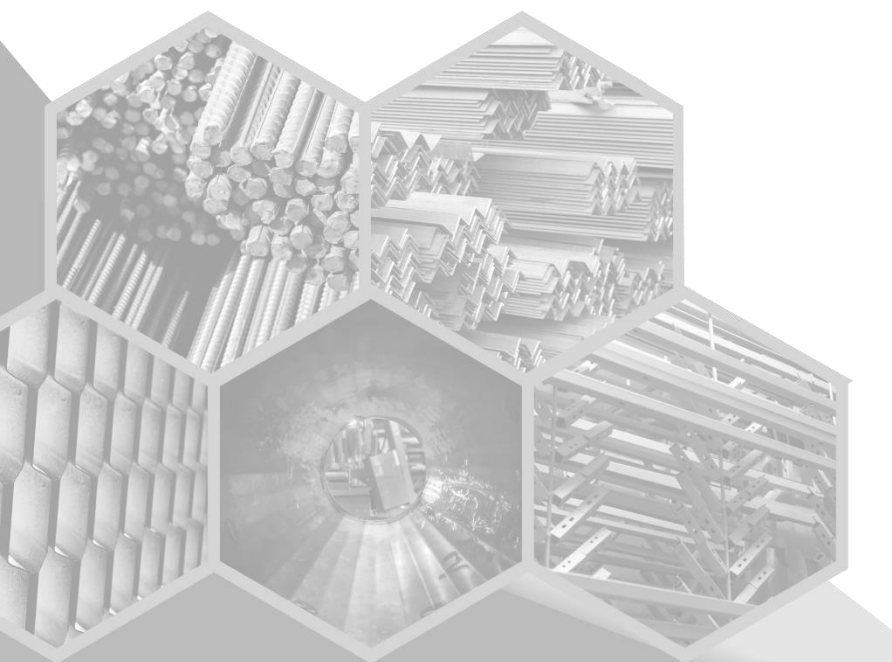


BUKU AJAR

# PENGANTAR ILMU MATERIAL LOGAM



**UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA  
NOMOR 28 TAHUN 2014  
TENTANG HAK CIPTA  
PASAL 113  
KETENTUAN PIDANA  
SANKSI PELANGGARAN**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

BUKU AJAR

# PENGANTAR ILMU MATERIAL LOGAM

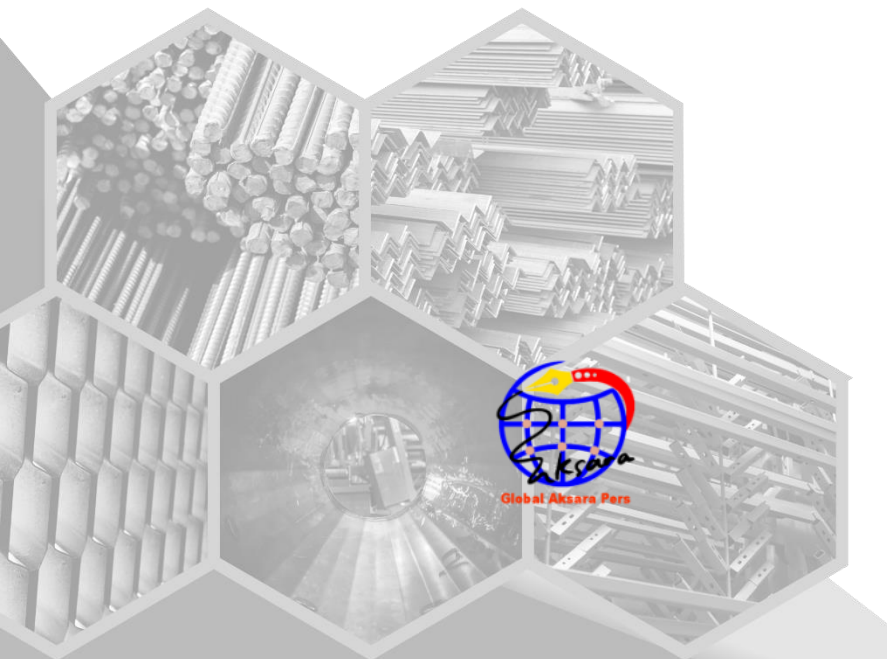
Wadirin, S.Pd., M.Pd.

Ir. Dewi Puspita Sari, S.Pd., M.Pd.

Jimmy D. Nasution, S.T.,M.T.

Prof. Ir. Amir Arifin, M.Eng., Ph.D.

Dr. Ir. Dendy Adanta, S.Pd., M.T.



# Buku Ajar

## Pengantar Ilmu Material Logam

*Diterbitkan pertama kali dalam bahasa Indonesia  
oleh Penerbit Global Aksara Pers*

**ISBN: 978-634-280-022-5**

xvi + 164 hal.; Ukuran Unesco (15,8 x 23 cm)

Cetakan Pertama, Februari 2026

**Copyright © 2026 Global Aksara Pers**

Penulis : Wadirin, S.Pd., M.Pd.  
Ir. Dewi Puspita Sari, S.Pd., M.Pd.  
Jimmy D. Nasution, S.T.,M.T.  
Prof. Ir. Amir Arifin, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Ir. Dendy Adanta, S.Pd., M.T.

Editor : Amir Arifin  
Dendy Adanta

Desain cover : Hamim Thohari Mahfudhillah

Layouter : Hamim Thohari Mahfudhillah

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dengan bentuk dan cara apa pun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit.

**Diterbitkan oleh:**



**CV. Global Aksara Pers**

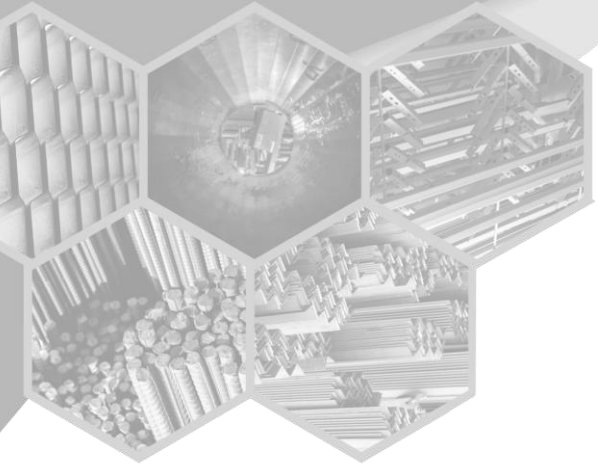
**Anggota IKAPI, Jawa Timur, 2021,**

**No. 282/JTI/2021**

Jl. Wonocolo Utara V/18 Surabaya

+628977416123/+628573269334

[globalaksarapers.com](http://globalaksarapers.com)



# PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya buku ajar *Pengantar Ilmu Material Logam* ini dapat disusun dan diselesaikan. Buku ini disusun sebagai bahan ajar bagi mahasiswa program sarjana, khususnya pada bidang Pendidikan Teknik Mesin, Teknik Material, dan bidang keteknikan lain yang mempelajari dasar-dasar ilmu material logam.

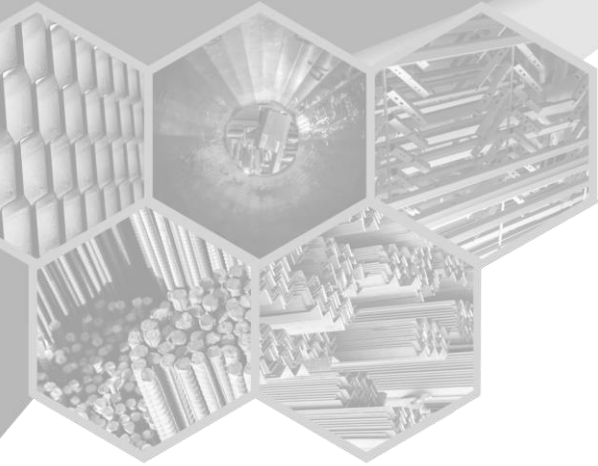
Ilmu material logam merupakan salah satu fondasi penting dalam rekayasa teknik, karena pemilihan dan pemanfaatan material sangat menentukan kinerja, keandalan, serta keberlanjutan suatu sistem teknik. Buku ini membahas konsep-konsep dasar material logam secara sistematis, mulai dari struktur kristal, sifat mekanik dan fisik, diagram fasa, proses manufaktur, hingga aplikasi dan perkembangan teknologi material logam dalam industri modern. Penyajian materi dirancang dengan pendekatan konseptual dan aplikatif agar mahasiswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu mengaitkannya dengan permasalahan teknik nyata.

Untuk mendukung proses pembelajaran, buku ini dilengkapi dengan tujuan pembelajaran, rangkuman setiap bab, soal latihan, serta contoh soal beserta pembahasannya. Dengan demikian, buku ini diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam belajar secara mandiri, meningkatkan kemampuan analitis, serta menumbuhkan pemahaman yang komprehensif terhadap peran material logam dalam dunia teknik dan industri.

Penulis menyadari bahwa buku ajar ini masih memiliki keterbatasan dan memerlukan penyempurnaan. Oleh karena itu, saran dan masukan yang bersifat konstruktif sangat diharapkan demi perbaikan dan pengembangan buku ini di masa mendatang. Akhir kata, semoga buku ajar ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi proses pembelajaran dan pengembangan ilmu pengetahuan di bidang material logam.

Palembang, 27 Januari 2026

Penulis



# DAFTAR ISI

|   |            |
|---|------------|
| <b>PRAKATA .....</b>  | <b>v</b>   |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                     | <b>vii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                  | <b>xiv</b> |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                   | <b>xv</b>  |
| <b>BAB I PENGANTAR TEKNOLOGI MATERIAL LOGAM .....</b>       | <b>1</b>   |
| A. Tujuan Pembelajaran .....                                | 1          |
| B. Definisi dan Ruang Lingkup Material Logam .....          | 1          |
| a. Definisi Material Logam .....                            | 1          |
| b. Ruang Lingkup Material Logam .....                       | 3          |
| C. Sejarah dan Perkembangan Teknologi Material Logam .....  | 13         |
| a. Pendahuluan .....  | 13         |
| D. Peran Material Logam dalam Industri Modern .....         | 15         |
| E. Rangkuman dan Contoh Soal .....                          | 18         |
| a. Rangkuman .....  | 18         |
| b. Contoh soal dan jawaban .....                            | 19         |
| F. Soal Latihan .....                                       | 20         |
| <b>BAB II KLASIFIKASI DAN STRUKTUR MATERIAL LOGAM .....</b> | <b>21</b>  |
| A. Tujuan Pembelajaran .....                                | 21         |
| B. Jenis-Jenis Material Logam .....                         | 21         |
| a. Pendahuluan .....  | 21         |
| b. Logam Besi ( <i>Ferrous Metals</i> ) .....               | 24         |
| c. Logam non-besi ( <i>non-ferrous metals</i> ) .....       | 25         |
| d. Material Logam Khusus .....                              | 26         |
| C. Struktur Kristal dan Sifat Mekanik Logam .....           | 27         |
| a. Pendahuluan .....  | 27         |
| b. Struktur Kristal Logam .....                             | 27         |

|    |   |           |
|----|---|-----------|
| c. | Sifat Mekanik Logam.....  | 28        |
| D. | Diagram Fasa .....  | 30        |
| a. | Pendahuluan .....   | 30        |
| b. | Diagram Fasa dalam Material Logam .....                         | 31        |
| c. | Jenis-jenis diagram fasa .....                                  | 32        |
| d. | Jenis-jenis transformasi fasa .....                             | 34        |
| e. | Aplikasi diagram fasa dan transformasi fasa dalam industri..... | 34        |
| E. | Pengaruh Komposisi terhadap Karakteristik Logam .....           | 35        |
| F. | Aplikasi Material Berdasarkan Komposisi Logam .....             | 38        |
| 1. | Otomotif.....   | 38        |
| 2. | Dirgantara.....   | 40        |
| 3. | Medis.....  | 42        |
| G. | Rangkuman dan Contoh Soal.....                                  | 45        |
| a. | Rangkuman .....   | 45        |
| b. | Contoh soal dan jawaban .....                                   | 46        |
| H. | Soal Latihan .....  | 48        |
|    | <b>BAB III SIFAT-SIFAT MATERIAL LOGAM .....</b>                 | <b>49</b> |
| A. | Tujuan Pembelajaran.....  | 49        |
| B. | Sifat Mekanik (Kekuatan, Kekerasan, Ketangguhan).....           | 49        |
| a. | Pendahuluan .....   | 49        |
| b. | Kekuatan ( <i>Strength</i> ) .....                              | 50        |
| c. | Kekerasan ( <i>Hardness</i> ).....                              | 51        |
| d. | Ketangguhan ( <i>Toughness</i> ) .....                          | 53        |
| C. | Sifat Fisik (Kepadatan, Konduktivitas, Daya Hantar Panas) .     | 56        |
| a. | Pendahuluan .....   | 56        |
| b. | Kepadatan (Density, $\rho$ ).....                               | 56        |
| c. | Konduktivitas Listrik .....                                     | 57        |
| d. | Daya hantar panas ( <i>thermal conductivity</i> ).....          | 58        |
| e. | Aplikasi Sifat Fisik Logam dalam Industri .....                 | 59        |
| D. | Sifat Kimia (Ketahanan Korosi, Reaktivitas) .....               | 60        |
| a. | Pendahuluan .....   | 60        |
| b. | Ketahanan Korosi ( <i>Corrosion Resistance</i> ).....           | 60        |
| c. | Reaktivitas Logam .....   | 62        |
| d. | Aplikasi Sifat Kimia Logam dalam Industry .....                 | 64        |
| E. | Pengujian Material Logam.....                                   | 64        |

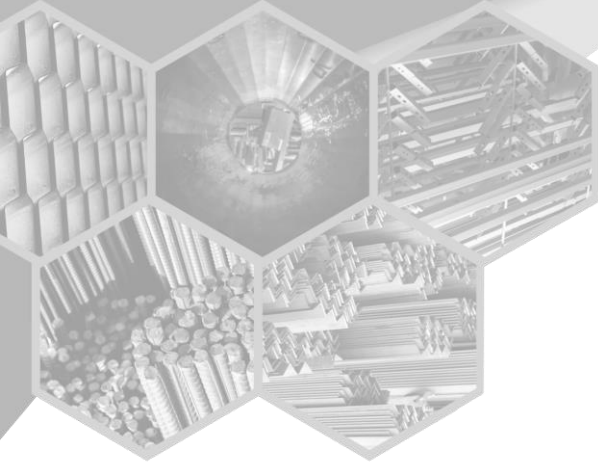
|  |   |           |
|--|---|-----------|
| a.   | Pendahuluan .....   | 64        |
| b.   | Pengujian Mekanik.....  | 64        |
| c.   | Pengujian Fisik.....  | 66        |
| d.   | Pengujian Kimia.....  | 66        |
| e.   | Uji Korosi ( <i>Corrosion Test</i> ).....                           | 67        |
| f.   | Pengujian Mikrostruktur .....                                       | 67        |
| F.   | Rangkuman dan Contoh Soal.....                                      | 68        |
| a.   | Rangkuman .....   | 68        |
| b.   | Contoh Soal dan Jawaban .....                                       | 70        |
| G.   | Soal Latihan .....  | 72        |
| <b>BAB IV TEKNOLOGI PROSES PEMBENTUKAN</b> |   |           |
| <b>MATERIAL LOGAM.....</b>                 |   |           |
|  |   | <b>74</b> |
| A.   | Tujuan Pembelajaran.....  | 74        |
| B.   | Pengecoran Logam.....   | 74        |
| a.   | Pendahuluan .....   | 74        |
| b.   | Prinsip Dasar Pengecoran Logam .....                                | 75        |
| c.   | Jenis-jenis Pengecoran Logam .....                                  | 75        |
| d.   | Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kualitas Coran .....                | 77        |
| e.   | Aplikasi Pengecoran Logam dalam Industri .....                      | 77        |
| f.   | Teknologi Modern Dalam Pengecoran Logam .....                       | 78        |
| C.   | Proses Pembentukan logam ( <i>Rolling, Forging, Extrusion</i> ) ... | 79        |
| a.   | Pendahuluan .....   | 79        |
| b.   | Definisi dan Prinsip Dasar Rolling .....                            | 79        |
| c.   | Jenis-jenis <i>rolling</i> .....                                    | 79        |
| d.   | Jenis <i>Rolling</i> Berdasarkan Konfigurasi Rol .....              | 80        |
| e.   | Faktor yang Mempengaruhi Proses Rolling.....                        | 80        |
| D.   | <i>Forging</i> (Tempa Logam).....                                   | 81        |
| 1.   | Definisi dan Prinsip Dasar <i>Forging</i> .....                     | 81        |
| 2.   | Jenis-jenis <i>Forging</i> .....                                    | 81        |
| 3.   | Faktor yang Mempengaruhi <i>Forging</i> .....                       | 81        |
| E.   | <i>Extrusion</i> (Ekstrusi Logam) .....                             | 82        |
| 1.   | Definisi dan Prinsip Dasar <i>Extrusion</i> .....                   | 82        |
| 2.   | Jenis-jenis <i>Extrusion</i> .....                                  | 82        |
| 3.   | Faktor yang Mempengaruhi <i>Extrusion</i> .....                     | 82        |
| 4.   | Aplikasi Proses Pembentukan Plastik dalam Industri ...              | 83        |
| F.   | Teknologi Pengelasan dan Penyambungan Logam.....                    | 83        |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| a.   | Pendahuluan .....  | 83        |
| b.   | Jenis-jenis Teknologi Pengelasan .....                                       | 84        |
| c.   | Teknik Penyambungan Logam Non-Pengelasan.....                                | 86        |
| d.   | Tantangan dan Inovasi Dalam Teknologi Pengelasan....                         | 86        |
| e.   | Aplikasi Teknologi Pengelasan dalam Industri .....                           | 87        |
| E.   | Rangkuman dan Contoh Soal.....   | 87        |
| a.   | Rangkuman .....  | 87        |
| b.   | Contoh Soal dan Jawaban .....  | 89        |
| F.   | Soal Latihan .....   | 90        |
| <b>BAB V MATERIAL LOGAM KHUSUS DAN APLIKASINYA</b> |  | <b>92</b> |
| A.   | Tujuan Pembelajaran.....   | 92        |
| B.   | Logam Paduan dan <i>Superalloy</i> .....                                     | 92        |
| a.   | Pendahuluan .....  | 92        |
| b.   | Prinsip Dasar Logam Paduan .....   | 93        |
| c.   | Klasifikasi Logam Paduan .....   | 93        |
| d.   | Baja Paduan ( <i>Alloy Steel</i> ).....                                      | 94        |
| e.   | Teknologi Modern dalam Pengembangan Paduan dan<br><i>Superalloy</i> .....    | 96        |
| f.   | Aplikasi Logam Paduan dan <i>Superalloy</i> Dalam<br>Industri .....          | 96        |
| C.   | Material Logam dalam Industri Dirgantara dan Teknik<br>Mesin.....            | 97        |
| a.   | Pendahuluan .....  | 97        |
| b.   | Kriteria Pemilihan Material Logam dalam Dirgantara<br>dan Teknik Mesin ..... | 98        |
| c.   | Material Logam dalam Industri Dirgantara.....                                | 98        |
| d.   | Material Logam dalam Teknik Mesin .....                                      | 100       |
| e.   | Teknologi Terkini Dalam Material Logam Dirgantara<br>Dan Teknik Mesin .....  | 100       |
| D.   | Aplikasi Nanoteknologi pada Material Logam .....                             | 101       |
| a.   | Pendahuluan .....  | 101       |
| b.   | Prinsip Dasar Nanoteknologi Dalam Material Logam .                           | 101       |
| c.   | Kategori Aplikasi Nanoteknologi Dalam Material<br>Logam .....                | 102       |
| d.   | Teknologi Pembuatan Material Logam Nano .....                                | 103       |
| e.   | Tantangan dan Prospek Masa Depan .....                                       | 104       |

|  |   |            |
|--|---|------------|
| E.   | Rangkuman dan Contoh Soal.....                                      | 104        |
| F.   | Soal Latihan .....  | 107        |
| <b>BAB VI KEGAGALAN MATERIAL LOGAM DAN STRATEGI PENCEGAHAN .....</b> |   | <b>108</b> |
| A.   | Tujuan Pembelajaran.....  | 108        |
| B.   | Jenis-Jenis Kegagalan Material Logam .....                          | 108        |
| a.   | Pendahuluan .....   | 108        |
| b.   | Kegagalan Akibat Tegangan Berlebih ( <i>Overload Failure</i> )..... | 109        |
| c.   | Kegagalan Akibat Kelelahan ( <i>Fatigue Failure</i> ).....          | 110        |
| d.   | Kegagalan Akibat Creep .....  | 110        |
| e.   | Kegagalan Akibat Korosi .....                                       | 111        |
| f.   | Kegagalan akibat keausan ( <i>wear failure</i> ).....               | 111        |
| C.   | Korosi dan Perlindungan Material Logam.....                         | 112        |
| a.   | Pendahuluan .....   | 112        |
| b.   | Mekanisme Korosi Pada Material Logam.....                           | 112        |
| c.   | Jenis-jenis Korosi .....  | 113        |
| d.   | Metode Perlindungan Material Logam Dari Korosi ....                 | 114        |
| 4.   | Modifikasi Material dengan Paduan Tahan Korosi .....                | 115        |
| e.   | Studi Kasus Perlindungan Material Logam dari Korosi .....           | 115        |
| D.   | Teknik Pemeliharaan dan Perawatan Material Logam.....               | 116        |
| a.   | Pendahuluan .....   | 116        |
| b.   | Jenis-jenis Pemeliharaan Material Logam .....                       | 116        |
| c.   | Teknik Pemeliharaan dan Perawatan Material Logam.....               | 117        |
| E.   | Rangkuman dan Contoh Soal.....                                      | 119        |
| a.   | Rangkuman .....   | 119        |
| b.   | Contoh Soal dan Jawaban .....                                       | 121        |
| F.   | Soal Latihan .....  | 123        |
| <b>BAB VII TEKNOLOGI MATERIAL LOGAM DALAM INDUSTRI 4.0 .....</b>     |   | <b>125</b> |
| A.   | Tujuan Pembelajaran.....  | 125        |
| B.   | Revolusi Industri 4.0 dalam Bidang Material Logam.....              | 125        |
| a.   | Pendahuluan .....   | 125        |
| b.   | Konsep Revolusi Industri 4.0 dalam Material Logam .....             | 126        |

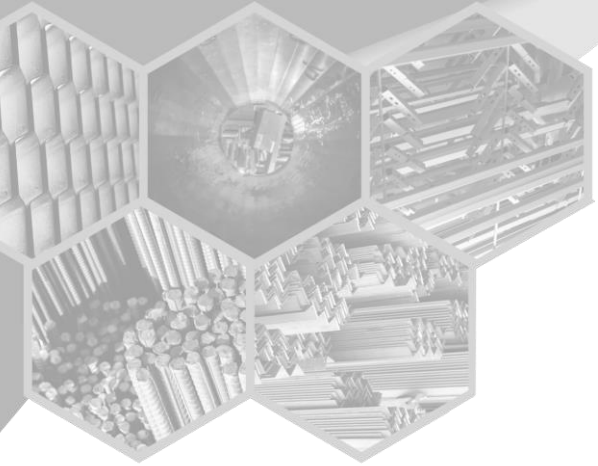
|   |   |            |
|---|---|------------|
| c.  | Aplikasi Teknologi Industri 4.0 Dalam Material Logam .....          | 126        |
| d.  | Tantangan Dalam Implementasi Industri 4.0 Pada Material Logam ..... | 128        |
| e.  | Prospek Masa Depan Industri 4.0 Dalam Material Logam .....          | 129        |
| C.  | Manufaktur Cerdas dan Pemanfaatan AI dalam Material Logam.....      | 129        |
| a.  | Pendahuluan .....   | 129        |
| b.  | Konsep Manufaktur Cerdas dalam Industri Material Logam .....        | 129        |
| c.  | Peran Kecerdasan Buatan (Ai) dalam Material Logam .....             | 130        |
| d.  | Manufaktur Aditif (3D Printing) Berbasis AI .....                   | 131        |
| e.  | AI dalam Pemeliharaan Prediktif Dan Deteksi Kegagalan.....          | 131        |
| f.  | Implementasi Teknologi AI dalam Proses Manufaktur Logam .....       | 132        |
| g.  | Tantangan dalam Implementasi AI dalam Manufaktur Logam .....        | 133        |
| D.  | 3D Printing Logam dan Produksi Berbasis Digital.....                | 133        |
| a.  | Pendahuluan .....   | 133        |
| b.  | Teknologi 3D Printing Logam.....                                    | 133        |
| c.  | Keunggulan 3D Printing Logam dalam Produksi Berbasis Digital.....   | 134        |
| c.  | Aplikasi 3D Printing Logam Dalam Industri .....                     | 135        |
| E.  | Rangkuman dan Contoh Soal.....                                      | 136        |
| a.  | Rangkuman .....   | 136        |
| b.  | Contoh Soal dan Jawaban .....                                       | 138        |
| F.  | Soal Latihan .....  | 139        |
| <b>BAB VIII MASA DEPAN TEKNOLOGI MATERIAL LOGAM .....</b> |   | <b>141</b> |
| A.  | Tujuan Pembelajaran.....  | 141        |
| B.  | Tren dan Inovasi dalam Teknologi Logam.....                         | 141        |
| a.  | Pendahuluan .....   | 141        |
| b.  | Tren Terkini Dalam Teknologi Logam .....                            | 142        |

|  |  |            |
|--|--|------------|
| C.   | Material Logam dalam Energi Terbarukan .....                                   | 144        |
| a.   | Pendahuluan .....  | 144        |
| b.   | Material Logam Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....                     | 145        |
| D.   | Rangkuman dan Contoh Soal.....   | 146        |
| a.   | Rangkuman .....  | 146        |
| b.   | Contoh Soal dan Jawabannya.....  | 147        |
| E.   | Soal Latihan .....   | 149        |
| <b>BAB IX STUDI KASUS DAN APLIKASI TEKNOLOGI</b> |  |            |
| <b>MATERIAL LOGAM.....</b>                       |  | <b>151</b> |
| A.   | Tujuan Pembelajaran.....   | 151        |
| B.   | Studi Kasus Keberhasilan Penggunaan Material Logam dalam Industri.....         | 151        |
| a.   | Pendahuluan .....  | 151        |
| b.   | Superalloy Berbasis Nikel dalam Industri Dirgantara..                          | 152        |
| c.   | Baja Berkekuatan Tinggi dalam Industri Otomotif.....                           | 152        |
| d.   | Paduan Titanium dalam Industri Medis .....                                     | 153        |
| C.   | Perbandingan Teknologi Logam di Berbagai Negara .....                          | 153        |
| a.   | Pendahuluan .....  | 153        |
| b.   | Amerika Serikat: Pemimpin dalam Superalloy dan Manufaktur Aditif.....          | 154        |
| c.   | Jepang: Pemimpin Dalam Baja Berkekuatan Tinggi dan Logam Untuk Elektronik..... | 154        |
| D.   | Rangkuman dan Contoh Soal.....   | 155        |
| a.   | Rangkuman .....  | 155        |
| b.   | Contoh Soal dan Jawaban .....  | 156        |
| E.   | Soal Latihan .....   | 158        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                      |  | <b>159</b> |
| <b>BIBLIOGRAFI.....</b>                          |  | <b>162</b> |



# DAFTAR GAMBAR

|  |     |
|--|-----|
| Gambar 1 Logam Ferro dan Non-Ferro .....   | 2   |
| Gambar 2 Logam Struktur BCC, FCC dan HCP .....   | 4   |
| Gambar 3 Pengecoran Logam Sumber: cantenan.com .....   | 7   |
| Gambar 4 Kegagalan yang biasa terjadi pada material logam .....  | 9   |
| Gambar 5 Material logam dalam dunia Industri .....   | 11  |
| Gambar 6 Logam dan paduannya secara hierarkis berdasarkan<br>komposisi kimia dan karakteristik mikrostruktur ..... | 22  |
| Gambar 7 Klasifikasi Baja .....  | 23  |
| Gambar 8 Diagram fasa baja karbon.....   | 32  |
| Gambar 9 Aplikasi komposisi logam pada industri otomotif .....   | 39  |
| Gambar 10 Aplikasi material logam pada dunia medis .....   | 43  |
| Gambar 11 Mesin uji Tarik .....  | 50  |
| Gambar 12 Alat uji kekerasan logam.....  | 52  |
| Gambar 13 Skematik uji impak Charphy dan Izod.....   | 54  |
| Gambar 14 Alat uji difrakpsi.....  | 68  |
| Gambar 15 Ciri makro permukaan patahan pada fraktur duktil dan<br>fraktur getas.....                               | 109 |



# DAFTAR TABEL

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| Tabel 1  | Kepadatan beberapa logam .....                           | 57  |
| Tabel 2  | Konduktivitas Listrik Beberapa Loga .....                | 58  |
| Tabel 3  | Daya hantar panas beberapa logam .....                   | 59  |
| Tabel 4  | Sifat fisik logam dalam industri .....                   | 60  |
| Tabel 5  | Logam dengan ketahanan korosi tinggi .....               | 62  |
| Tabel 6  | Reaktivitas logam.....                                   | 63  |
| Tabel 7  | Sifat kimia logam dalam industri .....                   | 64  |
| Tabel 8  | Ketahanan logam terhadap deformasi plastis.....          | 65  |
| Tabel 9  | Pengecoran logam dalam industri .....                    | 78  |
| Tabel 10 | Jenis rolling berdasarkan konfigurasi rol .....          | 80  |
| Tabel 11 | Jenis-jenis extrusion .....                              | 82  |
| Tabel 12 | Aplikasi pembentukan plastik dalam industri .....        | 83  |
| Tabel 13 | Aplikasi teknologi pengelasan dalam industri.....        | 87  |
| Tabel 14 | Klasifikasi logam paduan.....                            | 94  |
| Tabel 15 | Aplikasi logam paduan dan superalloy dalam industri..... | 96  |
| Tabel 16 | Teknologi pembuatan material logam nano .....            | 103 |
| Tabel 17 | Perlindungan dengan pelapisan.....                       | 114 |
| Tabel 18 | Penggunaan inhibitor korosi.....                         | 115 |
| Tabel 19 | Modifikasi material dengan paduan tahan korosi .....     | 115 |
| Tabel 20 | Pengujian Nondestruktif.....                             | 118 |
| Tabel 21 | Perlakuan panas untuk meningkatkan sifat material .....  | 119 |
| Tabel 22 | Teknologi manufaktur aditif berbasis logam .....         | 127 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabel 23 Implementasi teknologi AI dalam proses manufaktur logam .....      | 132 |
| Tabel 24 Keunggulan 3D printing logam dalam produksi berbasis digital ..... | 135 |