



METALURGI LOGAM

Hendri Nurdin



Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS

METALURGI LOGAM

Hendri Nurdin



2019

METALURGI LOGAM

editor, Tim editor UNP Press
Penerbit UNP Press, Padang, 2019
1 (satu) jilid; 14 x 21 cm (A5)
288 hal.

ISBN : 978-602-1178-48-5

METALURGI LOGAM

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang pada penulis
Hak penerbitan pada UNP Press

Penyusun: Hendri Nurdin
Editor Substansi: Tim UNP Press
Editor Bahasa: Prof. Dr. Harris Effendi Thahar, M.Pd
Desain Sampul & Layout: Dr. Asrul Huda, M.Kom

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
KATA PENGANTAR.....	vi
SINOPSIS.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1. METALURGI DAN PENGUJIAN LOGAM...	1
1.1. Pengertian Metalurgi	1
1.2. Hubungan Metalurgi dengan Bahan Rekayasa.....	3
1.3. Perilaku Bahan	5
1.4. Bahan Logam	6
1.5. Pengujian Logam	8
1.6. Pertimbangan dalam Pemilihan Bahan Logam	26
1.7. Ruang Lingkup	30
BAB 2. BAHAN-BAHAN LOGAM.....	39
2.1. Pengenalan Tambang Bahan Logam	39
2.2. Pertambangan di Indonesia	40
2.3. Metode Pencarian Mineral	40
2.4. Proses Penambangan Bahan Logam	42
2.5. Biji Besi	43
2.6. Jenis-Jenis Biji Besi	44
2.7. Pasir Besi	45
2.8. Pencucian Bahan Logam	47
2.9. Pemisahan Bahan Logam dengan Bahan Lainnya	47
2.10. Proses Pengolahan Bahan Logam	48
2.11. Dapur Tinggi	53

BAB 3. STRUKTUR LOGAM	63
3.1. Pendahuluan	63
3.2. Ikatan Logam	63
3.3. Kristal	70
3.4. Diskolasi	79
3.5. Kesetimbangan Fasa	80
3.6. Mikrostruktur	90
3.7. Deformasi dan Perpatahan	94
3.8. Mekanisme Deformasi	95
3.9. Mekanisme Slip	98
3.10. Perpatahan	102
3.11. Mekanisme Penguatan	113
3.12. Pembentukan Logam	119
BAB 4. LOGAM FERRO	128
4.1. Pendahuluan	128
4.2. Baja	130
4.3. Pengaruh Unsur-Unsur Pada Baja	165
4.4. Besi Cor	167
BAB 5. LOGAM NON FERRO	195
5.1. Aluminium dan Paduannya	195
5.2. Tembaga dan Paduannya	208
5.3. Magnesium dan Paduannya	220
5.4. Silikon	223
5.5. Titanium	226
5.6. Nikel	230
5.7. Seng	234
5.8. Timah	239
5.9. Logam Mulia	248
DAFTAR PUSTAKA	272

BAB SATU

METALURGI DAN PENGUJIAN LOGAM

1.1. Pengertian Metalurgi

Disadari atau tidak, pada dasarnya kehidupan manusia sehari-hari tidak terlepas dari penggunaan bahan. Berbagai jenis bahan telah di buat, dikembangkan dan digunakan untuk menunjang keperluan / kebutuhan manusia. Banyaknya jenis bahan, baik logam maupun non-logam menuntut pengguna/pemakai untuk mengetahui semua karakteristik bahan, seperti sifat mekanik, sifat fisik, sifat kimia dan sifat teknologinya.

Pesatnya perkembangan industri di Indonesia, terutama industri manufaktur dapat menyebabkan meningkatnya penggunaan bahan sebagai bahan untuk komponen-komponen pada berbagai peralatan (mesin-mesin produksi, konstruksi, kendaraan, peralatan rumah tangga, pesawat terbang, dan lain-lain). Untuk itu pengetahuan yang baik akan sifat-sifat bahan menjadi bagian yang sangat penting dalam rangkaian pembuatan suatu peralatan. Selain itu komponen-komponen peralatan yang digunakan akan mengalami perilaku yang berbeda dengan berbedanya penggunaan (misalnya beban, temperatur, waktu dan lingkungan yang berbeda) yang akan menyebabkan komponen tersebut mengalami kerusakan. Kerusakan akan dapat diatasi apabila pengetahuan yang berkaitan dengan sifat-sifat bahan, fungsi dan penggunaannya diketahui dikuasai dengan baik.

Metalurgi dikenal manusia sejak zaman pra sejarah. Dengan menggunakan imajinasi sederhana, manusia purba

pada zaman batu itu membayangkan tentang bagaimana menemukan bongkahan emas, dengan cara mengeruk dan memecah batu. Tidak hanya emas yang mereka cari tapi juga perak dan tembaga, mereka telah mengetahui bahwa logam ini dapat dilelehkan, dituang, dan memiliki sifat getas (*ductile*).

Seiring dengan ilmu pengetahuan metalurgi mulai berkembang dan menjadi suatu yang harus diketahui oleh ahli perencanaan produk. Hal ini terlihat bahwa metalurgi merupakan suatu kelompok keahlian. Kelompok Keahlian Teknik Metalurgi adalah bidang ilmu yang menggunakan prinsip-prinsip keilmuan fisika, matematika dan kimia serta proses *engineering* untuk menjelaskan secara terperinci dan mendalam fenomena-fenomena proses pengolahan mineral, proses ekstraksi logam dan pembuatan paduan, hubungan perilaku sifat mekanik logam dengan strukturnya, fenomena-fenomena proses penguatan logam serta fenomena-fenomena kegagalan dan degradasi logam. Ketiga ilmu dasar sains digunakan dalam mengembangkan sektor dasar dalam *body of knowledge* metalurgi yang meliputi:

- a. Metalurgi kimia
- b. Metalurgi fisik
- c. Metalurgi mekanik
- d. Metalurgi proses

Lingkup bidang metalurgi ini sedemikian luas, mulai dari bahan mentah sampai menjadi benda yang terpakai. Sistematis ini dimulai dari pengolahan bahan galian, ekstraksi logam dan pemurniannya, pembentukan dan perlakuan panas logam, teknologi perancangan dan pengoperasian sistem-sistem yang berhubungan dengan metalurgi. Kemudian dilanjutkan hingga fenomena kegagalan struktur logam akibat beban mekanik dan degradasi logam akibat berinteraksi dengan lingkungan termasuk pengendaliannya, serta teknologi daur ulang.

Dari penjelasan di atas ternyata bahwa metalurgi memiliki keterkaitan antara satu disiplin ilmu dengan disiplin ilmu lainnya. Apa yang dimaksud dengan metalurgi sesungguhnya? Dilihat dari definisinya Metalurgi adalah suatu ilmu yang mempelajari karakteristik/sifat/perilaku logam, ditinjau dari:

- a. Sifat mekanik yang meliputi kekuatan, keuletan, kekerasan, ketahanan lelah, dan sifat lainnya.
- b. Sifat fisik, seperti konduktivitas panas, listrik, massa jenis, magnetik, optik.
- c. Sifat kimia meliputi ketahanan terhadap korosi dan hal lain yang berkaitan dengan kimiawi bahan.
- d. Teknologi meliputi kemampuan logam untuk diproses lanjut, seperti dibentuk, dilas, disambung, dimesin, dicor, dan dikeraskan.

Secara umum, metalurgi merupakan ilmu rekayasa dari wujud metalik mulai dari mikrostruktur dan pengaruhnya terhadap dinamika yang mencakup multidisiplin yang mencakup bahan logam. Keterkaitan antara bidang ilmu keteknikan dengan metalurgi sangat memberi arti dalam pengembangan mengenai metalurgi. Secara garis besar metalurgi sangat berperan terhadap perkembangan bidang teknik khususnya mengenai ilmu bahan. Modifikasi bahan teknik harus memperhatikan metalurginya.

1.2 Hubungan Metalurgi dan Bahan Rekayasa

Lebih lanjut berbicara mengenai metalurgi, maka harus mengetahui ilmu bahan atau material serta keterkaitannya dengan rekayasa. Bahan adalah wujud asal benda kerja dimana menurut awalnya terdapat bahan alami yang langsung diolah seperti kayu dan batu. Bahan alami yang diubah wujud melalui proses fisika dan kimia contohnya biji menjadi logam; Bahan buatan yang di dapat tidak secara alami, melainkan dari bahan

mentah melalui proses kimia yang rumit contohnya ; Gelas, Seluloid, Plastik, dan lain-lain. Bahan mentah untuk pembuatan bahan, dapat diperoleh dari alam dalam jumlah tak terbatas. Akan tetapi dengan pemakaian yang meningkat, memaksa orang untuk berhemat dan sedapat mungkin memanfaatkan kembali bahan bekas (terutama logam).

Beberapa bahan rekayasa yang umum dan sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari yaitu logam, plastik, dan keramik. Benda yang terbuat dari bahan rekayasa tersebut mulai dari yang berukuran sangat kecil seperti mikrochip silikon sampai yang berukuran besar, seperti konstruksi baja jembatan. Bahan-bahan yang begitu beragam tersebut merupakan bagian dari peradaban manusia dan sangat mempengaruhi karakternya. Cara menggunakan atau menyalahgunakan material juga berpengaruh terhadap masa depan bahan tersebut. Tanpa disadari bahwa permasalahan global yang saling berkaitan dan sangat mengganggu mengenai pemanfaatan energi dan pengendalian lingkungan.

Pemilihan bahan yang tepat dalam melakukan rekayasa, menuntut para rekayasawan bahan untuk menyediakan data perencanaan yang diperlukan, mensintesis dan mengembangkan material baru, menganalisis kegagalan, dan puncaknya membuat bahan dengan bangun, bentuk, dan sifat-sifat yang diinginkan dengan harga terjangkau. Hal ini menuntut adanya kolaborasi antar disiplin ilmu dalam mewujudkannya.

Sifat-sifat yang dimiliki oleh suatu logam akan berkaitan satu dengan lainnya. Suatu komponen yang terbuat dari logam di dalam aplikasinya sangat ditentukan oleh kemampuan logam yang akan digunakan. Dimana logam tersebut digunakan dan bahan logam tersebut sehingga pengetahuan yang meliputi berbagai karakteristik logam yang dipakai haruslah dimiliki oleh orang yang berkecimpung didalamnya.

1.3 Perilaku Bahan

Perilaku makroskopik bahan tentunya sangat berperan penting dalam menerangkan sifat bahan sebagai keras, kuat, getas, mampu tempa, magnetik, tahan aus, dan lain-lain. Istilah-istilah ini terkesan sederhana dan memiliki kedalaman kompleksitas ketika dalam penelitian ilmiah, terlebih ketika mengaitkan suatu sifat tertentu dengan struktur internal suatu bahan. Pemahaman antara perilaku makroskopik dan mikroskopik merupakan studi metalurgi mengenai hubungan struktur/sifat untuk besi-besi komersial yang dianggap sebagai cikal-bakal ilmu bahan modern. Peningkatan teknik-teknik analitis untuk mengkarakterisasi struktur secara lebih rinci telah mengarah pada pengembangan dan penerimaan polimer dan keramik sebagai bahan rekayasa yang lebih unggul.

Perkembangan pembahasan konsep atomistik tentang alir dan perpatahan logam merupakan hasil kerjasama para ahli fisika zat padat dan ahli metalurgi. Pengenalan penggunaan mikroskop transmisi telah menyediakan suatu alat percobaan guna memeriksa kebenaran teori serta penuntun analisa. Kumpulan teori dislokasi dasar dapat ditampilkan yang bermanfaat bagi pemahaman sifat mekanis benda padat kristalin. Sifat-sifat mekanis bahan diperoleh dari standard uji mekanis sebagai pedoman mengenai kekuatan bahan yang dilakukan dengan pengukuran.

Penerapan terhadap pengujian bahan yang mempertimbangkan tiap-tiap pengujian mekanis yang standard, bukan berpedoman pada sudut pandangan teknik pengujian yang biasa, melainkan pertimbangan dari apa yang diungkapkan oleh pengujian dan bagaimana perubahan metalurgi yang mempengaruhi hasil pengujian. Asumsi hasil pengujian kekuatan bahan teknik yang mengarah pada sifatnya dapat dengan mudah dilihat melalui mikroskop, bahwa bahan tersebut tidaklah homogen dan *isotropis*. Sebahagian bahan

teknik tersusun atas lebih dari satu fasa (*phase*) dengan sifat mekanis yang berbeda. Namun ada yang ber-fasa tunggal biasanya akan menunjukkan segregasi kimia dan sifatnya tidak akan sama dari titik ke titik.

Logam tersusun atas butir-butir kristal yang mempunyai sifat berbeda dalam arah kristalografis yang berbeda pula. Butir-butir kristal pada logam sangat kecil sekali sehingga dapat dikatakan bahan tersebut homogen dan *isotropis* secara statis. Bilamana logam mengalami deformasi maka sifat mekanisnya mungkin menjadi *anisotropis* dalam skala makro. Kondisi yang tak kontinuas di dapat pada benda cor berpori atau dalam elemen dari metalurgi serbuk dan dalam tingkat atomis, pada cacat pori (*void*) dan dislokasi.

1.4 Bahan Logam

Logam yang sejak awalnya sudah memiliki sifat-sifat penggunaan teknis tertentu dan dapat diperoleh dalam jumlah cukup ialah : besi, tembaga seng, timah, timbel, nikel, aluminium, magnesium. Kemudian tampil logam-logam lain yang dikenal orang bagi penggunaan khusus dan paduan, seperti: perak, emas, platina, iridium, wolfram, tantal, molybdenum, titanium, kobalt, antimonium (metalloid), khrom, vanadium, berylium.

Besi relatif mudah diperoleh, namun tambang-tambang bijinya yang terbatas sehingga produksi dari besi mentah sangat terbatas. Aluminium hanya dapat diperoleh dengan pengorbanan energi yang cukup besar, tetapi dapat dihasilkan dalam jumlah yang cukup besar. Secara garis besar pengelompokan bahan-bahan yang digunakan orang dalam bidang teknik adalah bahan logam dan bahan bukan logam. Bahan logam itu sendiri terdiri dari dua golongan besar yaitu besi dan logam bukan besi serta paduannya (*non ferrous*).

Besi yang secara kimiawi murni (*Ferro* atau Fe) tidak cocok sebagai bahan karena bahan ini terlalu lunak. Besi yang dapat diolah secara teknis selalu merupakan paduan antara besi (Fe) dengan zat arang (C) dan unsur-unsur lainnya. Ukuran yang menentukan kekerasan, kekuatan dan keuletan adalah banyaknya kadar zat arang (*carbon*) yang dikandung di dalam besi, sehingga selaras dengan itu maka dibedakan:

1. Besi yang dapat ditempa ; C = 0,05 % - 2 %
2. Besi yang tidak dapat ditempa ; C = 2 % - 4 %

Besi mentah diperoleh dari biji besi hasil tambang yang diolah melalui peleburan didalam tanur tinggi. Biji besi pada dasarnya merupakan suatu ikatan kimiawi antara besi (Fe) dengan zat asam (O), sebagian kecil adalah zat air (H) serta bahan yang cukup berperan adalah zat arang (C). Selain dari bahan-bahan yang telah disebutkan diatas biji besi juga mengandung unsur-unsur lain yang persentasenya sangat kecil berupa mangan (Mn), Silisium (Si), Belerang (S), fosfor (P) dan lain-lain.

Pada dasarnya biji besi dapat digolongkan atas tiga golongan besar yang sangat berperan dalam hal pengolahannya, yaitu :

1. *Biji Besi Oksid* ;

- a) Batu besi *Magnet, Magnetit* ($\text{Fe}_2 \text{O}_4$) dengan kandungan Fe sebesar 60 - 70 %
- b) Batu besi *Merah (Hematit)*, ($\text{Fe}_2 \text{O}_3$) dengan kandungan Fe sebesar 40 - 60 %

2. *Biji Besi Hidroksida* ;

Batu besi *Coklat (Limonit)*, ($2 \text{Fe}_2 \text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$) dengan kandungan Fe sebesar 20 - 50 %

3. *Biji Besi Karbonat* ;

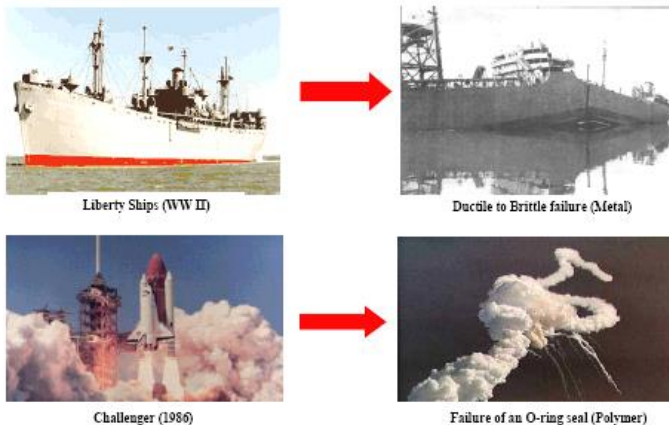
Batu besi *Spatik (Siderit)*, ($\text{Fe}_2 \text{CO}_3$) dengan kandungan Fe sebesar 30% - 40 %

Pengolahan biji besi menjadi besi berlangsung didalam tanur tinggi sebuah tungku rongga yang memiliki dinding tahan api, sehingga sangat memungkinkan pengoperasian terus menerus selama bertahun-tahun. Tungku ini disodori lapisan biji dan kokas secara bergantian dari atas, biji juga dicampur dengan imbuhan-imbuhan yang terdiri atas kapur dan lempung dalam hal ini untuk pengadonan sehingga terjadi terak yang mudah melebur. Didalam bagian bawah tanur tinggi dihembuskan angin panas dari beberapa moncong pancar. Pemanasan udara pembakaran ini berlangsung di dalam pemanas-pemanas angin yang diberi pemanasan awal dengan gas buangan (gas tungku). Penambahan zat asam terhadap udara hembus dapat meningkatkan daya lebur.

1.5 Pengujian Logam

Kegagalan suatu alat transportasi, seperti kecelakaan kapal merupakan kejadian yang sangat serius karena tidak saja menimbulkan kerugian harta dan jiwa manusia, tapi juga merusak kepercayaan industri yang memproduksi kapal tersebut. Kegagalan struktur pada komponen berakibat rusaknya produk. Bila terbukti dari data yang dikumpulkan oleh tim pencari data di lapangan bahwa kecelakaan disebabkan oleh kegagalan komponen dari kapal yang terbuat dari logam maupun non logam. Sebuah ilustrasi dari beberapa kejadian, seperti diperlihatkan pada Gambar 1.1 bahwa patahnya badan kapal Liberty disebabkan oleh perubahan struktur logam dari liat menjadi getas. Pesawat ulang alik challenger gagal menjalankan misinya disebabkan kegagalan o-

ring yang terbuat dari bahan polymer pada salah satu komponennya.



Gambar 1.1. Kecelakaan Disebabkan Oleh Kegagalan Logam

Kedua fenomena kejadian tersebut menunjukkan bahwa pentingnya mutu dari suatu produk yang harus dipertahankan dalam usaha menekan sekecil mungkin kegagalan, yang umumnya diakibatkan oleh mutu yang kurang baik. Jaminan mutu adalah label yang diberikan oleh produsen pembuat yang menjamin bahwa suku cadang atau produk akan memenuhi persyaratan sesuai dengan syarat perencanaan. Mutu didefinisikan sebagai tingkatan keunggulan, dan tingkatan mutu perencanaan suku cadang ditetapkan berdasarkan keputusan manajemen. Keputusan tadi diterjemahkan oleh ahli perencanaan dan ahli bahan dalam bentuk persyaratan inspeksi.

Prosedur jaminan mutu dimulai pada tahap produksi logam sejak dari perusahaan tambang dan pemurnian logam besi, ahli pengendalian mutu diharuskan mengetahui karakteristik dari bijih, seperti ukuran butir yang harus dimiliki setelah selesai digiling, proses pemisahan kotoran dari mineral, dan proses ekstraksi logam yang efisien. Komposisi bijih besi

akan bervariasi ketika deposit digali dan salah satu persyaratan dalam prosedur jaminan mutu dilakukan secara berkala.

Pedoman jaminan mutu memuat persyaratan pengujian yang harus dilakukan terhadap produk, setelah atau selama proses produksi atau sewaktu produk dirakit, untuk mengetahui apakah produk cukup baik untuk diproses selanjutnya. Cara pengujian memuat persyaratan penerimaan atau penolakan.

Sifat-sifat khusus dari suatu bahan logam perlu dikenal secara mendalam karena bahan tersebut digunakan untuk berbagai keperluan yang bergantung kepada keadaan bahan itu digunakan. Sifat-sifat bahan yang diinginkan sangat banyak seperti:

- a. Sifat-sifat mekanik yaitu : kekuatan, kekerasan, kekakuan, keliatan, keuletan, kepekaan takikan atau kekuatan terhadap beban kejut dan lain sebagainya.
- b. Sifat-sifat magnet yaitu permeabilitas, koersivitas, histresis dan lain sebagainya.
- c. Sifat-sifat listrik yaitu kemampuan hantaran listrik dan dielektrisitas.
- d. Sifat-sifat termal yaitu : Panas jenis, pemuaian, konduktivitas dan lain sebagainya.
- e. Sifat-sifat kimia yaitu : reaksi kimia, kombinasi, segregasi, ketahanan korosi, komposisi.
- f. Sifat-sifat fisik yaitu : ukuran, massa jenis, struktur dan lain sebagainya.
- g. Sifat-sifat teknologi yaitu : mampu mesin dan mampu keras.

Jumlah sampel, yaitu jumlah produk yang harus diuji, ditentukan oleh kritisnya produk, pengalaman dengan proses, jenis pengujian, biaya, dan daya guna produk tersebut selama

ini. Pengujian dikategorikan atas dua, yaitu pengujian tak merusak (*non destructive testing*) dan pengujian merusak (*destructive testing*).

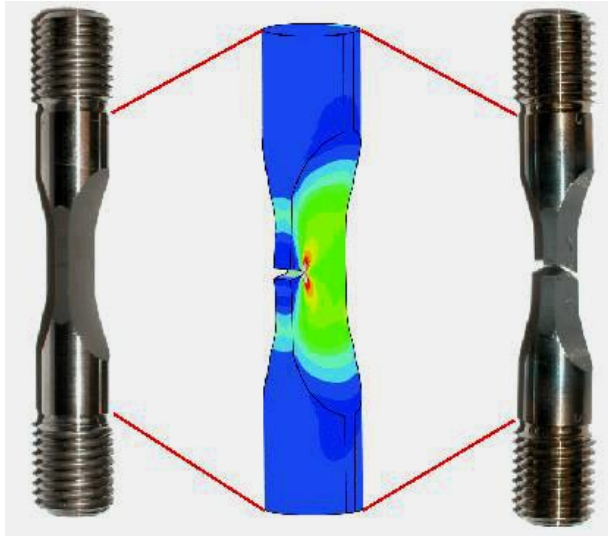
1.5.1 Pengujian Merusak

Pengujian Merusak (*destructive testing*) Benda Uji adalah pengujian dimana benda yang di uji mengalami proses kerusakan, baik itu di potong maupun patah umumnya dilakukan di laboratorium atau dilapangan. Pengujian ini disebut juga dengan pengujian mekanik, yaitu untuk mengetahui sifat mekanik dari suatu bahan. Pengujian merusak meliputi:

- Uji tarik
- Uji kekerasan
- Uji bentur
- Uji mulur
- Uji lelah

Deformasi bahan disebabkan oleh beban tarik statik adalah dasar dari pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan, hal ini disebabkan beberapa alasan yaitu mudah dilakukan, menghasilkan tegangan uniform pada penampang, kebanyakan bahan mempunyai kelemahan untuk menerima beban tegangan tarik yang merata pada penampang. Gambar 1.2 memperlihatkan ilustrasi pengujian tarik statis.

Dalam pengujian bahan atau bahan industri, kekuatan adalah paling sering ditentukan oleh penarikan statik. Untuk memberikan evaluasi secara industri terhadap bahan-bahan, setiap negara menentukan batang uji sesuai dengan standard yang ada di negara tersebut. penentuan tersebut tidak dilakukan dalam penelitian, kecuali karena alasan penggunaan praktis maka batang uji standard industri dapat dipakai.



Gambar 1.2. Ilustrasi Pengujian Tarik

Besarnya regangan (*Strain*) dapat ditentukan dengan membagi ukuran elongasi dengan panjang sample yang digunakan. Hubungan antara *tegangan (Stress) S* dan *regangan (Strain) ϵ* , berdasarkan eksperimen dapat digambar secara grafik stress-strain untuk bahan yang liat (*ductile*) maupun bahan yang getas (*brittle*). Umumnya kekuatan tekan lebih tinggi dari kekuatan tarik sehingga pada perencanaan suatu bahan cukup mempergunakan kekuatan tarik. Tetapi kalau suatu komponen hanya menerima beban tekan saja dan dirancang berdasarkan kekuatan tarik saja, kadang perhitungan menghasilkan dimensi berlebihan. Dalam hal ini pengujian tekan masih diperlukan. Pada pengujian tekan, apabila ada eksentrisitas, ia akan bertambah besar ketika deformasi berlangsung, maka perlu suatu cara agar tidak terjadinya eksentrisitas, jadi hanya bekerja gaya aksial saja, Gambar 1.2 menyatakan cara pengujian tekan yang disarankan oleh ASTM.

Selanjutnya tegangan yang tepat sukar didapat karena batang uji berdeformasi menjadi bentuk tong disebabkan adanya gesekan antara landasan dan batang uji atau terjadi tekukan (*buckling*).

Pengujian bengkok statik adalah salah satu cara pengujian yang di pakai sejak lama bagi bahan atau material yang sesuai, karena dapat dilakukan terhadap batang uji berbentuk sederhana dan tidak perlu mempergunakan mesin uji yang standard. Tetapi bentuk batang uji harus sesuai standard pengujiannya. Pengujian bengkok dapat menentukan mampu deformasi untuk ukuran tertentu dengan radius bengkok tertentu sampai sudut bengkok tertentu, dengan diberi deformasi tertentu pula. Cara ini sering dipergunakan untuk menentukan mampu bentuk dari plat tipis atau kekuatan sambungan las. Pengujian bengkok juga berguna mentukan keliatan atau kegetasan bahan getas. Pada umumnya keliatan ditentukan dengan pengujian pukul takik, tetapi sukar untuk melaksanakan pengujian impak bagi bahan getas karena energi yang diserap sangat kecil dan fluktuasinya besar. Yang perlu diperhatikan pada pengujian kekuatan bagi bahan getas ialah bahwa terjadi fluktuasi tegangan patah yang besar dengan adanya cacat permukaan yang kecil atau adanya inklusi, dan dalam hal tertentu memerlukan pengujian berulang yang banyak untuk mendapat hasil secara statistik.

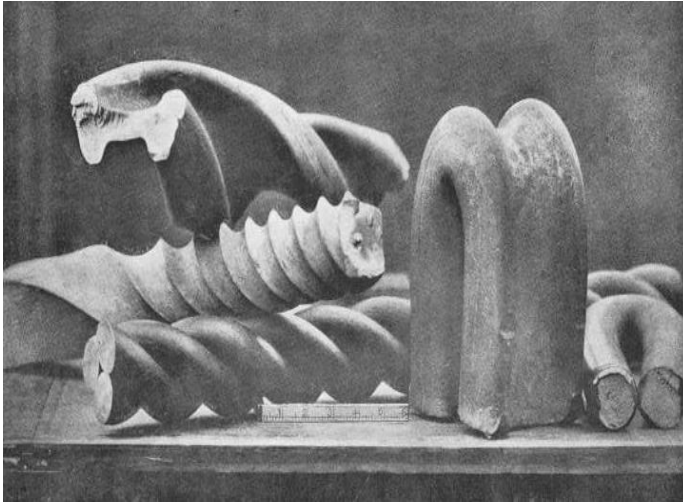
Puntiran adalah satu pembebanan yang penting. Sebagai contoh, kekuatan puntir menjadi permasalahan pada poros-poros. Karena elemen deformasi plastik secara teori adalah slip (gesekan) pada bidang slip, modulus kekakuan adalah konstanta yang penting, yang diperoleh dari pengujian puntir. Deformasi puntiran tidak menunjukkan tegangan yang merata (*uniform*) pada potongan lintang seperti halnya pada deformasi lenturan. Untuk mendapat deformasi puntiran dengan tegangan yang merata dan uniform perlu dipergunakan batang uji berupa silinder tipis. Patahan karena puntiran dari bahan getas

(Gambar 1.3) terlihat pada arah kekuatan tarik, yaitu pada 45° terhadap sumber puntiran, sedangkan bagi bahan yang liat, patahan terjadi pada sudut tegak lurus terhadap sumbu puntiran setelah gaya pada arah sumbu terjadi dengan deformasi yang besar, dari hal tersebut sangat mudah menentukan keliatan dan kegetasan.



Gambar 1.3. Patahan Akibat Puntir

Beberapa bahan dapat tiba-tiba menjadi getas dan patah (Gambar 1.4) karena perubahan temperatur dan laju regangan, walaupun pada dasarnya logam tersebut liat. Gejala ini disebut transisi liat-getas, yang merupakan hal penting ditinjau dari penggunaan praktis bahan. Bahan yang dapat memberikan gejala patah getas adalah logam **BCC** (*Body Center Cubic*) seperti Fe, W, Mo, Nb, Ta dan logam **HCP** (*Hexagonal Closed Poked*) seperti Zn serta paduannya, sedangkan bagi logam **FCC** (*Face Center Cubic*) sama sekali tidak terjadi gejala tersebut.



Gambar 1.4. Beberapa Benda Patah

Patahan patah-getas bersifat getas sempurna, yaitu tanpa adanya deformasi plastis sama sekali, jadi berbeda dengan bidang slip biasa, patah terjadi pada bidang kristalografi spesifik pada bidang patahan. Yang memberikan pengaruh terhadap patahan demikian, adalah tiga faktor:

1. Tegangan tiga sumbu ; karena keadaan tegangan menjadi rumit terhadap dua sumbu atau tiga sumbu disebabkan pangkal takikan, terjadi peningkatan yang menyolok dari tegangan mulur, sementara tegangan patah kurang mempengaruhi, dan patah-getas mudah terjadi.
2. Laju regangan; peningkatan tegangan mulur ditandai oleh peningkatan laju regangan yang mengakibatkan terjadi peningkatan yang sangat mencolok dari tegangan mulur, patah-getas mudah terjadi, sementara tegangan patah kurang mempengaruhi.

3. Temperatur; peningkatan laju regangan terjadi karena temperatur menurun. Makin rendah temperatur makin mudah terjadi patah-getas.

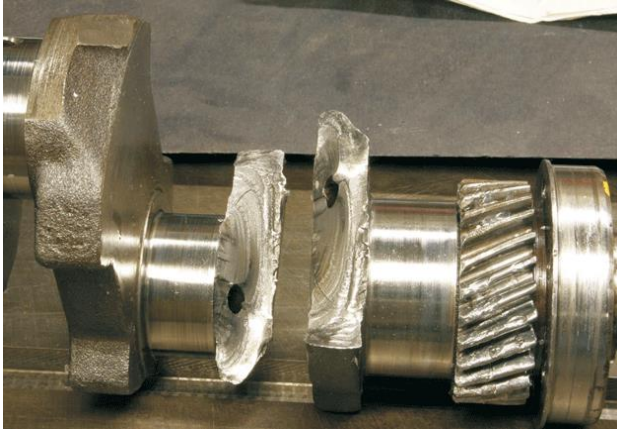
Untuk menelaah ketahanan terhadap keadaan patah-getas tersebut, lebih dari 100 metoda telah diusulkan, yang sebagian dikemukakan seperti Pengujian Impak Charpy, yang mana pada pengujian ini banyak dipergunakan untuk menentukan kualitas bahan. Batang uji dengan takikan 2 mm V, dipukul oleh palu bandul dan tinggi bandul jatuh dikonversikan dengan energi yang diperlukan untuk mematahkan bahan. Pengujian lebar, ukuran besar yang mana pengujian patah dilakukan pada temperatur tetap dengan mempergunakan batang uji selebar 1m. Pengujian ini memerlukan mesin uji berkapasitas 10.000 ton, yang menyebabkan pengujian tersebut menjadi mahal. Seperti telah dikatahui hasil dari pengujian Charpy, patah-getas terjadi pada pangkal takikan batang uji, jadi bahan tiba-tiba patah tanpa deformasi plastis. Secara praktis patahan buatan seperti itu tidak pernah terjadi pada struktur mesin, tetapi mesin selalu mempunyai bagian di mana terjadi konsentrasi tegangan dan mungkin mempunyai cacat pada lasan, jadi adanya cacat yang bekerja seperti takikan tidak dapat dihindari. Pada titik retakan kadang-kadang terjadi deformasi plastis yang cukup besar diikuti dengan patahan yang tidak stabil.

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Pengujian yang paling banyak dipakai adalah dengan menekankan penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur bekas penekanan yang terbentuk diatasnya, cara ini dinamakan cara kekerasan penekanan. Pengujian kekerasan Brinnel Hardness Tester merupakan pengujian standar industri, tetapi karena penekanannya dibuat dari bola baja yang berukuran

besar dengan beban besar, maka bahan lunak atau keras sekali tidak dapat diukur kekerasannya.

Pengujian kekerasan Rockwell Hardness Tester cocok untuk semua bahan yang keras dan yang lunak, penggunaannya sederhana dan penekannya dapat dengan leluasa. Pengujian Rockwell superfisial mempergunakan beban yang ringan untuk memperbaiki ketelitian dari penekan dengan cara penggunaan yang sama, juga dapat mengukur kekerasan permukaan dari bahan yang dikeraskan kulitnya.

Beberapa bagian dari mesin dan struktur dapat berdeformasi secara kontinu dan perlahan-lahan dalam kurun waktu yang lama apabila dibebani secara tetap. Secara ilustrasi kegagalan akibat lelah ditunjukkan pada Gambar 1.5. Deformasi seperti ini yang tergantung pada waktu dinamakan melar (Creep). Melar terjadi pada temperatur rendah juga, tetapi yang sangat menyolok terjadi pada temperatur kritis. Kalau kekuatan lelah yang akan dikemukakan kemudian dibandingkan dengan kekuatan melar, kekuatan lelah rendah pada temperatur rendah sedangkan pada temperatur lebih tinggi kekuatan melar lebih rendah. Oleh karena itu pada perencanaan suatu komponen untuk temperatur rendah didasarkan atas kekuatan lelah sedangkan pada temperatur lebih tinggi perlu didasarkan atas kekuatan melar, karena pengaruh waktu pembebanan adalah besar. Laju melar yang diperbolehkan pada industri adalah 10^{-7} - 10^{-4} %/jam, tetapi secara praktis tidak mudah memeriksa sifat melar bahan pada laju regangan yang demikian rendah, oleh karena itu pengujian dilakukan pada orde pangkat dua lebih besar yaitu : 10^{-5} - 10^{-2} % /jam. Penegasan mengenai sifat melar adalah berdasarkan melar stasioner yang merupakan bagian dari umur melar atau mengabaikan melar transisi dan melar tahap ke-tiga, yang diperhatikan lama waktu sampai putus.



Gambar 1.5. Kegagalan Poros Engkol Akibat Lelah (Fatik)

Dalam kelelahan logam walaupun retakan lelah tergantung pada slip, retakan lelah tidak terjadi pada tegangan mulur yang tinggi. Mulur pada pengujian tarik dan regangan mulur yang disebabkan tegangan mulur uji, diteliti dari hasil pergerakan jarak panjang dari sejumlah banyak dislokasi, sedangkan slip yang diperlukan untuk pengembangan retakan mikro dalam kelelahan terjadi pada mulur mikro yang jauh lebih rendah.

Sebuah mesin mempunyai banyak komponen yang bekerja pada pergerakan dengan gesekan. Pada pergerakan relatif dengan tekanan, selalu terjadi friksi pada bidang kontak. Maka abrasi akan berlanjut, dan merusak ketelitian komponen yang selanjutnya berkembang terus menjadi lebih parah sampai pada saat komponen mesin kehilangan fungsinya dan patah.

Keausan menerima pengaruh yang besar dan rumit dari laju pergerakan relatif dan tekanan pada bidang kontak. Keausan kumulatif antara permukaan halus pada tekanan tetap menghasilkan harga maksimum pada laju pergerakan relatif

tertentu, makin besar tekanan kontak makin besar harga maksimum itu.

Sebagai tambahan kepada apa yang telah diuraikan diatas, ada keausan korosi (Gambar 1.6) akibat zat kimia dan proses elektrokimia dari bahan pelumas dan *klad* permukaan demikian juga keausan *fret* yang menyebabkan kerontokan oleh retakan lelah lokal karena tegangan yang berulang-ulang dari persentuhan yang tegangannya lebih tinggi dari batas elastik, seperti halnya pada cam, roda gigi dan rol.



Gambar 1.6. Kerusakan Poros akibat Korosi

Lingkungan yang bersifat korosi memberikan pengaruh besar pada patahnya dan mengurangi kekuatan putus. Korosi merupakan proses yang lama, yang tidak begitu efektif pengaruhnya kepada kekuatan dalam waktu yang singkat, seperti misalnya pada kekuatan tarik, tetapi lebih berpengaruh pada kekuatan kelelahan dan kekuatan melar.

Dalam hal beban lentur (Gambar 1.7) dan beban puntir telah dikenal jelas bahwa permukaan melingkar dari batang uji mempunyai tegangan maksimum dan retakan lelah terjadi pada

permukaan, dalam hal tarikan dan tekanan yang berulang-ulang pada tegangan yang merata, juga retakan lelah terjadi pada permukaan. Beberapa contoh telah di catat bahwa kalau permukaan dengan pita slip yang diakibatkan oleh kelelahan di elektropolis setipis ukuran butir, maka umur kelelahan diperpanjang. Apabila pemusatan tegangan terdapat pada struktur atau sesuatu yang serupa dengan retak mula, maka terjadinya retakan tidak dapat dihindari dan kondisi dari perambatan retak menjadi penting.



Gambar 1.7. Kegagalan akibat Beban Lentur

Suatu bahan baja yang kuat diberi beban statik selama waktu tertentu, tiba-tiba patah tanpa deformasi plastis, ini dinamakan patah terlambat. Dari pangkal takikan, hidrogen diabsorb karena pengaruh lingkungan, maka retakan terjadi & merambat perlahan-lahan, dan kalau dalamnya telah cukup untuk menyebabkan patahan yang tidak stabil, tiba-tiba patah terjadi. Karena gejala ini serupa dengan patah lelah berkenaan dengan adanya tegangan, laju pertumbuhan retak, dan waktu yang diperlukan untuk patah, gejala ini juga disebut statik. Disini dapat dikatakan bahwa batas tegangan patah

terlambat berhubungan dengan batas lelah yang menurun, sesuai dengan meningkatnya kadar hidrogen dan waktu patahnya menjadi singkat. Permukaan patahan dari patah terlambat ditemukan dua keadaan yaitu antar butir dan melintas butir. Patahan kebanyakan disebabkan kegetasan hidrogen, tetapi ada juga yang disebabkan korosi tegangan, yang terjadi dalam suatu lingkungan elektrokimia, perambatannya korosi dan absorpsi hidrogen yang aktif dipercepat oleh tegangan.

1.5.2 Pengujian Tak Merusak

Pengujian Tak Merusak (NDT/ *Non-Destructive Testing*) merupakan salah satu teknik mengujian bahan tanpa merusak benda ujinya. Pengujian dapat mendeteksi secara dini timbulnya retak (*crack*) pada bahan secara dini, tanpa menunggu bahan tersebut gagal ditengah operasinya. Secara definisi Pengujian Tak Merusak (*Non Destructive Testing*) adalah suatu proses uji untuk mengetahui sifat suatu bahan tanpa merusak benda uji, dapat dilakukan di laboratorium atau dilapangan.

Dari tipe keberadaan retak (*crack*) pada bahan NDT dapat dibedakan dalam dua macam, yaitu: retak pada permukaan (*surface crack*) dan retak pada bagian dalam (*inside crack*). Pada saat pengujian maka harus sudah ditentukan dahulu targetnya (misal *surface crack* atau *inside crack*), baru digunakan metoda NDT yang tepat. Pengujian tak merusak (NDT) yang dilakukan untuk melihat retak pada permukaan (*surface crack*), ada beberapa metode pengujian yang meliputi:

- Visual optical test
- Penetrasi cairan
- Magnetik Partikel
- Arus eddy test

Pengujian tak merusak (NDT) yang dilakukan untuk melihat retak pada bagian dalam (*inside crack*), ada 3 metode pengujian yang meliputi:

- Radiografi
- Ultrasonik
- Acoustic emission test
- Thermal infrared test

Dengan melaksanakan berbagai pengujian termasuk pengujian tak merusak dalam proses produksi dari bahan industri, kemungkinan adanya cacat bahan sangat kecil tetapi tidak mungkin mempunyai bahan yang bebas dari cacat, maka telah dikembangkan cara pengujian tak merusak untuk mengetahui cacat tersebut.

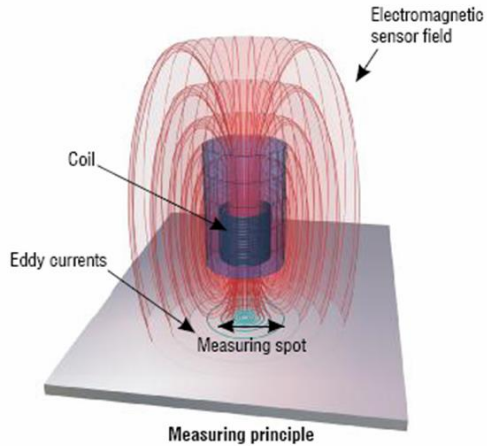
Pengujian tak merusak yang secara umum dilakukan adalah:

1. Visual Optical, melihat/mencari retak (*crack*) yang berada dipermukaan bahan dengan bantuan optik.
2. Penetrasi Cairan pewarna (*Liquid Penetrant*), yaitu dengan menyemprotkan /mengulaskan cairan berwarna pada permukaan material. Pada prinsipnya teknik ini untuk mempermudah penglihatan saja. Cara ini dipakai untuk mendeteksi cacat dengan penembusan zat pada celah cacat di permukaan. Cairan fluoresen atau cairan pewarna dipakai untuk maksud ini. Pengamatan pertama di bawah sinar ultra violet dengan panjang gelombang 330 - 390 mm, dan yang terakhir diamati dibawah sinar tampak terang.
3. Magnet partikel (*Pengujian dengan bubuk magnet*). Jika bahan yang dapat dimagnetkan, misalnya baja berada dalam medan magnet, fluks magnet pada baja akan terputus oleh adanya retakan atau inklusi disekitar

permukaan jadi bubuk magnet akan diabsorb, kepakaan pengamatan sangat tinggi kalau konduksinya baik. Magnetic Particles, cara ini dengan menggunakan serbuk magnetik yang di sebarakan dipermukaan benda uji. Pada saat crack ada dalam perbukaan benda uji, maka akan terjadi kebocoran medan magnit di sekitar posisi crack, sehingga dengan mudah akan bisa dilihat oleh mata. Setelah pengujian magnetik, maka benda uji akan menjadi bersifat magnet, krn pengaruh serbuk magnet tersebut, maka untuk menghilangkan efek itu digunakan metoda *demagnetization* (proses menghilangkan medan magnet pada benda uji), salah satu caranya dengan menggunakan *hammering* (benda uji dipukul dengan hammer, sehingga timbul getaran yang akan melepaskan partikel magnet)

4. Pengujian dengan Arus Eddy.

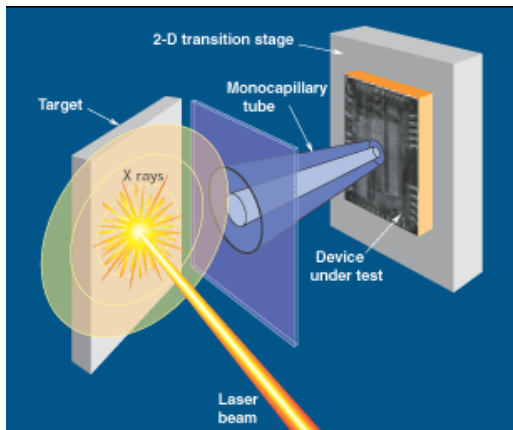
Eddi current, prisipnya hampir sama dengan teknik medan magnet, tetapi disini medan listrik yang dipancarkan dari arus listrik bolak-balik, ketika ada crack maka medan listrik akan berubah dan perubahannya itu akan terbaca pada alat Prinsip ini erat kaitannya dengan impedansi, maka halinya sangat dipengaruhi oleh jarak antara benda uji dengan alat ukurnya. Kalau batang uji ditempatkan dalam lilitan yang dialiri arus listrik frekuensi tinggi, maka arus Eddy yang mengalir pada batang uji berubah kalau ada cacat, yang akan memberikan induksi perubahan tegangan listrik oleh impedansi lilitan atau lilitan sendiri, jadi dihasilkan sinyal listrik. Gambar 1.8 menunjukkan prinsip pengujian Arus Eddy yang mana cara ini dipakai untuk menentukan bagain yang tidak pejal dilihat dari amplitude dan fasa dari sinyal tersebut.pengukur impadance.



Gambar 1.8. Prinsip Pengujian Arus Eddy

5. Pengujian penyinaran (radiography).

Radiography, merupakan suatu proses penyinaran dengan menggunakan sinar X untuk mendapatkan gambaran dalam bahan.



Gambar 1.9. Ilustrasi Sinar-X Test

Prinsipnya sama dengan sinar X yang digunakan untuk tubuh manusia, tetapi panjang gelombang yang digunakan berbeda (lebih pendek). Dengan mempergunakan sinar X, sinar gamma dan sinar neutron yang memiliki daya tembus besar melalui benda, memungkinkan untuk mengetahui adanya cacat dari bayangan pada film yang ditempatkan di belakang benda, yang menunjukkan variasi intensitas, karena perbedaan absorpsi sinar oleh rongga dan kepadatan di dalam benda (Gambar 1.9).

6. Pengujian ultrasonik

Ultrasonik, dengan menggunakan gelombang ultrasonic dengan frekuensi antara 0.1 ~ 15 Mhz. Prinsipnya, gelombang ultrasonic dipancarkan dalam material dan gelombang baliknya atau gelombang yang sampai di sisi yang lain di bandingkan dengan kecepatan suara dari material itu sendiri untuk mendapatkan gambaran posisi dari crack. Gelombang ultrasonik 1 - 5 MHz merambat dalam bahan dan memantul ditempat cacat, dari diteksi gelombang pantulan dapat diketahui adanya cacat. Untuk memancarkan dan menerima gelombang ultrasonik dipergunakan kristal barium titanat atau lainnya. Gelombang ultrasonik memantul 100 % dari celah dan retakan, oleh karena itu, kepakaan pengamatan sanat tinggi dibandingkan dengan pengujian dengan penyinaran yang tidak dapat mengamati cacat kecuali jika benda ujinya mempunyai ketebalan 1 - inchi. tetapi yang terditeksi adalah puncak gelombang pantulan yang memerlukan pengalaman untuk menentukan keadaan cacat pada bahan.

7. Pengujian pancaran akustik (Acoustic emission test)

Kalau deformasi plastis atau patahan terjadi gelombang suara dibangkitkan oleh pembebasan gelombang tekanan.

Hal ini dinamakan pancaran akustik yang dipergunakan dalam pengujian tak merusak bentuk baru. Bila dipergunakan secara sempurna, dapat dipakai untuk mendeteksi retak lelah atau retak korosi tegangan dalam komponen mesin.

1.6 Pertimbangan dalam pemilihan bahan logam.

Bahan konstruksi hingga akhir abad ke- 19 masih sangat sederhana di-mana bahan yang digunakan, seperti kayu, kulit, besi cor, besi tempa, kuningan, dan perunggu. Proses pemberian bentuknya masih sederhana dan tradisional. Perencanaan masih kegiatan coba-coba dan pengalaman. Bila terjadi kegagalan dianggap musibah, tetapi diambil hikmah untuk perbaikan perencanaan berikutnya. Memasuki abad ke- 20, terjadi perubahan yang sangat signifikan. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, tekanan pelestarian sumber-dalam alam, desakan persaingan perdagangan, dan rumitnya bahan-bahan modern yang tidak memungkinkan setiap perusahaan bekerja sendiri-sendiri. Saat ini perencanaan merupakan usaha kerja sama yang erat antara beberapa ahli yang masing-masing menyumbang-pengalaman dan keahliannya. Khususnya kerja sama antar perancang dan ahli bahan. Ahli perencanaan bertanggung jawab atas perencanaan geometri dan ahli bahan bertanggung jawab atas pemilihan bahan.

Perencanaan akhir pada hakekatnya merupakan kesepakatan antara harga dan kemungkinan kegagalan. Keandalan suatu konstruksi atau mesin tergantung dari keandalan komponen terlemah, yaitu komponen yang menemui kegagalan terdahulu. Kegagalan kemungkinan disebabkan oleh ketidakmampuan menentukan ukuran komponen dan menentukan bahan logam yang tepat yang digunakan untuk komponen tersebut.

Bahan saat ini, khususnya logam semakin canggih dan rumit. Dahulu mesin berputar lambat karena logam yang digunakan untuk komponen memiliki kekuatan yang rendah dan ukurannya dibuat lebih besar serta kekakuan tidaklah menjadi masalah yang berarti. Sekarang dengan meningkatnya kecepatan putar dan pergerakan linier serta peningkatan frekuensi pembebanan pada komponen. Pada peralatan modern sekarang diperlukan bahan dengan kekuatan impak dan ketahanan fatik yang tinggi. Berdasarkan pertimbangan ekonomi bahan berkekuatan tinggi, harganya mahal harus digunakan seefisien mungkin sesuai dengan kekuatannya. Hal ini membuat ahli perencanaan mengurangi ukuran atau penampang komponen sehingga mengakibatkan berkurang kekakuan, kelelahan dan korosi terhadap bahan.

Logam berkekuatan tinggi jauh lebih rumit dibandingkan dengan logam konvensional. Contoh, baja berkekuatan tinggi jarang memiliki sifat mampu las yang baik dan tidak tahan terhadap korosi. Di samping berbagai jenis logam, dijumpai berbagai macam cara pembuatan dan pembentukan. Proses pembuatan komponen akan mempengaruhi hasil akhir, baik sifat logam sendiri maupun efeknya terhadap sifat komponen akhir. Proses pembentukan meliputi pengecoran, pemesinan, pengelasan, pengepresan, penempaan panas, penempaan dingin, dan metalurgi serbuk. Setiap proses produksi memiliki keuntungan dan kerugian dan mempengaruhi sifat-sifat bahan yang diproses.

Sebagai langkah awal perencanaan diperlukan kejelasan tentang fungsi dari komponen yang akan direncanakan mencakup kemampuan memikul beban dan meneruskan/transfer beban serta karakteristik fisik dan kimiawi dari komponen. Kritis tidaknya komponen tersebut dinilai berdasarkan besar kerugian yang ditimbulkan sekiranya terjadi kegagalan. Semua faktor tersebut perlu dipertimbangkan sekiranya mengubah geometri, proses, sifat, dan lain-lainnya.

Seiring dengan itu masalah kendali mutu dan pengujian perlu dilakukan. Akhirnya kajian mengenai pembebanan sesungguhnya perlu dilaksanakan karena ujian terakhir ditentukan oleh daya guna komponen tersebut selama pemakaian.

Dari penjelasan di atas jelas bahwa ahli perencanaan harus dapat menghayati masalah yang dihadapi oleh ahli bahan sewaktu melakukan pemilihan bahan dan penentuan proses pembentukan komponen. Pertukaran pendapat antara ahli perencanaan dan ahli bahan dilakukan secara terus menerus. Perlu dicatat bahwa perencanaan merupakan suatu proses yang berulang dan tidak berhenti ketika dihasilkan suatu komponen dengan daya guna yang memadai.

Rumitnya masalah pemilihan bahan akan lebih jelas bila diingat bahwa jenis logam sangat beraneka ragam dan lingkaran bahan dalam proses perencanaan juga cukup rumit. Ahli teknik yang terlibat dalam perencanaan hendaknya menyadari hal tersebut.

Ada beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan dalam memilih bahan, seperti sifat umum dan khas dari logam sebagai berikut:

- Kekuatan mekanik
- Mampu bentuk dan keuletan
- Kekerasan dan ketahanan keausa.
- Ketangguhan
- Daya tahan terhadap korosi
- Sifat listrik
- Sifat magnetik
- Warna
- Mampu sambung
- Mampu bentuk

Setiap sifat-sifat itu merupakan fungsi dari sifat lainnya. Contoh, daya guna mekanik logam merupakan perpaduan dari:

- Modulus elastisitas
- Kekuatan tarik, tekan, dan torsi
- Keuletan terhadap patah
- Ketahanan terhadap mulur
- Ketahanan terhadap kelelahan
- Kekuatan pada suhu tinggi atau rendah

Jumlah sifat bahan yang perlu diteliti cukup banyak dan saling berkaitan satu dengan sifat lainnya. Untuk setiap perubahan sifat logam yang digunakan dalam perencanaan tertentu, perlu diadakan penyesuaian bentuk atau ukuran dengan menitik beratkan keutamaan spesifikasi perencanaan. Sejalan dengan itu perubahan bentuk dan ukuran produk akan memerlukan perubahan dalam sifat dan bahan.

Ahli perencanaan dan ahli bahan dapat mengikuti prosedur penyesuaian bahan dengan empat karakteristik dasar dalam spesifikasi perencanaan adalah:

- Geometri
- Tegangan
- Lingkungan
- Pemrosesan

Pada pemilihan bahan keempat karakteristik tersebut di atas sangat perlu diperhatikan. Produk yang unggul merupakan hasil kerja sama antara ahli perencanaan dengan ahli bahan dan proses produksinya (Gambar 1.10). Adapun faktor yang disebutkan diatas merupakan dasar pemilihan bahan. Pemilihan bahan sangat berhubungan erat antar faktor tersebut, sehingga untuk pemilihannya harus didasarkan atas

beberapa kriteria dan mempertimbangkan beberapa sifat material, seperti yang terlihat pada Gambar 1.10.



Gambar 1.10. Kriteria Pemilihan Bahan

1.7 Ruang Lingkup

Bidang ilmu terapan dan ahli teknologi selalu berhubungan dengan bahan (material). Teknologi bahan dan metalurgi mempunyai hubungan yang sangat erat. Hal ini meliputi berbagai pengembangan bahan dan penerapan pengetahuan, serta perkembangan mengenai hubungan antara komposisi, struktur dan pemrosesan bahan dengan sifat-sifat dan pemakaiannya. Mulai dari penambangan, pengolahan, peleburan dan pengecoran dan pembuatan bahan sehingga menghasilkan suatu produk benda.

Akibat perkembangan teknologi bahan dengan adanya metode pemrosesan baru, dan peningkatan yang berarti dari sifat mekanik, kimia, listrik, optik dan magnetik sehingga ditemukan material-material baru yang sensasional

Teknologi mutakhir masa kini bergantung pada bahan canggih, semuanya memanfaatkan perangkat, produk, dan sistem yang terbuat dari bahan. Perkembangan teknologi bahan semakin maju ditandai adanya modifikasi dan penyempurnaan material yang dilakukan para ahli teknologi sehingga dapat membuat produk yang lebih baik.

Pembuatan produk dengan menggunakan bahan, dan energi terlibat dalam produksi, penggunaan bahkan dalam komunikasi. Kontinuitas berkesinambungan antara berbagai faktor tersebut menyerupai suatu siklus. Siklus ini menjadi salah satu alasan mengapa perlu mempelajari bahan-bahan teknik, meliputi klasifikasi bahan (logam maupun non logam), sifat bahan, komposisi bahan, struktur bahan, kinerja penerapannya, dan pengujian bahan.

Banyak macam bahan baku industri yang kadang-kadang dapat menyulitkan dalam pemilihan yang tepat. Pemilihan sering tidak semata-mata berdasarkan pertimbangan teknik selain itu juga pertimbangan ekonomis. Pemilihan bahan ditentukan oleh cara pembuatan / pembentukan. Penentuan bahan yang tepat merupakan kompromi antara berbagai sifat, cara penggunaan, memenuhi syarat yang telah ditentukan dan sesuai dengan standard.

Beberapa sifat teknis yang harus diperhatikan sewaktu pemilihan bahan. Sifat-sifat bahan meliputi sifat mekanis, sifat yang diperlukan selama pembentukan, sifat yang penting sehubungan dengan pengaruh lingkungan. Sifat mekanis yang perlu diperhatikan adalah Kekuatan tarik, Batas mulur, Keuletan, Tahan aus, Perbandingan kekuatan/berat, daya tahan terhadap; tekuk, torsi, dan geser.

Bahan juga mempunyai sifat yang diperlukan selama pembentukan seperti mampu mesin (*machineability*), mampu las (*weldability*), karakteristik pengerjaan dingin, karakteristik pengerjaan panas, dan mampu tempa. Selain itu juga bahan mempunyai sifat yang penting sehubungan dengan pengaruh lingkungan. Daya tahan karat dalam cuaca, lingkungan biasa, dibawah pengaruh unsur kimia seperti minyak, air garam serta daya tahan panas dan pelapukan. Prinsip dasar yang mengendalikan sifat dari semua bahan adalah bahwa sifat bahan ditentukan oleh struktur internal material tersebut. Struktur internal bahan terdiri dari atom yang tersusun dalam suatu kristal, molekul, dan mikrostruktur.

Material yang telah ditetapkan dalam desain, dilakukan pemrosesan (produksi). Pemrosesan produksi yaitu mengubah bentuk material melalui permesinan atau penempaan (deformasi plastik). Perubahan struktur internal (deformasi plastik) terjadi maka perubahan sifat juga terjadi. Proses thermal, perlakuan logam (panas dan dingin) mempengaruhi struktur internal material. Proses perlakuan pada logam seperti aging, pelunakan (*annealing*), tempering, hardening, normalizing dan pencelupan dari suhu tinggi (*Quenching*). Pelapisan pada logam sering dilakukan untuk meningkatkan daya tahan dari logam tersebut.

Bahan logam maupun non logam mempunyai tipe tersendiri. Umumnya memiliki konduktivitas thermal dan listriknya yang tinggi, tidak tembus cahaya, dapat dipoles sampai mengkilap, berat (tidak selalu), mudah dibentuk dan densitasnya tinggi. Bahan teknik yang banyak dipakai di industri kebanyakan bahan logam ferro (besi). Namun mengingat bahan logam besi jika ditinjau dari beratnya maka untuk pemakaian komponen atau elemen mesin cukup tepat penggunaannya. Pada kondisi sekarang selain logam ferro juga sangat banyak logam non ferro yang digunakan pada komponen. Hal ini dimungkinkan bahwa dalam logam non

ferro mempunyai sifat-sifat logam yang tidak dimiliki oleh logam ferro. Logam non ferro merupakan bahan logam yang tidak mengandung besi (ferro). Karakteristik dari logam non ferro ini juga merupakan salah satu alasan yang tepat dalam pemakaiannya.

Teknologi pembentukan yang canggih sangat diperlukan seperti halnya waktu yang singkat, dan bahkan ketepatan produksi komponen secara individu. Sinter (sintering) adalah suatu teknologi yang tepat dalam melakukan proses metalurgi serbuk. Sintering akan menyebabkan perubahan bentuk dari serbuk logam hingga menyerap serbuk menjadi komponen metalik yang baik untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut dengan memberikan suatu kombinasi difusi dan tegangan muka pada temperatur tinggi. Teknologi pembentukan dibuat memungkinkan untuk menyamakan produk hasil sinter dengan mengurangi kehilangan 10% sampai 15% kegagalan pada komponen. Efisiensi ekonomi yang tinggi dan prosedur yang ramah lingkungan membuat metalurgi serbuk menjadi suatu teknologi harapan di masa depan.

Teknik pembuatan serbuk logam atau serbuk paduan juga pembuatan barang-barang logam atau ingot logam dengan jalan menekan serbuk dalam cetakan dan kemudian disinter dibawah titik cairnya, hal ini dinamakan metalurgi serbuk (*powder-metallurgy process*). Banyak macam serbuk logam dapat dibeli termasuk senyawa logam dan sekarang tersedia oksida besi, oksida aluminium, oksida uranium dan demikian juga yang disebut ferit, perkakas keramik dan lain sebagainya.

Metalurgi serbuk dipergunakan bagi bahan yang tidak dapat atau sukar di proses dengan jalan mencairkan dan bagi bahan yang memerlukan pemrosesan yang lebih murah dengan kualitas lebih baik. Kerugian metalurgi serbuk disebabkan oleh yang berasal dari serbuk logamnya sendiri dan yang berasal dari peralatan.

Pada metalurgi serbuk di kenal proses pembuatan berbagai produk untuk penyaringan atau peredam suara menggunakan foam sesuai dengan kebutuhan akan produk tersebut hal ini disebut dengan “*Foam Metal* atau *Porous Metal*”. Sifat-sifat, karakteristik dan keuntungan dari porous metal.

Dalam kehidupan sehari-hari banyak ditemukan material yang umurnya lebih singkat dari yang ditentukan. Salah satu penyebabnya adalah interaksi logam dengan lingkungannya yang menyebabkan terjadinya perubahan mutu atau menurunnya umur bahan yang disebut dengan korosi. Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan yang korosif. Pada dasarnya peristiwa korosi adalah reaksi elektrokimia.

Faktor penting dalam korosi lingkungan adanya hujan, kabut atau pengembunan akibat kelembaban relatif yang tinggi. Dalam suatu struktur harus diperhatikan rancangan struktur agar mengalir dengan bebas air dan cukup ventilasi untuk mengeringkan seluruh permukaan. Kabut dan pengembunan bisa mengakibatkan korosi membasahi seluruh permukaan. Selapis tipis air yang tidak kelihatan sudah cukup membuat suatu sel korosi yang baik. Adanya tiga faktor sel korosi yaitu anoda, katoda dan elektrolit. Lapisan tipis embun yang terbentuk dari embun dari kabut atau dari kelembaban tinggi mudah jenuh dengan oksigen dari udara sehingga terjadi daerah katodik. Laju atau tingkat keparahan suatu logam pada korosi lingkungan umumnya ditentukan konduktivitas elektrolit yang terlarut. Salah satunya yaitu lingkungan yang mengandung ion-ion klorida atau lingkungan laut. Korosi pada logam akan mengakibatkan kegagalan.

Kegagalan (*failure*) produk tidak harus berupa musibah, atau melibatkan perpatahan, kebocoran, atau kehausan. Kegagalan tidak lain adalah titik dimana produk tidak lagi

tidak mampu memenuhi tujuan pemakaiannya. Beberapa tipe kegagalan yang tertunda yang timbul akibat perubahan bahan selama pemakaian akan ditelaah, yaitu kegagalan yang terjadi akibat reaksi kimia (korosi), akibat tegangan siklik atau tegangan secara terus-menerus, dan akibat suhu tinggi.

Umumnya, material semakin mudah dideformasi apabila suhunya semakin tinggi. Hal ini karena deformasi plastik biasanya terjadi akibat penggerakkan dislokasi yang meliputi pergerakan beruntun dari atom ke tetangga yang baru. Pergerakan ini dimungkinkan karena adanya energi termal, dan akan menurunkan kekuatan. Anggapan suatu suhu tinggi (*elevated temperature*) yang terjadi sebagai suhu dimana bahan mengalami perubahan struktural semasa pemakaian. Tentu saja, perubahan struktural yang terjadi mempengaruhi sifat-sifat sehingga perlu dipertimbangkan dan diperhatikan dalam perencanaan.

RANGKUMAN

1. Pada dasarnya kehidupan manusia sehari-hari tidak terlepas dari penggunaan bahan. Berbagai jenis bahan telah di buat, dikembangkan dan digunakan untuk menunjang keperluan / kebutuhan manusia. Banyaknya jenis bahan, baik logam maupun non-logam menuntut pengguna/pemakai untuk mengetahui semua karakteristik bahan, seperti sifat mekanik, sifat fisik, sifat kimia dan sifat teknologinya.
2. Lingkup bidang metalurgi sangat luas, mulai dari bahan mentah sampai menjadi benda yang terpakai. Sistematika ini dimulai dari pengolahan bahan galian, ekstraksi logam dan pemurniannya, pembentukan dan perlakuan panas logam, teknologi perancangan dan pengoperasian sistem-sistem metalurgi hingga fenomena kegagalan struktur logam akibat beban mekanik dan degradasi logam akibat berinteraksi

dengan lingkungan termasuk pengendalian, serta teknologi daur ulang.

3. Pemilihan bahan yang tepat dalam melakukan perencanaan, menuntut para ahli bahan untuk menyediakan data perencanaan yang diperlukan, mensintesis dan mengembangkan material baru, menganalisis kegagalan, dan puncaknya membuat bahan dengan bangun, bentuk, dan sifat-sifat yang diinginkan dengan harga terjangkau. Hal ini menuntut adanya kolaborasi antar disiplin ilmu dalam mewujudkannya.
4. Pemahaman antara perilaku makroskopik dan mikroskopik merupakan studi metalurgi mengenai hubungan struktur/sifat untuk besi-besi komersial yang dianggap sebagai cikal-bakal ilmu bahan modern. Peningkatan teknik-teknik analitis untuk mengkarakterisasi struktur secara lebih rinci telah mengarah pada pengembangan dan penerimaan polimer dan keramik sebagai bahan rekayasa yang lebih unggul.
5. Logam yang sejak awalnya sudah memiliki sifat-sifat penggunaan teknis tertentu dan dapat diperoleh dalam jumlah cukup ialah : besi, tembaga seng, timah, timbel, nikel, aluminium, magnesium. Kemudian tampil logam-logam lain yang dikenal orang bagi penggunaan khusus dan paduan, seperti: perak, emas, platina, iridium, wolfram, tantal, molybdenum, titanium, kobalt, antimonium (metalloid), khrom, vanadium, berylium.
6. Logam besi yang dapat diolah secara teknis selalu merupakan paduan antara besi (Fe) dengan zat arang (C) dan unsur-unsur lainnya. Ukuran yang mentukan kekerasan, kekuatan dan keuletan adalah tinggi kadar carbon yang selalu ada di dalam besi.

7. Kegagalan suatu alat komponen, akan mengakibatkan kerugian dan juga merusak kepercayaan industri yang memproduksi komponen tersebut. Sifat-sifat khusus dari suatu bahan logam perlu dikenal secara mendalam karena bahan tersebut digunakan untuk berbagai keperluan yang bergantung kepada keadaan bahan itu digunakan. Sifat-sifat bahan yang diinginkan seperti sifat mekanik, sifat magnet, sifat termal, sifat listrik, sifat kimia, sifat fisik, sifat teknologi proses. Untuk mengetahuinya secara spesifik diperlukan pengujian terhadap bahan itu. Pengujian dikategorikan atas dua, yaitu pengujian tak merusak (*non destructive testing*) dan pengujian merusak (*destructive testing*).

SOAL LATIHAN

1. Jelaskan pengertian dari metalurgi!
2. Jelaskan hubungan antara metalurgi dengan bidang ilmu lainnya?
3. Sebutkan sifat-sifat bahan yang diinginkan beserta penjelasannya?
4. Bagaimana cara untuk mengetahui sifat bahan? Jelaskan.
5. Jelaskan pengertian dari pengujian merusak dan pengujian tak merusak.
6. Hal apa saja yang dilakukan pada pengujian yang disebutkan pada soal nomor 5?
7. Dalam melaksanakan suatu pengujian terhadap bahan harus mengikuti standardisasi. Sebutkan beberapa standard pengujian yang diketahui?
8. Sebutkan hal apa saja yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan bahan?
9. Hal apa saja yang dapat menjadikan bahan yang digunakan gagal?

10. Sebutkan berbagai jenis proses pembuatan dan pembentukan suatu komponen?

METALURGI LOGAM

Hendri Nurdin



Hendri Nurdin, lahir di Medan 28 Februari 1973, menamatkan pendidikan Sarjana Teknik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (2000) pada bidang Ilmu Teknik Mesin. Kemudian melanjutkan studi magistret Teknik pada Bidang Ilmu Bahan & Struktur (2006). Di Universitas Sumatera Utara Medan. Sampai saat ini merupakan salah seorang staf pengajar dan Ketua Program Studi di Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Memiliki pengalaman mengajar selama ini dalam beberapa mata kuliah seperti Teknologi Bahan, Pengujian Bahan, Elemen Mesin, Mesin Teknologi Terapan, Fisika Teknik, Mekanika Teknik, Dinamika Teknik. Penelitian yang telah dikembangkan mengarah ke bidang ilmu rekayasa bahan dengan fokus natural science materials, renewable alternative energy.

ISBN 978-602-3378-98-5



PENERBITAN & PERCETAKAN UNP PRESS
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang
Sumatera Barat

