

Pada bab-bab sebelumnya, kita telah menjelajahi fondasi material dari level atomik, ikatan kimia, hingga struktur kristal. Kita telah memahami "mengapa" material memiliki karakteristik tertentu. Sekarang, kita akan beralih ke "bagaimana", yaitu bagaimana kita mengukur, mengkuantifikasi, dan menggunakan karakteristik tersebut dalam praktik rekayasa. Jembatan antara struktur internal dan performa di dunia nyata dibangun melalui pengujian mekanik. Melalui serangkaian pengujian yang terstandarisasi, kita

9. C

10. B

Kunci Jawaban Studi Kasus

1. Hitung Luas:

- Radius awal (r_0) = $12.8 \text{ mm} / 2 = 6.4 \text{ mm} = 6.4 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $A_0 = \pi \cdot r_0^2 = \pi \cdot (6.4 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \approx 1.287 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- Radius akhir (r_f) = $9.5 \text{ mm} / 2 = 4.75 \text{ mm} = 4.75 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $A_f = \pi \cdot r_f^2 = \pi \cdot (4.75 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \approx 7.088 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

2. Hitung Kekuatan:

- Kekuatan Luluh (σ_y) = Gaya luluh / $A_0 = 35,400 \text{ N} / 1.287 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \approx 275,000,000 \text{ Pa} = \mathbf{275 \text{ MPa}}$
- Kekuatan Tarik (UTS) = Beban Maksimum / $A_0 = 52,500 \text{ N} / 1.287 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \approx 407,900,000 \text{ Pa} = \mathbf{408 \text{ MPa}}$

3. Hitung Modulus Elastisitas: (Gunakan data dari wilayah elastis, yaitu titik batas proporsional)

- Tegangan di batas proporsional (σ_p) = $35,000 \text{ N} / 1.287 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \approx 272 \text{ MPa}$
- Regangan di batas proporsional (ϵ_p) = $\Delta L / L_0 = (50.085 - 50.000) \text{ mm} / 50.000 \text{ mm} = 0.0017$
- $E = \sigma_p / \epsilon_p = 272 \text{ MPa} / 0.0017 \approx 160,000 \text{ MPa} = \mathbf{160 \text{ GPa}}$

4. Hitung Keuletan:

- $\%EL = ((L_f - L_0) / L_0) \times 100\% = ((59.700 - 50.000) / 50.000) \times 100\% = \mathbf{19.4\%}$
- $\%RA = ((A_0 - A_f) / A_0) \times 100\% = ((1.287 - 0.7088) / 1.287) \times 100\% \approx \mathbf{44.9\%}$

REFERENSI

- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2020). *Mechanics of materials* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.
- Chandler, H. (1999). *Hardness testing*. ASM International.
- Davis, J. R. (Ed.). (2004). *Tensile testing* (2nd ed.). ASM International.
- Dieter, G. E. (1988). *Mechanical metallurgy*. McGraw-Hill.
- Dowling, N. E. (2019). *Mechanical behavior of materials: Engineering methods for deformation, fracture, and fatigue* (5th ed.). Pearson.
- Kassner, M. E., & Pérez-Prado, M. T. (2004). *Fundamentals of creep in metals and alloys*. Elsevier.

- Schijve, J. (2009). *Fatigue of structures and materials* (2nd ed.). Springer.
- Stephens, R. I., Fatemi, A., Stephens, R. R., & Fuchs, H. O. (2000). *Metal fatigue in engineering* (2nd ed.). Wiley.
- Totten, G. E. (2002). *Handbook of mechanical testing*. Marcel Dekker.
- Westbrook, J. H., & Conrad, H. (Eds.). (2012). *The science of hardness testing and its research applications*. ASM International.

BAB 5

DIAGRAM FASA DAN PADUAN LOGAM

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Mendefinisikan konsep fasa, komponen, dan kesetimbangan fasa, serta menerapkan Aturan Fasa Gibbs.
2. Membaca dan menginterpretasikan diagram fasa biner, baik sistem isomorf maupun eutektik.
3. Menggunakan Aturan Tuas (*Lever Rule*) untuk menghitung fraksi massa dan komposisi fasa pada daerah dua fasa.
4. Menganalisis diagram fasa besi-karbon (Fe-Fe₃C) untuk memahami fasa dan transformasi yang terjadi pada baja dan besi cor.
5. Menjelaskan tujuan dan prinsip dasar dari berbagai proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada baja, seperti *annealing*, *normalizing*, dan *hardening*.
6. Menginterpretasikan kurva Transformasi Waktu-Suhu (*Time-Temperature-Transformation*, TTT) untuk memprediksi mikrostruktur non-kesetimbangan.
7. Mengidentifikasi karakteristik dan aplikasi umum dari paduan-paduan non-ferrous utama seperti paduan tembaga, aluminium, dan titanium.

Pendahuluan

Pada bab sebelumnya, kita telah mengkaji bagaimana sifat-sifat mekanik suatu material dapat diukur dan diquantifikasi. Namun, dalam dunia rekayasa, kita jarang menggunakan material dalam bentuknya yang murni. Sebagian besar logam yang digunakan adalah paduan (*alloy*), yaitu campuran dari dua atau lebih unsur, di mana setidaknya satu di antaranya adalah logam. Tujuan dari pemaduan adalah untuk menciptakan material baru dengan kombinasi sifat yang lebih unggul, seperti kekuatan yang lebih tinggi, ketahanan korosi yang lebih baik, atau ketahanan mulur yang meningkat. Proses ini adalah inti dari rekayasa material, yaitu merancang material dengan performa yang spesifik.

Pertanyaan yang kemudian muncul adalah, bagaimana kita bisa memprediksi struktur dan sifat dari suatu paduan ketika kita mencampurkan unsur-unsur dalam proporsi yang berbeda? Bagaimana struktur tersebut berubah ketika paduan dipanaskan atau didinginkan? Jawaban atas pertanyaan-pertanyaan ini terletak pada sebuah alat grafis yang sangat kuat

REFERENSI

- Abbasi, M., & Thorat, I. (2021). Eutectic alloys for thermal energy storage: A review. *Journal of Energy Storage*, 40, 102737. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102737>
- Bhadeshia, H. K. D. H. (2017). *Bainite in steels: Theory and practice* (3rd ed.). CRC Press.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.
- Gaskell, D. R., & Laughlin, D. E. (2017). *Introduction to the thermodynamics of materials* (6th ed.). CRC Press.
- Kaufman, J. G. (2019). *Introduction to aluminum alloys and tempers*. ASM International.
- Okamoto, H. (2010). *Desk handbook: Phase diagrams for binary alloys* (2nd ed.). ASM International.
- Polmear, I., StJohn, D., Nie, J. F., & Qian, M. (2017). *Light alloys: Metallurgy of the light metals* (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Porter, D. A., & Easterling, K. E. (2021). *Phase transformations in metals and alloys* (4th ed.). CRC Press.
- Reed, R. C. (2006). *The superalloys: Fundamentals and applications*. Cambridge University Press.
- Thelning, K. E. (2018). *Steel and its heat treatment* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

BAB 6

MATERIAL LOGAM

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Mengklasifikasikan baja berdasarkan kandungan karbon dan unsur paduannya serta menghubungkannya dengan sifat mekanik.
2. Membedakan berbagai jenis besi cor berdasarkan mikrostruktur grafitnya dan menjelaskan aplikasi khas untuk setiap jenis.
3. Mengidentifikasi karakteristik utama dan aplikasi dari paduan non-ferrous penting seperti paduan aluminium, tembaga, dan titanium.
4. Menjelaskan tahapan-tahapan utama dalam proses produksi logam, mulai dari ekstraksi hingga pembentukan akhir.
5. Menganalisis pengaruh berbagai metode pembentukan dan perlakuan panas terhadap mikrostruktur dan sifat logam.
6. Menjelaskan mekanisme dasar korosi elektrokimia dan mengidentifikasi berbagai bentuk korosi pada logam.
7. Mengevaluasi dan memilih metode pencegahan korosi yang sesuai untuk aplikasi rekayasa tertentu.

Pendahuluan

Material logam, tanpa diragukan lagi, adalah tulang punggung peradaban industri modern. Dari kerangka baja yang menjulang tinggi di cakrawala kota hingga paduan aluminium ringan yang memungkinkan penerbangan, logam ada di mana-mana. Kemampuan unik mereka untuk menawarkan kombinasi kekuatan, keuletan, dan ketangguhan yang tinggi, bersama dengan konduktivitas listrik dan termal yang baik, menjadikan mereka material pilihan untuk spektrum aplikasi rekayasa yang sangat luas. Pada Bab 5, kita telah meletakkan fondasi teoretis untuk memahami paduan melalui diagram fasa. Kini, kita akan beralih dari peta teoretis tersebut ke material-material nyata yang membentuk dunia kita.

Bab ini akan berfokus secara eksklusif pada material logam, menyelami lebih dalam ke dalam dua keluarga besar, yaitu paduan berbasis besi (*ferrous*) dan paduan non-besi (*non-ferrous*). Kita akan memulai dengan penjelajahan mendalam tentang baja, material rekayasa yang paling serbaguna dan paling banyak digunakan. Kita akan melihat bagaimana sedikit perubahan dalam kandungan karbon atau penambahan sejumlah kecil unsur lain dapat secara dramatis mengubah sifatnya, menciptakan berbagai jenis baja untuk fungsi

7. B
8. B
9. B
10. B

REFERENSI

- Ahmad, Z. (2006). *Principles of corrosion engineering and corrosion control*. Butterworth-Heinemann.
- ASM Handbook Committee. (2013). *ASM Handbook, Volume 4A: Steel Heat Treating Fundamentals and Processes*. ASM International.
- Brandes, E. A., & Brook, G. B. (Eds.). (1998). *Smithells light metals handbook*. Butterworth-Heinemann.
- Campbell, F. C. (2011). *Elements of metallurgy and engineering alloys*. ASM International.
- Davis, J. R. (Ed.). (2016). *Steels: Processing, structure, and performance* (2nd ed.). ASM International.
- Frankel, G. S. (2017). Pitting corrosion. In *Uhlig's Corrosion Handbook* (pp. 135-154). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119280327.ch9>
- Kaufman, J. G. (2019). *Introduction to aluminum alloys and tempers*. ASM International.
- Krauss, G. (2015). *Steels: Structure and properties*. ASM International.
- Lütjering, G., & Williams, J. C. (2007). *Titanium* (2nd ed.). Springer.
- Oksiuta, Z., Bystrzycki, J., & Marczak, K. (2020). The effect of graphite morphology on the mechanical properties of grey cast iron. *Materials*, 13(21), 4949. <https://doi.org/10.3390/ma13214949>
- Stefanescu, D. M. (2017). *Cast iron science and technology*. ASM International.
- Tarr, J. (2018). Low-carbon structural steels. In *Encyclopedia of Iron, Steel, and Their Alloys* (pp. 2097-2109). CRC Press.

BAB 7

MATERIAL KERAMIK

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan struktur ikatan (ionik dan kovalen) dan struktur kristal yang khas pada material keramik.
2. Mengidentifikasi sifat-sifat fundamental keramik, seperti kekerasan tinggi, kerapuhan, dan stabilitas termal, serta menghubungkannya dengan struktur atomiknya.
3. Membedakan antara keramik tradisional dan keramik teknik (*advanced ceramics*) berdasarkan bahan baku, proses, dan aplikasinya.
4. Menganalisis sifat-sifat fisik penting keramik, termasuk sifat termal (konduktivitas, tahan panas) dan sifat listrik (isolator, superkonduktor).
5. Menjelaskan prosedur pengujian mekanik yang umum digunakan untuk material getas seperti keramik.
6. Memberikan contoh-contoh spesifik penggunaan keramik dalam industri modern, seperti refraktori, sensor, dan biokeramik.
7. Mengevaluasi peran keramik komposit dalam mengatasi kelemahan kerapuhan pada keramik monolitik.

Pendahuluan

Setelah menjelajahi dunia logam yang ulet dan konduktif, kini kita beralih ke kelas material ketiga yang fundamental, yaitu keramik. Material keramik, yang secara luas didefinisikan sebagai senyawa anorganik non-logam, telah menjadi bagian dari peradaban manusia selama ribuan tahun, dimulai dari gerabah tanah liat dan batu bata. Namun, citra keramik yang hanya terbatas pada piring dan vas bunga telah usang. Di era modern, keramik teknik atau *advanced ceramics* telah menjadi material pemungkin (*enabling material*) untuk berbagai teknologi canggih, mulai dari cip komputer, mesin jet, hingga implan medis yang menyelamatkan nyawa.

Keramik menghadirkan serangkaian sifat yang seringkali berlawanan dengan logam. Jika logam dikenal karena keuletannya, keramik justru dikenal karena kerapuhannya. Jika logam adalah konduktor yang baik, keramik adalah isolator yang unggul. Perbedaan-perbedaan drastis ini berakar pada perbedaan fundamental dalam ikatan atom dan struktur kristal, yang telah kita sentuh di Bab 2. Ikatan ionik dan kovalen yang sangat kuat dan terlokalisasi pada keramik memberikannya kekerasan, kekuatan tekan, dan

menghentikan atau memperlambat perambatan retak dan membuat material secara keseluruhan jauh lebih tangguh.

Kunci Jawaban Soal Pilihan Ganda

1. B
2. D
3. C
4. B
5. B
6. C
7. A
8. C
9. B
10. B

REFERENSI

- Barsoum, M. W. (2013). *Fundamentals of ceramics* (2nd ed.). CRC Press.
- Carter, C. B., & Norton, M. G. (2021). *Ceramic materials: Science and engineering* (3rd ed.). Springer.
- Chevalier, J., & Gremillard, L. (2009). Ceramics for medical applications: A picture for the next 20 years. *Journal of the European Ceramic Society*, 29(8), 1245-1255. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.08.025>
- Kelly, J. R., & Denry, I. (2008). Stabilized zirconia as a structural ceramic: An overview. *Dental Materials*, 24(3), 289-298. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2007.05.005>
- Kingery, W. D., Bowen, H. K., & Uhlmann, D. R. (1976). *Introduction to ceramics* (2nd ed.). Wiley.
- Krenkel, W. (Ed.). (2008). *Ceramic matrix composites: Fiber reinforced ceramics and their applications*. John Wiley & Sons.
- Lawn, B. R. (1993). *Fracture of brittle solids* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Ohji, T., & Komeya, K. (Eds.). (2017). *Ceramic materials and components for energy and environmental applications*. John Wiley & Sons.
- Rahaman, M. N. (2017). *Sintering of ceramics*. CRC press.
- Rao, R. (2019). Ceramic substrates for microelectronic packaging. *Journal of Electronic Materials*, 48(10), 6001-6021. <https://doi.org/10.1007/s11664-019-07440-z>
- Richerson, D. W. (2018). *Modern ceramic engineering: Properties, processing, and use in design* (4th ed.). CRC Press.

- Schacht, C. A. (2004). *Refractories handbook*. CRC Press.
- Shackelford, J. F., & Doremus, R. H. (2020). *Ceramic and glass materials: Structure, properties and processing*. Springer.
- Uchino, K. (2017). *Advanced piezoelectric materials: Science and technology* (2nd ed.). Woodhead Publishing.
- Wachtman, J. B., Kriven, W. M., & Cannon, W. R. (2009). *Mechanical properties of ceramics*. John Wiley & Sons.

MATERIAL TEKNIK

JILID 1

Buku Material Teknik Jilid I disusun sebagai bahan ajar komprehensif yang membahas dasar-dasar ilmu material dalam bidang teknik. Buku ini diawali dengan pengantar mengenai definisi, klasifikasi, serta hubungan struktur, sifat, dan proses, sekaligus menekankan pentingnya material dalam perancangan dan rekayasa. Pembahasan mencakup struktur atom, ikatan kimia, struktur kristal, defek, difusi, serta sifat mekanik material seperti kekuatan, kekerasan, keuletan, ketangguhan, kelelahan, dan mulur yang dijelaskan melalui metode pengujian. Bagian akhir menguraikan diagram fasa, sistem paduan logam, pengerjaan panas, serta material logam ferrous dan non-ferrous, termasuk proses produksi, sifat, aplikasi, hingga masalah korosi dan pencegahannya. Dengan pendekatan sistematis, latihan soal, dan referensi, buku ini menjadi rujukan penting bagi mahasiswa teknik dalam memahami prinsip material dan aplikasinya di industri.



SCANME

 www.penerbitwidina.com
 [@penerbitwidina](https://www.instagram.com/penerbitwidina)
 [penerbit widina](https://www.facebook.com/penerbitwidina)
 penerbitwidina@gmail.com
 [widina store](#)
 [widina bookstore](#)

Layanan Peminjaman & Penjualan Buku
0815-7000-699

Teknik & Industri

ISBN 978-634-246-233-1



9

786342

462331