

Dr. Prantasi Harmi Tjahjanti, S.Si.,MT.
A'rasy Fahrudin,ST.,MT.

METALURGI 2



UMSIDA Press
Universitas Muhammadiyah Surabaya
Jl. Masjid Paksi No. 100
Surabaya Jawa Timur

ISBN 978-623-6833-90-2 (PDF)



9 786236 833902



BUKU AJAR MATA KULIAH METALURGI

Oleh:
**PRANTASI HARMI TJAHHANTI
A'RASY FAHRUDDIN**



**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO
2020**

BUKU AJAR
METALURGI 2

Penulis:

Dr. Prantasi Harmi Tjahjanti, S.Si., MT.
A'rasy Fahrudin, ST., MT.

ISBN :

978-623-6833-90-2

Editor:

Mulyadi, ST., MT.

Design Sampul dan Tata Letak:

Mochammad Nashrullah, S.Pd.
Amy Yoga Prajati, S.Kom.

Penerbit:

UMSIDA Press

Anggota IKAPI No. 218/Anggota Luar Biasa/JTI/2019

Anggota APPTI No. 002 018 1 09 2017

Redaksi

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Jl. Mojopahit No 666B
Sidoarjo, Jawa Timur

Cetakan Pertama, September 2020

©Hak Cipta dilindungi undang undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dengan sengaja, tanpa ijin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum,wr,wb
Alhamdulillahirobbil'alamin,

Buku Ajar: **Metalurgi 2** ini ditulis dua orang, Penulis 1 adalah Dr. Prantasi Harmi Tjahjanti,S.Si.,MT, dan Penulis 2 adalah (Cand.Dr) A'rasy Fahrudin,ST.,MT. Kepakaran Penulis 1 adalah bidang Ilmu dan Rekayasa Bahan/Material yang hingga saat ini selain terus melakukan penelitian khususnya tentang material, juga sebagai *Reviewer* untuk bidang-bidang material dan lainnya. Buku **Metalurgi 2** ini adalah buku keempat untuk Penulis 1. Sementara Penulis 2 memiliki bidang keahlian Konversi Energi, sangat membantu untuk penulisan buku ini yang ada kaitannya dengan bidang tersebut.

Buku ini merupakan buku pegangan bagi mahasiswa Fakultas Teknik, dan mahasiswa Politeknik pada umumnya. Pembuatan buku dimaksudkan juga untuk menambah tersedianya buku di Indonesia karena buku sejenis ini tidak banyak di dapat di Indonesia. Buku ini disusun dengan mengambil berbagai sumber referensi yang sangat bagus juga didukung oleh pengalaman Penulis mengajar mata kuliah yang berhubungan dengan material dan metalurgi, selama hampir kurang 20 tahun serta dilengkapi dengan serangkaian penelitian yang dilakukan selama ini. Penulis sangat berharap agar buku ini dapat membantu mahasiswa dalam memahami, menyusun, mengembangkan pengetahuan mereka tentang teori maupun aplikasi dari material metalurgi.

Buku ini dimulai dengan bahasan mengenai Pendahuluan Ilmu Metalurgi yang didalamnya menjelaskan tentang Proses Pembuatan Besi. Bahasan berikutnya tentang Diagram Phase menjelaskan proses pengecoran Besi-Besi Karbida. Berikutnya disajikan tentang Transformasi Phase dan Perlakuan pada Baja yaitu *treatment*

/perlakuan pada baja. Bahasan selanjutnya adalah tentang Jenis-Jenis Baja dan Besi Cor, yang dilanjutkan dengan Logam-logam Paduan. Hingga pada materi akhir dibahas tentang proses Korosi baik jenis-jenis korosi maupun cara pengujiannya.

Buku ini disusun tidak hanya dengan materi yang lengkap namun juga ada unsur pedagogi untuk memfokuskan pembelajaran dan mengetahui kompetensi pemahaman akan materi yang diberikan. Karena itu diberikan tujuan instruksional pada setiap awal bab dengan maksud agar materi atau pembahasan dalam tiap bab dapat tercapai. Soal-soal juga diberikan di setiap akhir bab dengan tujuan untuk membantu pemahaman mahasiswa.

Ucapan terimakasih Penulis sampaikan kepada mahasiswa-mahasiswa bimbingan yang telah membantu dalam penyusunan buku ini dengan beberapa hasil penelitiannya masuk dalam buku ini, serta membuat sebagian ilustrasi dan gambar. Penulis juga menghaturkan terimakasih kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSIDA) yang telah memberikan keleluasaan dan dorongan untuk terus berkarya.

Selanjutnya, apa yang telah Penulis kerjakan dalam penyelesaian buku ini, tentu saja sangat dilakukan dengan teliti dan sungguh-sungguh, namun demikian untuk mencapai kesempurnaan, penulis sangat mengharap adanya saran, kritik, diskusi, koreksi ataupun sanggahan yang sifatnya membangun, dan dengan hati yang terbuka, Penulis sangat mengharapkan masukan-masukan tersebut sebagai penulisan buku selanjutnya.

Akhirnya, semoga buku yang telah jadi ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa dan pembaca semuanya, khususnya yang memiliki bidang yang terkait dengan buku ini. Semoga Allah SWT, selalu melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua.

Amin.

Wassalamu'alaikum, wr,wb
Sidoarjo, Juli 2020

Penulis

**BATANG TUBUH DAN
SUB-CAPAIAN PEMBELAJARAN MATA KULIAH**

BAB	Sub-Capaian Pembelajaran Mata Kuliah
Bab 1. Pendahuluan Metalurgi Jenis Besi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mahasiswa mampu memahami pendahuluan Metalurgi 2. Mahasiswa mampu menjelaskan tentang Proses Pembuatan Besi.
Bab 2. Diagram Phase: Besi-Besi Karbida	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mahasiswa mampu memahami dan mengerti tentang Diagram Phase 2. Mahasiswa mampu menjelaskan proses pengecoran Besi-Besi Karbida meliputi pengertian tentang Karbida Besi (Besi Karbida)/Sementit 3. Mahasiswa mampu menjelaskan tentang Diagram Fase: Fe – Fe₃C, Dekomposisi Austenit, Baja Karbon dan Baja Paduan Rendah, dan Pergeseran Eutektoid.
Bab 3. Transformasi Phase dan Perlakuan pada Baja	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mahasiswa mampu mengidentifikasi dan dapat memahami dan mengerti tentang <i>treatment</i>/perlakuan pada baja 2. Mahasiswa dapat menjelaskan juga tentang Proses Anil, Normalisasi, Rekristalisasi, Sferoidisasi, dan Diagram Transformasi Isotermal
Bab 4. Jenis-Jenis Baja dan Besi Cor	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mahasiswa mampu mengidentifikasi dan dapat mengerti isi dari bab ini khususnya jenis-jenis baja 2. Mahasiswa mampu menjeaskan Baja Paduan Rendah (<i>Low Alloy Steel</i>), Baja Tahan Karat, Baja Perkakas (<i>Tool Steel</i>) dan besi cor.
Bab 5. Logam-logam Paduan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mahasiswa mampu memahami dan mengerti tentang jenis-jenis logam Paduan. 2. Mahasiswa mampu menjelaskan Logam

	Paduan Aluminium, Logam Paduan Magnesium, Logam Paduan Nikel, Logam Paduan Tembaga, dan Logam Paduan Titanium
Bab 6. Korosi	<ol style="list-style-type: none">1. Mahasiswa mampu memahami dan mengerti tentang proses korosi baik jenis-jenis korosi maupun cara pengujiannya.2. Mahasiswa mampu memahami dan mengerti Faktor Penyebab Korosi/Yang Mempercepat Korosi3. Mahasiswa mampu menjelaskan cara pengujian korosi.4. Mahasiswa mampu melaksanakan cara pencegahan korosi.

	<u>HALAMAN</u>
Cover	i
Kata Pengantar	ii
Batang Tubuh dan Sub-Capaian Pembelajaran Mata	
Kuliah	iv
Daftar Isi	vi
Bab 1 Pendahuluan Metalurgi Jenis Besi	1
1.1 Metalurgi Jenis Besi Tertera di Al-Qur'an	2
1.2 Proses Pembuatan Besi	3
1.2.1 Pembuatan Besi Kasar	3
1.2.2 Bijih Besi dengan Pengolahan Reduksi Langsung (<i>Direc Induced Iron / DRI</i>)	9
1.2.3 Bijih Besi dengan Pengolahan Reduksi Tidak Langsung (<i>Indirec Induced Iron / IRI</i>)	11
1.3 Proses Konvertor	17
1.3.1 Proses Bessemer untuk besi kasar dengan kadar fosfor yang rendah.	17
1.3.2 Proses Thomas untuk besi kasar dengan kadar fosfor yang tinggi	19
1.3.3 Proses Oksi, proses Linz Donawitz dan lainnya	20
1.4 Martin Proses (Martin Siemen Dapur)	21
1.4.1 Besi kasar dalam Martin Proses rendah	22
1.4.2 Proses Oksi	23
1.4.3 Proses Hoecsch	24
1.4.4 Proses Bertrand Thield	24
1.4.5 Proses Dupleks	24

	1.4.6	Proses Thalbot	25
1.5		Dapur Listrik Untuk Baja Campuran	25
	1.5.1	Dapur Listrik Busur Nyala Api (Busur Cahaya)	25
	1.5.2	Dapur Listrik Induksi	26
1.6		Dapur induksi	27
	1.6.1	Proses Dapur Aduk	28
		Soal-soal	
Bab 2		Diagram Phase: Besi-Besi Karbida	30
	2.1	Karbida Besi (Besi Karbida)/ SEMENTIT	30
	2.2	Diagram Fase: Fe – Fe ₃ C	31
	2.3	Dekomposisi Austenit	32
	2.4	Baja Karbon dan Baja Paduan Rendah	34
	2.5	Pergeseran Eutektoid	36
	2.6	Pembentukan Martensit	37
		Soal-soal	
Bab 3		Transformasi Phase dan Perlakuan pada Baja	46
	3.1	Proses Anil	46
		3.1.1 Anil Penuh/Anil Sempurna (<i>Full Anneal</i>)	46
	3.2	Normalisasi	47
	3.3	Rekristalisasi	49
		3.3.1 Pengerjaan Dingin/PD (<i>Cold Work/CD</i>)	50
		3.3.2 Pengerasan Regangan	51
	3.4	Speroidisasi	52
	3.5	Diagram Transformasi Isotermal	52
		Soal-soal	
Bab 4		Jenis-Jenis Baja dan Besi Cor	62
	4.1	Klasifikasi Logam Paduan	62

4.2	Nomenklatur/Identifikasi Baja	63
4.3	Baja Paduan Rendah (<i>Low Alloy Steel</i>)	65
	4.3.1 Baja Karbon Rendah	65
	4.3.2 Baja Karbon Menengah/ Sedang	67
	4.3.3 Baja Karbon Tinggi	68
	4.3.4 Baja Paduan Tinggi (<i>High Alloy Steel</i>)	69
4.4	Baja Tahan Karat	69
	4.4.1 Baja Tahan Karat Ferit	69
	4.4.2 Baja Tahan Karat Austenit	70
	4.4.3 Baja Tahan Karat Martensit	70
4.5	Baja Perkakas (<i>Tool Steel</i>)	71
4.6	Besi Cor/BesiTuang (<i>Cast Iron</i>).	76
	4.6.1 Mikrostruktur Grafit Di Dalam Besi Cor	79

Soal-soal

Bab 5	Logam-logam Paduan	87
5.1	Logam Paduan Aluminium	87
	5.1.2 Paduan Tempa Aluminium	92
	5.1.3 Paduan Cor Aluminium	92
5.2	Logam Paduan Magnesium	94
5.3	Logam Paduan Tembaga	97
	5.3.1 Logam Paduan Tembaga -Timbal	99
5.4	Logam Paduan Nikel	99
5.5	Superalloy	100
5.6	Logam Paduan Titanium	100
	5.6.1 Paduan Titanium Alpha	101
	5.6.2 Paduan Titanium Beta.....	101
	5.6.3 Paduan Titanium Alpha-Beta	101

Soal-soal

Bab 6	Korosi	105
	6.1 Pengertian Korosi	105
	6.2 Faktor Penyebab Korosi / yang Mempercepat Korosi	106
	6.3 Pengujian Korosi	107
	6.4 Cara Mencegah Korosi	108
	Soal-soal	
	Daftar Pustaka	114
	Biodata Penulis	115

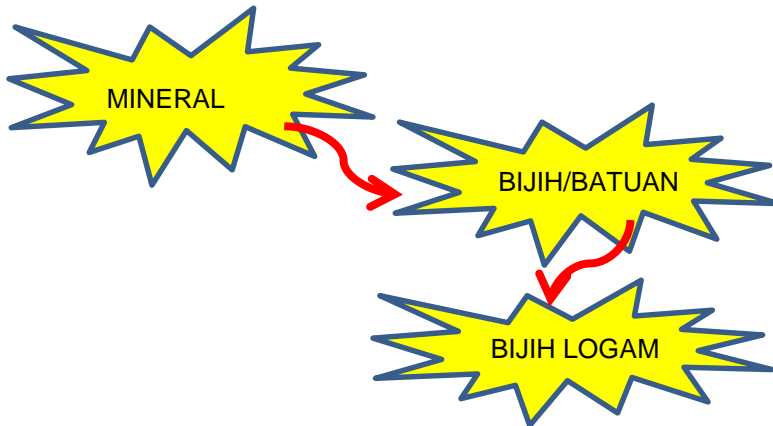
BAB 1 PENDAHULUAN METALURGI JENIS BESI

CAPAIAN PEMBELAJARAN

Diharapkan mahasiswa dapat mengenal, dan mengerti isi dari bab ini khususnya tentang Pendahuluan Metalurgi yang didalamnya menjelaskan tentang Proses Pembuatan Besi.

Dalam istilah pertambangan bahan mentah (*raw material*) yang juga disebut mineral mentah (*ore*) adalah mineral yang belum diolah dan belum dimurnikan. Mineral adalah senyawa anorganik yang terbentuk di alam, yang memiliki sifat fisik dan kimia tertentu serta susunan kristal teratur atau gabungannya yang membentuk batuan, baik dalam bentuk lepas atau padu. Sementara pertambangan mineral adalah pertambangan kumpulan mineral yang berupa bijih atau batuan, di luar panas bumi, minyak dan gas bumi, serta air tanah. Sedangkan batubara adalah endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan.

Bijih atau batuan selanjutnya ditambang menjadi bijih logam yang masih bercampur dengan bahan atau mineral lainnya. Bijih–bijih logam merupakan salah satu hasil tambang yang biasanya masih berbentuk butiran atau gumpalan. Jumlah atau kadar prosentase dari berat unsur mineral yang terkandung di dalam bijih logam bergantung dari kedalaman lapisan tanah di mana bijih tersebut ditambang. Urutan proses penambangannya ditampilkan pada Gambar 1.1. Bijih logam memiliki kandungan berupa senyawa oksida, silikat, sulfida ataupun logam murni seperti tembaga, emas, dan **bijih besi**.



Gambar 1.1 Urutan proses penambangan

1.1 Metalurgi Jenis Besi Tertera di Al-Qur'an

Besi adalah karunia Allah SWT yang merupakan pokok kekuatan untuk membela agama-Nya dan memenuhi keperluan hidup. Kata Besi tertera dalam Kitab suci Al-Qur'an yaitu pada Surat 57 Al Hadiid yang berarti Besi, dalam ayat 25:

"Sesungguhnya Kami telah mengutus rasul-rasul Kami dengan membawa bukti-bukti yang nyata dan telah Kami turunkan bersama mereka Al Kitab dan neraca (keadilan) supaya manusia dapat melaksanakan keadilan. **Dan Kami turunkan Besi** yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu) dan supaya Allah mengetahui siapa yang menolong (agama)Nya dan rasul-rasul-Nya padahal Allah tidak dilihatnya. Sesungguhnya Allah Maha Kuat lagi Maha Perkasa".

Perhatikan kalimat: **Dan Kami turunkan Besi**. Kalimat "Kami turunkan" khusus digunakan untuk besi dalam ayat ini, dapat diartikan secara kiasan untuk menjelaskan bahwa besi diciptakan untuk memberi manfaat bagi manusia. Makna harfiah kalimat ini, yakni "*secara bendawi diturunkan dari langit*", kita akan menyadari bahwa ayat ini **memiliki keajaiban ilmiah yang sangat penting**.

Penemuan astronomi terbaru sudah mengungkap bahwa logam besi yang ditemukan pada bumi berasal dari bintang-bintang super besar pada angkasa luar melebihi matahari. Logam berat pada alam semesta dibentuk dan didapatkan pada inti bintang-bintang super besar tersebut, namun sistem bintang-bintang raksasa itu tidak memiliki struktur yang cocok dalam pembuatan besi secara mandiri. Besi hanya bisa dibentuk dan didapatkan pada bintang-bintang yang jauh lebih besar dari matahari, dan memiliki suhu mencapai beberapa ratus juta derajat. Ketika jumlah besi sudah melampaui batas jenuh pada sebuah bintang, dan bintang tidak lagi sanggup menampungnya lagi, akhirnya meledak melalui fenomena yang disebut "*nova*" atau "*supernova*". Akibat ledakan maha dasyat itu yang terbentuklah batuan-batuan yang berterbangan di angkasa yang disebut meteor-meteor. Meteor-meteor salah satunya mengandung besi bertaburan pada semua penjuru alam semesta dan kemudian mengalami tarikan gaya gravitasi bumi, sehingga turun ke bumi. Semua ini menjelaskan bahwa logam besi tidak dibentuk dari bumi melainkan melainkan 'kiriman' dari atas berupa bintang-bintang raksasa yang meledak pada ruang angkasa melalui meteor-meteor dan kemudian "diturunkan ke bumi", seperti yang disebutkan pada ayat di atas.

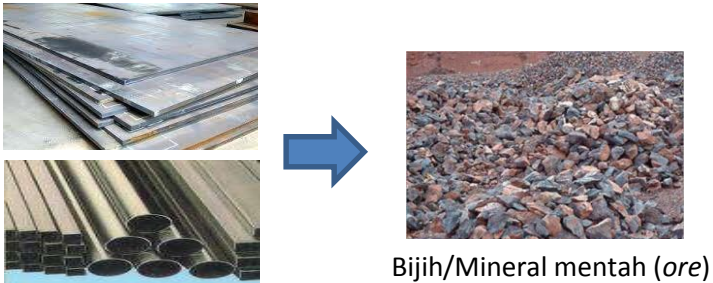
1.2 Proses Pembuatan Besi

1.2.1 Pembuatan Besi Kasar

Plat besi atau pipa besi yang biasa kita beli di toko bangunan atau di pabrik-pabrik (seperti Gambar 1.2), tidak semudah itu cara membuatnya. Dimulai dari pengolahan Bijih Besi. Bijih sendiri adalah bahan tambang yang berasal dari mineral atau batu-batuan yang mengandung satu macam atau beberapa macam logam dalam prosentase yang cukup banyak.

Bijih/mineral mentah (*ore*) awal mula berasal dari proses penambangan (Gambar 1.3) dan di dalam bumi, logam dalam keadaan murni jarang sekali ada, kebanyakan berupa senyawa-senyawa seperti:

- oksida (ada oksigen-nya (O)) → BaO , CaO , Fe_2O_3 , dan lainnya
- sulfida → CuS , BaS , FeS , dan lainnya
- karbonat, → BaCO_3 , CuCO_3 , FeCO_3 , MgCO_3 dan lainnya
- sulfat → CuSO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, Na_2SO_4 dan lainnya.



Gambar 1.2 Plat dan pipa besi yang awalnya berasal dari bijih besi



Gambar 1.3 Proses penambangan untuk memperoleh Bijih/Mineral mentah (*ore*)

Senyawa-senyawa di atas merupakan bijih logam yang di proses menjadi material logam. Sedangkan bijih besi merupakan factor terpenting adalah:

1. Kandungan besi berkisar 40% adalah batu besi berwarna coklat ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$)
2. Kandungan besinya sekitar 66% adalah batu besi berwarna merah disebut juga hematit (Fe_2O_3)
3. Kandungan besi sekitar 60% adalah batu besi magnet (Fe_3O_4) karena bersifat magnetis dan berwarna hijau tua kehitaman.
4. Kandungan batu besi kalsit atau spat (FeCO_3) yang juga disebut sferosiderit dengan mengandung besi berkisar 40%.

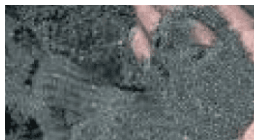
Jenis-jenis Bijih Besi antara lain:

1. **Magnetite (Fe_3O_4) (72,36% besi (Fe), 27,64 %oksigen (O))**
Warna abu-abu tua sampai hitam (Gambar 1.4). Bersifat magnetik kuat. Kadang-kadang magnetite mengandung Titanium (Ti) mencapai 2-15%.



Gambar 1.4 Magnetite (Fe_3O_4)

Bila berupa pasir ditunjukkan dengan pasir besi berwarna hitam dan mengandung magnet (Gambar 1.5)



Pasir Besi bermagnet (Fe_3O_4) Pasir besi Hitam (Fe_3O_4 dengan TiO_2 sampai 11%)



Pasir Besi dan Magnet (Fe_3O_4)

Gambar 1.5

2. **Hematite (Fe_2O_3) (69,94% Fe, 30,06%).**

warna abu-abu sampai merah, bersifat magnet dan merupakan jenis bijih besi yang paling penting dalam industri baja (Gambar 1.6).



Gambar 1.6 Hematite (Fe_2O_3)

Bila berupa pasir ditunjukkan dengan pasir besi berwarna merah yang tidak mengandung magnet (Gambar 1.7)



Gambar 1.7 Pasir Besi dengan kadar besi (Fe) sekitar 35% – 40% berbentuk besi oksida hematit (Fe_2O_3) berwarna merah, tidak mengandung magnet yang bercampur dengan material ikutan seperti SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 , Cr_2O_3 , NiO , P , S dan H_2O

3. **Limonite** (oksida besi yang mengandung air) (**HFeO_2**) (**62,85%Fe, 27,01%O, 10,14%air**), berwarna kuning atau coklat mendekati hitam (Gambar 1.8).



Gambar 1.8 Limonite (HFeO_2)

4. **Ilmenite (FeTiO_3) (36,80%Fe, 31,57%Ti, 31,63% O)**

Umumnya, ilmenite (Gambar 1.9) ditambang untuk mendapatkan unsur titaniumnya, sedangkan Fe hanya sebagai produk samping.



Gambar 1.9 Ilmenite (FeTiO_3)

5. **Siderite/Besi karbonat (FeCO_3) (48,20%Fe, 37,99%CO₂, 13,81%O).**

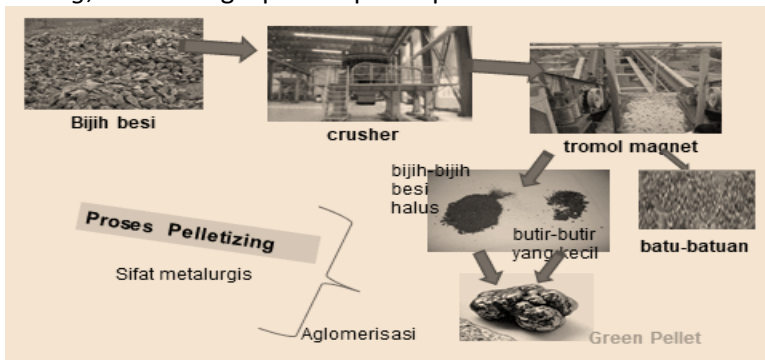
Berwarna putih sampai abu-abu kehijauan dan coklat (Gambar 1.10). Umumnya mengandung sejumlah Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), dan Mangan (Mn).



Gambar 1.10 Siderite/Besi karbonat (FeCO_3)

6. **Batu besi magnet (Fe_2O_4)** sifatnya magnet dan berwarna hijau tua kehitaman berkisar **60%**.
7. **Goethit ($\text{FeO}(\text{OH})$)**

Pengolahan bijih besi hingga menjadi *Green Pellet* (pellet basah), dimulai dari bijih besi yang berasal dari tambang biasanya masih bercampur dengan pasir, tanah liat, dan batu-batuan dalam bongkah-bongkahan yang tidak sama besar. Sehingga untuk kelancaran proses pengolahan bijih besi, bongkah-bongkahan tersebut dipecahkan dengan mesin pemecah (*crusher*). Selanjutnya disortir antara bijih besi dan batu-batuan dengan tromol magnet. Tujuannya adalah apabila ada yang menempel di tromol magnet maka menunjukkan ada besinya. Sementara yang tidak menempel di tromol magnet, termasuk batu-batuan lainnya yang tidak ada unsur besinya. Langkah berikutnya mencuci bijih besi tersebut dan mengelompokkan menurut besar kecilnya. Bijih-bijih besi halus disebut **konsentrat** dengan ukuran $<74\mu\text{m}$ dan butir-butir yang kecil disebut **binder** diaglomir yaitu digumpalkan konsentrat bijih besi ukuran halus menjadi berbentuk bola-bola kecil semacam kelereng dengan ukuran diameter 8 – 25 mm. Dibentuk seperti itu agar memudahkan diangkut dan dipindah tempat. Bola-bola kecil itu biasa disebut **pellet**. Pellet hasil aglomerisasi disebut **Green Pellet** atau pellet basah, dan prosesnya dinamakan Proses *Pelletizing*, secara lengkap ditampilkan pada Gambar 1.11.



Gambar 1.11 Proses pengolahan bijih besi hingga menjadi *Green Pellet* (pellet basah)

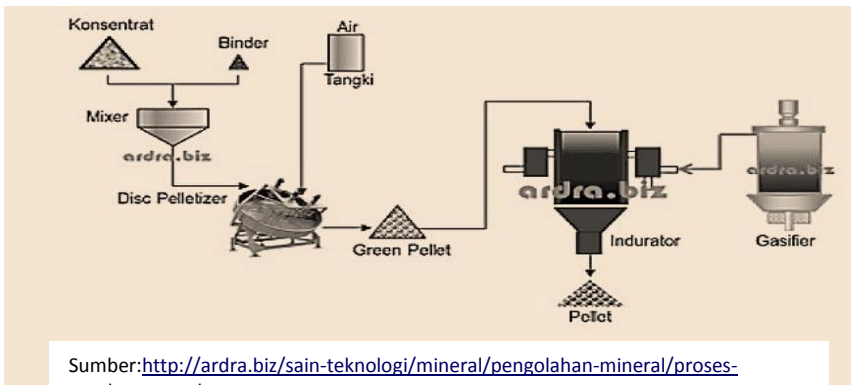
Butir-butir kecil yang disebut *binder* umumnya ditambahkan dengan **bentonit** sejumlah 2% persen dari campuran. Fungsi bentonit adalah sebagai pengikat antar konsentrat dan binder. Bentonit adalah suatu istilah nama dalam dunia perdagangan yang sejenis lempung plastis yang mempunyai kandungan mineral *monmorilonit* lebih dari 85% dengan rumus kimianya $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot x H_2O$. Nama ini diusulkan pertama kali oleh Knight (1898) untuk nama sejenis lempung koloid yang ditemukan pada formasi Benton "Rock Creek" Wyoming Amerika Serikat. Secara megaskopis bentonit dapat diamati secara langsung dengan ciri khas yaitu mempunyai kilap lilin, lunak, berwarna abu-abu kecoklatan sampai kehijauan (Gambar 1.12).



Gambar 1.12 Bentonit

1.2.2 Bijih Besi dengan Pengolahan Reduksi Langsung (*Direct Induced Iron / DRI*)

Konsentrat dan binder yang telah diperoleh selanjutnya dengan rasio tertentu di umpan ke dalam mixer agar tercampur secara homogen. Campuran homogen yang didapat antara konsentrat dan binder diumpan ke dalam *disc pelletizer* dengan tambahan air. Air yang ditambahkan sekitar 5%. Mekanisme dalam *disc pelletizer* menghasilkan **green pellet** berukuran diameter kurang dari 30 mm. *Green pellet* yang sudah kering kemudian diumpankan ke proses indurasi. Unit indurasi dilengkapi dengan (1) indurator, dan (2) *gasifier* berfungsi sebagai sumber bahan bakar yang digunakan untuk proses pemanasan pada indurator. Proses indurasi adalah proses pemanasan terhadap produk hasil aglomerasi atau *green pellet* pada temperatur sekitar 1.200°C. Sementara gas bahan bakar dari *gasifier* dimasukkan ke bagian *chamber* indurator dan dibakar dengan udara (Gambar 1.13).



Gambar 1.13 Skematika tahapan proses pembuatan pellet

Saat *green pellet* diumpun dari bagian atas indurator maka pada tahapan ini terjadi reaksi antara oksigen yang terkandung dalam udara dengan senyawa yang terdapat dalam Green pellet. Kandungan air dan senyawa-senyawa yang mudah terbakar akan terlepas. Oksigen berlebih ini mineral besi yang semula magnetite (Fe_3O_4) dapat berubah menjadi hematite (Fe_2O_3).

Setelah tahapan indurasi ini akan dihasilkan pellet yang memiliki sifat-sifat metalurgis yang dibutuhkan. Pellet yang sudah mengalami indurasi dikeluarkan dari bagian bawah indurator yang disebut **burn pellet atau pellet bakar (pelet kering/besi spons/Sponge Iron**. Disebut sponge iron karena bentuknya seperti bola-bola kecil yang berpori-pori (Gambar 1.14 dan memiliki sifat metalurgis seperti sifat: (1) mekanik atau kekuatan yaitu agar pellet tahan terhadap beban mekanik selama proses berikutnya, dan (2) sifat reduksi yang diperlukan untuk mempermudah terjadinya proses reduksi selama pembuatan *sponge* (besi kasar padat). *Sponge Iron (besi spons)* adalah produk setengah jadi/ intermediate yang mempunyai kandungan besi (Fe) minimum 90%, berbentuk bola-bola dengan diameter 12 mm dengan kekuatan tekan 250 MPa (25 kg/mm²) dipakai sebagai bahan baku/dasar industri baja yang berbasis proses asam dicampur dengan besi skrap/bekas/rosokan dan diproses di dapur listrik yang

menghasilkan baja. *Sponge Iron* dapat diproduksi di dalam beberapa jenis tungku, termasuk oven kokas atau arang, tungku ledakan, dan tungku oksigen dasar. *Sponge Iron* juga dapat digunakan untuk menghasilkan biji besi bubuk yang bekerja sangat baik dan bila dicampur dengan logam lain dalam produksi berbagai jenis baja berbasis produk.



Sumber : <https://www.google.co.id/search?q=sponge+iron&client>

Gambar 1.14 besi spons/*Sponge Iron*.

1.2.3 Biji Besi dengan Pengolahan Reduksi Tidak Langsung (*Indirect Induced Iron / IRI*)

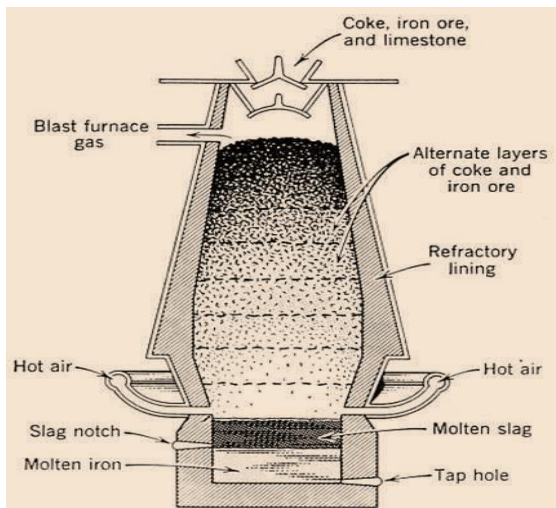
Pengolahan bijih besi dengan menggunakan Reduksi Tidak Langsung/*Indirect Induced Iron* (IRI) dilakukan di dalam Tanur Tinggi (*Blast Furnace*) (Gambar 1.15). Skema *blast furnace* ditunjukkan pada



Gambar 1.15 Tanur tinggi (*blast furnace*) untuk pengolahan bijih besi Reduksi tidak langsung

Gambar 1.16. *Blast furnace* terbuat dari batu tahan api yang disusun dan diberi selubung baja pelat untuk memperkokoh konstruksinya. Campuran bijih besi (*iron ore*) yang sudah dimurnikan (Fe_2O_3) merupakan bahan bakunya ditambah dengan kokas (*coke*) (batu bara), batu kapur (CaCO_3 , *limestone*) dinaikkan ke puncak *blast furnace* yang tingginya bisa mencapai 60 meter.

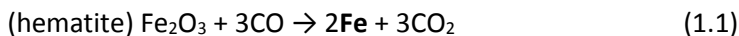
Fungsi batu kapur sebagai fluks berguna untuk mengikat kotoran-kotoran yang terdapat dalam bijih besi. Batu kapur sebagai bahan tambahan gunanya untuk mengikat abu kokas dan batu-batu dan unsur-unsur yang lain hingga menjadi terak (*slag*) yang dengan mudah dapat dipisahkan dari besi kasar. Fungsi terak sebagai bahan campuran semen. Terak di dalam proses berfungsi sebagai pelindung cairan besi kasar dari oksida yang mungkin mengurangi hasil yang diperoleh karena terbakarnya besi kasar cair itu. Kokas adalah batu bara yang sudah didestilasikan secara kering. Banyak kandungan belerang yang sangat rendah sekali. Zat asam yang banyak dibutuhkan sebagai pengembus.



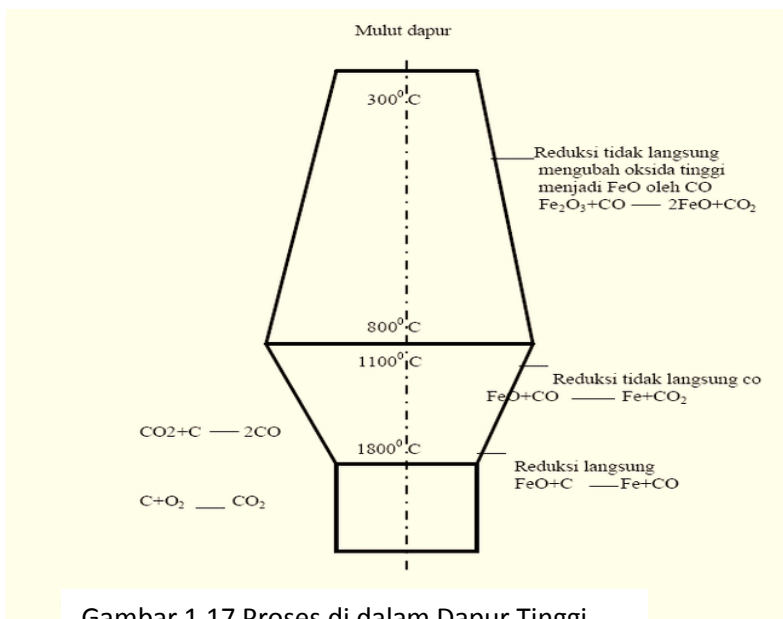
Gambar 1.16 Skema *blast furnace*

Proses dalam Dapur Tinggi

Prinsip dari proses Dapur Tinggi (Gambar 1.17) adalah proses reduksi. Selanjutnya material-material tersebut dimasukkan ke dalam dapur tinggi. Selanjutnya akan terjadi karbon monoksida (CO) yang berasal dari udara panas yang dialirkan dari dasar tungku dan menyebabkan kokas terbakar. Reaksi reduksi yang terjadi sebagai berikut :



Diperoleh **besi (Fe)** yang kita inginkan. Namun besi tersebut masih mengandung karbon yang cukup banyak yaitu 3% – 4,5%, padahal besi yang paling banyak digunakan saat ini adalah yang berkadar karbon kurang dari 1% saja. Besi yang mengandung karbon dengan kadar >4% biasa disebut ***pig iron (besi kasar)*** (Gambar 1.18). *Pig Iron* (besi kasar)



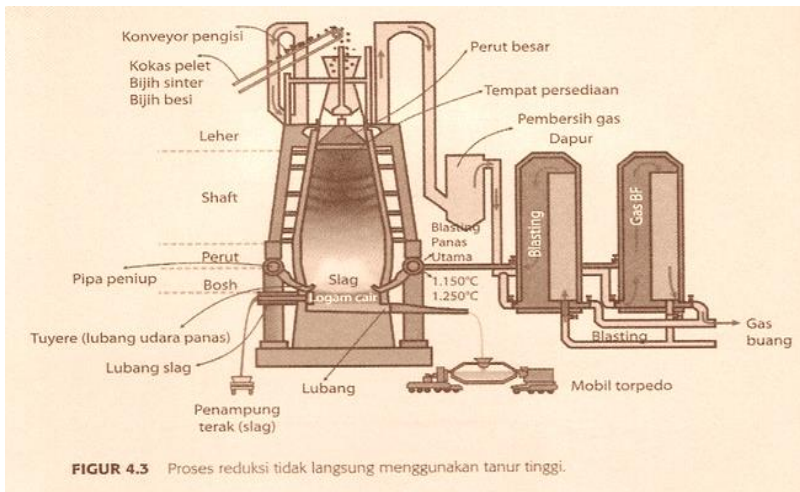
Gambar 1.17 Proses di dalam Dapur Tinggi



Pig Iron (besi kasar) Sumber : <https://www.google.co.id/search?q=sponge+iron&client>

Gambar 1.18 *Pig iron* (besi kasar)

adalah produk setengah jadi /intermediate yang mempunyai kandungan besi (Fe_3C) 95 % dengan kandungan karbon 5 %, berbentuk batangan dipakai sebagai bahan baku/bahan dasar industri baja yang berbasis proses basa dicampur dengan besi skrap. Proses peleburan ini akan menghasilkan baja. Skema lengkap proses produksi reduksi tidak langsung ditunjukkan pada Gambar 1.19.



Gambar 1.19 Skema lengkap proses produksi reduksi tidak langsung Keuntungan dari proses reduksi langsung dibandingkan dengan reduksi tidak langsung (dapur/tungku tinggi) adalah :

1. Kandungan besi pada pig iron lebih rendah dari pad Besi spons dari hasil *blast furnace*.
2. Tidak memerlukan kokas yang harganya cukup mahal, tetapi menggunakan zat reduktor dengan memakai gas (CO atau H₂) yang terkandung dalam gas alam.

Di Indonesia, pabrik baja PT. Krakatau Steel, dan PT. Ispatindo menggunakan *sponge iron* untuk bahan baku pembuatan baja, sementara PT.Hanil Jaya memakai pig Iron. Namun demikian, selama ini kedua jenis bahan baku tersebut untuk kebutuhan industri baja di Indonesia masih di impor dari negara China, India, Brazil dan lain-lain. Padahal bahan baku untuk memproduksi *Sponge Iron* maupun *Pig Iron* sangat melimpah di negeri ini, seperti pasir besi (*iron sand*) atau biji besi (*iron ore*), batu bara (*coal*) dan kapur/bentonite.

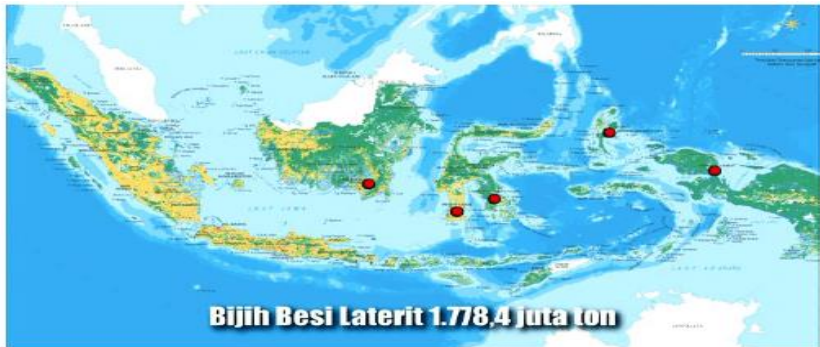
Biji besi primer atau biji besi magnetit-hematit, dengan deposit sebesar 881,8 juta ton yang tersebar di Lampung, Sumatera Barat, Jambi, Belitung, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan dan Sulawesi Selatan (Gambar 1.20).



Sumber: Pusat Sumber Daya Geologi, (diolah)

Gambar 1.20 Biji besi primer atau biji besi magnetit-hematit di Indonesia

Biji besi laterit, dengan deposit sebesar 1.778,4 juta ton yang tersebar di Kalimantan Selatan, Sulawesi Selatan, Sulawesi tenggara, Maluku Utara dan Papua barat (Gambar 1.21).



Sumber: Pusat Sumber Daya Geologi, (dialah)

Gambar 1.21 Biji besi laterit di Indonesia

Pasir besi, dengan deposit yang sangat besar yaitu sebesar 2.121 juta ton yang tersebar di D.I Yogyakarta, Maluku Utara dan Papua. Pasir besi merupakan pasir dengan konsentrasi besi yang signifikan, terdiri dari magnetit, Fe_3O_4 , dan juga mengandung sejumlah kecil titanium, silika, mangan, kalsium dan vanadium (Gambar 1.22).



Sumber: Pusat Sumber Daya Geologi, (dialah)

Gambar 1.22 Pasir besi di Indonesia

1.3 Proses Konvertor

Penurunan kadar karbon dari besi kasar dipakai dengan cara: (1) Proses Konvertor: yaitu (a). Bessemer Proses untuk besi kasar dengan kadar fosfor yang rendah, (b). Thomas Proses untuk besi kasar dengan kadar fosfor yang tinggi, dan (c). Proses Oksi, proses LD, Kaldo dan Oberhauser. (2) Proses Martin (dapur Siemen Martin) terdiri dari (a). proses Martin asam untuk besi kasar dengan kadar fosfor rendah, dan (b). Proses Martin basa untuk besi kasar dengan kadar fosfor tinggi. (3) Dapur Listrik untuk baja Campuran meliputi (a). Dapur listrik busur nyala api, dan (b). Dapur listrik induksi.

1.3.1 Bessemer Proses Untuk Besi Kasar Dengan Kadar Fosfor Yang Rendah

Bessemer proses merupakan proses perubahan besi menjadi steel yang dipatenkan oleh Hendry Bessemer tahun 1895. Alat ini berbentuk seperti telur, yang merupakan alat pembuatan biji besi menjadi steel, yang dapat dimiringkan ketika memasukkan biji besi yang telah melebur, kemudian diposisikan dalam keadaan berdiri dan kemudian udara ditiupkan melalui dasarnya, setelah itu biji besi yang telah jadi steel dituangkan lagi dengan cara memiringkan (Gambar 1.23). Mesin ini dapat membuat 7 ton steel dalam setengah jam dan masih di gunakan oleh *British steel corporation* di Workington sampai tahun 1975. Mesin ini hanya tinggal 3 buah di dunia, dan mesin ini juga merupakan bukti sejarah, dimana proses pembuatan steel pertama di kota Sheffield

Konvertor Bessemer adalah sebuah bejana baja dengan lapisan batu tahan api yang bersifat asam. Di bagian atasnya terbuka sedangkan pada bagian bawahnya terdapat sejumlah lubang-lubang untuk saluran udara. Bejana ini dapat diguling-gulingkan. Korvertor Bessemer diisi dengan besi kasar kelabu yang banyak mengandung silisium. Silisium dan mangan terbakar pertama kali, setelah itu baru zat arang yang terbakar. Pada saat udara mengalir melalui besi kasar udara membakar zat arang dan campuran tambahan sehingga isi dapr masih tetap dalam keadaan encer.



Gambar 1.23 Konverter Bessemer

Setelah lebih kurang 20 menit, semua zat arang telah terbakar dan terak yang terjadi dikeluarkan. Mengingat baja membutuhkan karbo sebesar 0,0 sampai 1,7 %, maka pada waktu proses terlalu banyak yang hilang terbakar, kekurangan itu harus ditambahkan dalam bentuk besi yang banyak mengandung karbon. Dengan jalan ini kadar karbon ditingkatkan lagi. dari oksidasi besi yang terbentuk dan mengandung zat asam dapat dikurangi dengan besi yang mengandung mangan.

Udara masih dihembuskan ke dalam bejana tadi dengan maksud untuk mendapatkan campuran yang baik. Kemudian terak dibuang lagi dan selanjutnya muatan dituangkan ke dalam panci penuang. Pada proses Bessemer menggunakan besi kasar dengan kandungan fosfor dan belerang yang rendah tetapi kandungan fosfor dan belerang masih tetap agak tinggi karena dalam prosesnya kedua unsur tersebut tidak terbakar sama sekali. Hasil dari konverter Bessemer disebut baja Bessemer yang banyak digunakan untuk bahan konstruksi. Proses Bessemer juga disebut proses asam karena muatannya bersifat asam

dan batu tahan apinya juga bersifat asam. Apabila digunakan muatan yang bersifat basa lapisan batu itu akan rusak akibat reaksi penggaraman.

1.3.2 Proses Thomas Untuk Besi Kasar Dengan Kadar Fosfor Yang Tinggi

Pada tahun 1880 Sidney Thomas membuat konverter untuk mengerjakan besi kasar yang mengandung fosfor. Bahan ini tidak dapat diproses di konverter bassember karena asam fosfor dapat merusak lapisan batu, asam kersik. bentuk konverter Thomas sama dengan konverter Bassember hanya berbeda pada pelapisan bejana yang berasal dari domolit (persenyawaan kapur dan magnesium). Besi kasar fosfor tidak dapat merusak lapisan dolomite. Dalam proses ini selain zat arang, juga harus dikeluarkan fosfor. Untuk itu maka diperlukan kapur tohor sebagai bahan tambahan. Kapur dan fosfor akan bersenyawa sehingga terjadi terak cair yang mengapung diatas baja dan dikeluarkan. Terak ini kemudian digiling dan menjadi pupuk buatan , yang diberi nama Tepung terak Thomas.

Konverter Thomas juga disebut konverter basa dan prosesnya adalah proses basa, sebab batu tahan apinya bersifat basa serta digunakan untuk mengolah besi kasar yang bersifat basa. Muatan konverter Thomas adalah besi kasar putih yang banyak mengandung fosfor. Proses pembakaran sama dengan proses pada konverter Bessemer, hanya saja pada proses Thomas fosfor terbakar setelah zat arangnya terbakar. Pengaliran udara tidak terus-menerus dilakukan karena besinya sendiri akan terbakar. Pencegahan pembakaran itu dilakukan dengan menganggap selesai prosesnya walaupun kandungan fosfor masih tetap tinggi.

Guna mengikat fosfor yang terbentuk pada proses ini maka diberi bahan tambahan batu kapur agar menjadi terak. Terak yang bersifat basa ini dapat dimanfaatkan menjadi pupuk buatan yang dikenal dengan nama pupuk fosfat. Hasil proses yang keluar dari konverter Thomas disebut baja Thomas yang biasa digunakan sebagai bahan konstruksi dan pelat ketel.

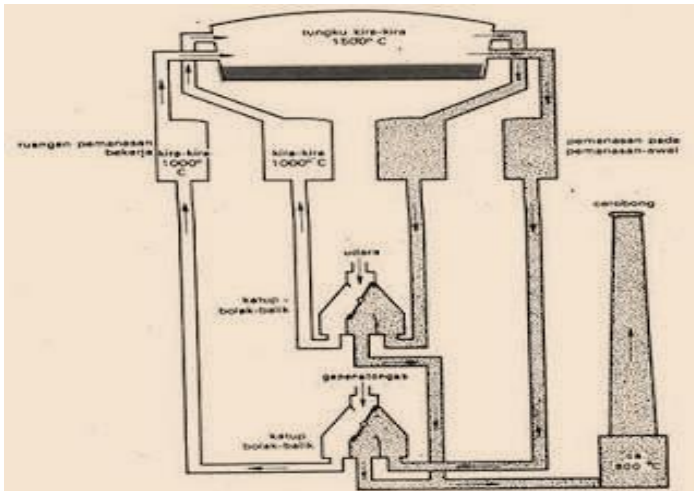
1.3.3 Proses Oksi, proses Linz Donawitz (LD), Kaldo dan Oberhaus

Mula-mula konverter dimiringkan, kemudian besi-besi bekas disusul dengan besi kasar cair dimasukkan ke dalam konverter. Tahap berikutnya, oksigen disemburkan dari atas selama 10-20 menit. Karena di atas permukaan yang kontak dengan pipa sembur oksigen terjadi temperatur pembakaran yang tinggi, maka Phosphor akan terbakar terlebih dahulu baru kemudian Karbon. Dengan demikian Kadar P yang dicapai bisa lebih baik, yaitu 0.05%. Besi bekas yang bisa diikutsertakan untuk pembuatan baja hanya 40%.

Cara LD (Linz-Donawitz) yang telah dikembangkan oleh *Vereinigte Osterreichische Eisen – und Stahlwerke Aktiengesellschaft (VOEST)* dan *Osterreichische Alpine Montangesellschaft* telah meraih peranan yang berarti di dunia. Oksigen pembuatan baja dasar (BOS, BOP, BOF, dan OSM), juga dikenal sebagai Linz-Donawitz-Verfahren pembuatan baja atau proses konverter oksigen adalah metode utama pembuatan baja yang kaya karbon cair pig iron dibuat menjadi baja. Hembusan oksigen melalui pig iron cair menurunkan kandungan karbon dari paduan dan mengubahnya menjadi baja karbon rendah. Proses ini dikenal sebagai akibat *dasar* untuk jenis refraktori – kalsium oksida dan magnesium oksida -garis kapal untuk menahan suhu tinggi logam cair.

1.4 Proses Martin (dapur Siemen Martin)

Proses Martin (Gambar 1.24) adalah proses lain untuk membuat baja dari bahan besi kasar adalah menggunakan dapur Siemens Martin yang sering disebut proses Martin. Dapur ini terdiri atas satu tungku untuk bahan yang dicairkan dan biasanya menggunakan empat ruangan sebagai pemanas gas dan udara. Pada proses ini digunakan muatan besi bekas yang dicampur dengan besi kasar sehingga dapat menghasilkan baja dengan kualitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan baja Bessemer maupun Thomas.



Gambar 1.24 Proses Martin

1.4.1 Proses Martin asam untuk besi kasar dengan kadar fosfor rendah.

Lapisan dapur pada proses Martin dapat bersifat asam atau basa tergantung dari besi kasarnya mengandung fosfor sedikit atau banyak. Kadar fosfor rendah menjadi asam sebaliknya kadar fosfor tinggi menjadi basa. Proses Martin asam terjadi apabila mengolah besi kasar yang bersifat asam atau mengandung fosfor rendah dan sebaliknya dikatakan proses Martin basa apabila muatannya bersifat basa dan mengandung fosfor yang tinggi.

1.4.2 Proses Oksi

Proses konverter yang lebih modern adalah proses oksida, pada proses ini menggunakan bahan besi kasar yang mempunyai komposisi kurang baik apabila dikerjakan dengan konverter Bessemer maupun Thomas. Disini zat asam murni dihembuskan di atas cairan dan kadang-kadang juga kedalam cairan besi, sehingga karbon, silisium, mangan

dan sebagainya terbakar. Hasil pembakaran unsur-unsur tersebut ditampung oleh bahan tambahan batu kapur dan terikat menjadi terak yang mengapung di atas cairan besi. Proses pembakaran zat asam dengan zat arang terjadi pada panas yang tinggi sekali, maka diperlukan pendinginan dengan jalan memberikan tambahan baja bekas. Hasil akhir dari proses ini adalah baja oksida yang bermutu sangat baik karena pengaruh buruk dari unsur udara tidak ada. Oleh karena itu baja oksida baik sekali digunakan sebagai bahan pembuatan konstruksi dan komponen-komponen mesin, seperti : poros, baut, pasak, batang penggerak dan lain-lainnya

Keuntungan dari proses oksida adalah sebagai berikut :

- a. Waktu proses relatif pendek.
- b. Hasilnya mengandung fosfor (P) dan belerang (S) yang rendah.
- c. Hasil yang diproduksi relatif lebih banyak dalam tempo yang sama dibandingkan dengan proses lainnya.
- d. Biaya produksi baja tiap ton lebih murah.

1.4.3 Proses Hoecsch

Proses Hoecsch merupakan penyempurnaan dari proses Martin. Caranya adalah setelah muatan di dalam dapur Siemens Martin mencair kemudian langsung dikeluarkan dan dimasukkan dalam kuali yang terbuka untuk membakar fosfor dan belerang. Sementara pembakaran dilakukan dapur Siemens Martin dibersihkan dan kemudian lantai dapur ditaburi dengan serbuk bijih besi (Fe_2O_3 atau Fe_3O_4). Setelah selesai mengadakan pembakaran fosfor, belerang dan besi cair yang berada di dalam kuali tadi dimasukkan kembali ke dalam dapur Siemens Martin untuk menyelesaikan pembakaran unsur-unsur lain yang belum hilang, terutama zat arang. Setelah proses pembakaran zat arang dianggap selesai, terak yang terjadi dikeluarkan selanjutnya baja cair ditampung dalam panci penuangan untuk dituang atau dicetak menjadi balok tuangan.

1.4.4 Proses Dupleks

Proses ini dilakukan dengan cara mengeluarkan zat arang terlebih dahulu yang berada konverter-konverter dan memurnikannya

di dalam dapur Siemens Martin. Proses Dupleks terutama dilakukan oleh pabrik-pabrik baja yang berada di dekat perusahaan dapur tinggi. Setelah proses di dalam dapur tinggi (setelah teraknya dihilangkan) cairan besi kasar itu dimasukkan kedalam konverter (Bessemer atau Thomas) dan dicampur dengan batu kapur serta baja bekas dalam jumlah yang dikehendaki. Pengembusan udara di dalam konverter dilakukan sampai kandungan fosfor menjadi rendah kira-kira 1 sampai 1,5 %, ditambah dengan kokas yang telah digiling selanjutnya memindahkan isinya ke dalam dapur Siemens Martin.

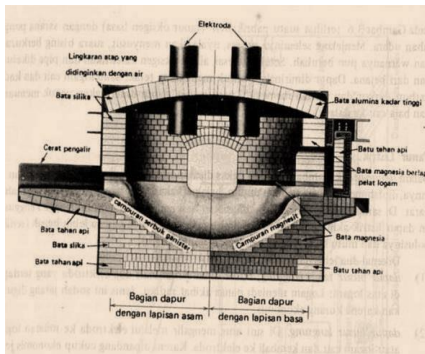
1.5 Dapur Listrik Untuk Baja Campuran

Dapur listrik digunakan untuk pembuatan baja yang tahan terhadap suhu tinggi. Dapur ini mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut a. Jumlah panas yang diperlukan dapat diatur sebaik-baiknya, b. Pengaruh zat asam praktis tidak ada, dan c. Susunan besi tidak dipengaruhi oleh aliran listrik. Sedangkan kekurangannya adalah harga listrik yang mahal.

1.5.1 Dapur Listrik Busur Nyala Api (Busur Cahaya)

Dapur ini berdasarkan prinsip panas yang memancar dari busur api, dapur ini juga dikenal dengan sebutan dapur busur nyala api. Dapur ini merupakan suatu tungku yang bagian atasnya digantungkan dua batang arang sebagai elektroda pada arus bolak-balik atau dengan tiga buah elektroda arang yang dialirkan arus putar (Gambar 1.25). Misalnya pada dapur Stassano busur api terjadi antara tiga ujung elektroda arang yang berada di atas baja yang dilebur melalui ujung elektroda itu dengan arus putar.

Pada dapur Girod, arus bolak balik mengalir melalui satu elektroda yang membentuk busur api di antara kutub dan baja cair selanjutnya dikeluarkan melalui enam buah elektroda baja yang didinginkan dengan air ke dasar tungku.



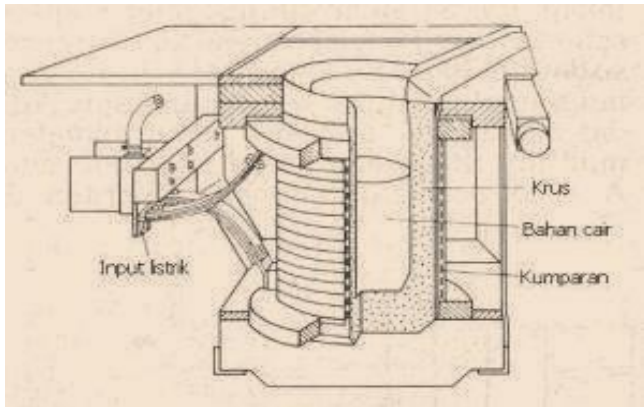
Gambar 1.25 Dapur listrik busur nyala api (busur cahaya)

1.5.2 Dapur Listrik Induksi

Dapur busur cahaya ini berdasarkan prinsip panas yang memancar dari busur api, dapur ini juga dikenal dengan sebutan dapur busur nyala api. Dapur ini merupakan suatu tungku yang bagian atasnya digantungkan dua batang arang sebagai elektroda pada arus bolak-balik atau dengan tiga buah elektroda arang yang dialirkan arus putar. Misalnya pada dapur Stassano busur api terjadi antara tiga ujung elektroda arang yang berada di atas baja yang dilebur melalui ujung elektroda itu dengan arus putar.

1.6 Dapur induksi

Dapur induksi (Gambar 1.26) dapat dibedakan atas dapur induksi frekuensi rendah dan dapur induksi frekuensi tinggi. Pada dapur induksi dibangkitkan suatu arus induksi dalam cairan baja sehingga menimbulkan panas dalam cairan baja itu sendiri sedangkan dinding dapurnya hanya menerima pengaruh listrik yang kecil saja.



Gambar 1.26 Dapur induksi

Dapur induksi frekuensi rendah, bekerja menurut prinsip transformator. Dapur ini berupa saluran keliling teras dari baja yang beserta isinya dipandang sebagai gulungan sekunder transformator yang dihubungkan singkat, akibat hubungan singkat tersebut di dalam dapur mengalir suatu aliran listrik yang besar dan membangkitkan panas yang tinggi. Akibatnya isi dapur mencair dan campuran-campuran tambahan dioksidasikan.

1.6.1 Proses Dapur Aduk

Dapur aduk merupakan cara pembuatan baja yang konvensional dengan cara melebur besi kasar di dalam dapur nyala api bersama-sama dengan terak (FeO) untuk mendapatkan zat asam. Dengan cara mengaduk-aduk dengan batang besi dan ke bawah permukaan dimasukkan udara maka terjadilah suatu masa lunak dari baja yang banyak mengandung terak. Apabila gumpalan-gumpalan yang dibuat dalam dapur telah mencapai kira-kira 60 kg dikeluarkan, maka langkah selanjutnya adalah mengeluarkan terak dengan jalan menempunya atau dipres. Dalam proses aduk ini lebih banyak melibatkan pekerjaan tangan serta kapasitas produksi yang kecil maka cara ini dipandang tidak efisien dan jarang digunakan pada pabrik-pabrik baja.

Catatan:

Proses pembuatan baja dapat dibuka di link:

<https://www.youtube.com/watch?v=ZCfP784qGUo>

Soal-soal

Latihan

1. Berdasarkan prinsip pembuatan baja, jelaskan mengapa PT Krakatau memilih proses reduksi langsung?
 2. Jelaskan prinsip pemurnian baja menggunakan Dapur Oksigen Basa.
 3. Mengapa besi dan baja merupakan salah satu jenis material yang paling digunakan untuk aplikasi rekayasa.
 4. Berdasarkan karakteristik beban yang dialami oleh sebuah mobil, perkirakan material logam ferro yang digunakan untuk membuat: (a) kap mesin, (b) *intake manifold*, (c) *intake manifold*, (d) piston, (e) roda gigi transmisi, (f) batang per dan (g) crankshaft.
5. Besi dan baja terbuat dari berbagai macam bijih besi. Sebutkan apa saja ?
 6. Proses dapur tinggi terjadi beberapa reaksi. Bagaimana reaksi utamanya?
 7. Barang jadi hasil dari besi kasar dapur tinggi belum bisa dipergunakan, sebutkan apa sebabnya.
 8. Prinsip kerja konverter, jelaskan secara ringkas.
 9. Jelaskan yang dimaksud dengan dengan proses asam, proses basa dan proses oksi di dalam konverter.
 10. Jelaskan keuntungan dan kerugian pembuatan baja dengan menggunakan Dapur Siemens Martin dibandingkan dengan menggunakan konverter.

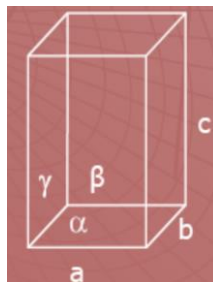
BAB 2: DIAGRAM PHASE: BESI-BESI KARBIDA

CAPAIAN PEMBELAJARAN

Diharapkan mahasiswa dapat mengerti tentang Diagram Phase menjelaskan proses pengecoran Besi-Besi Karbida meliputi pengertian tentang Karbida Besi (Besi Karbida)/Sementit, Diagram Fase: Fe – Fe₃C, Dekomposisi Austenit, Baja Karbon dan Baja Paduan Rendah, dan Pergeseran Eutektoid.

2.1 Karbida Besi (Besi Karbida) / SEMENTIT

Paduan besi dengan karbon, apabila jumlah karbon melebihi batas daya larut, maka akan membentuk Fase Kedua yang disebut: Karbida Besi (SEMENTIT), dengan notasi \overline{C} dan komposisi kimia: Fe₃C artinya: kisi kristalnya mengandung atom besi dan karbon dengan perbandingan 3 : 1. Bentuk kristal Fe₃C adalah orthorombik ($a \neq b \neq c$ dan $\alpha, \beta, \gamma = 90$ (Gambar 2.1), dengan 12 atom Fe dan 4 atom C tiap selnya. Berat Jenis karbida besi = $7,6 \text{ Mg/m}^3 = 7,6 \text{ gr/cm}^3$. Kandungan karbon = 6,7% (berat). Sifat keras sementit/besi karbida lebih tinggi daripada austenit dan ferit. Fe₃C dalam ferit meningkatkan kekerasan baja, tetapi karena Fe₃C tidak ulet maka cepat sekali terpengaruh oleh konsentrasi tegangan, sehingga kurang kuat.



Gambar 2.1 Kristal orthorombik

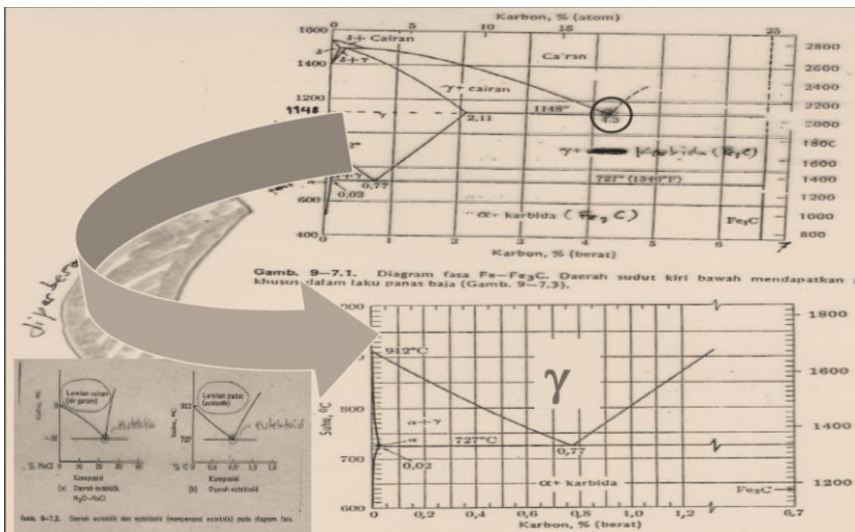
2.2 Diagram Fase: Fe – Fe₃C

Diagram fase Karbida Besi (Besi Karbida/ Fe – Fe₃C), ditunjukkan pada Gambar 2.2. Diagram fase Fe-Fe₃C sebagai landasan untuk laku panas kebanyakan jenis baja. Komposisi eutektik pada 4,3% (berat) karbon.



Gambar 2.2 Diagram fase Karbida Besi (Besi Karbida/ Fe – Fe₃C)

Gambar 2.2 apabila diperbesar seperti ditampilkan pada Gambar 2.3.

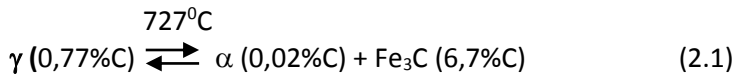


Gambar 2.3 Diagram fase Karbida Besi (Besi Karbida/ Fe – Fe₃C)

Suhu eutektik karbida besi (besi karbida/ Fe – Fe₃C sebesar 1148 °C. Sementara besi cor berada di daerah eutektik karena rata-rata mengandung 2,5 – 4% karbon.

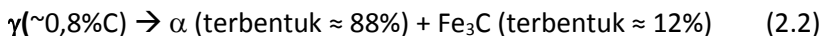
Perhatikan bagian diagram antara 700°C – 900°C dan pada daerah karbon antara 0 – 1%, daerah ini adalah bagian terpenting (bagi ahli teknik metalurgi/pengecoran), karena pada komposisi tersebut mikrostruktur baja dapat diatur dan disesuaikan dengan keinginan.

Suhu Eutektoid adalah merupakan suhu terendah dimana larutan (sistem besi-karbon) masih berupa padatan dengan komposisi eutektoid. Suhu eutektoid untuk paduan besi-karbon 727°C. Baja eutektoid dengan kadar karbon ~ 0,8%. Bila kadar karbon lebih besar 0,8% disebut baja hiper eutektoid. Bila kadar karbon lebih kecil 0,8% disebut baja hipo eutektoid. Sementara reaksi eutektoid Fe-C ditulis pada persamaan (2.1):

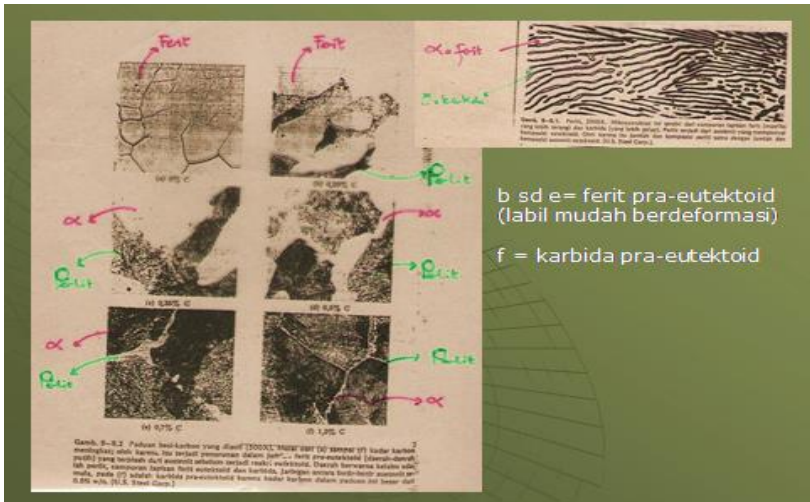


2.3 Dekomposisi Austenit

Dekomposisi Austenit adalah reaksi eutektoid yang mengubah austenit (γ) menjadi ferit (α) + karbida. Bentuk reaksinya dekomposisi austenite ditunjukkan pada persamaan (2.2)

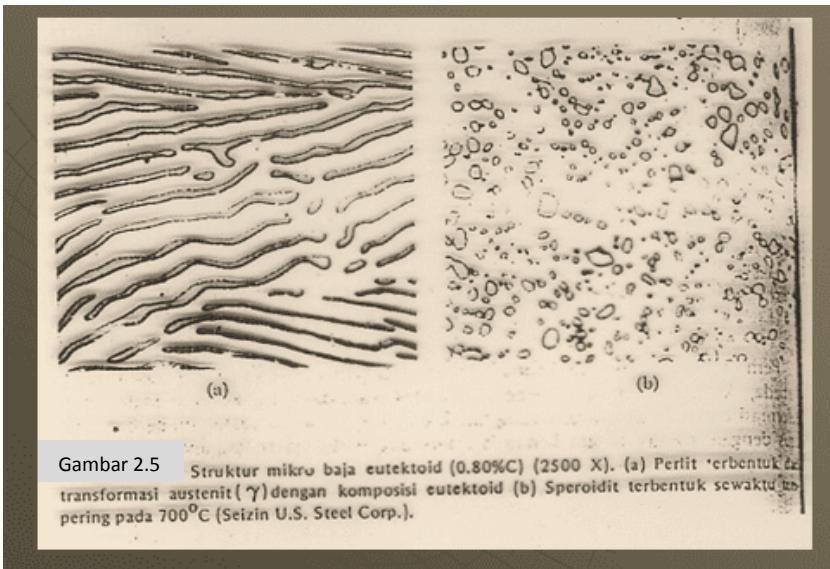


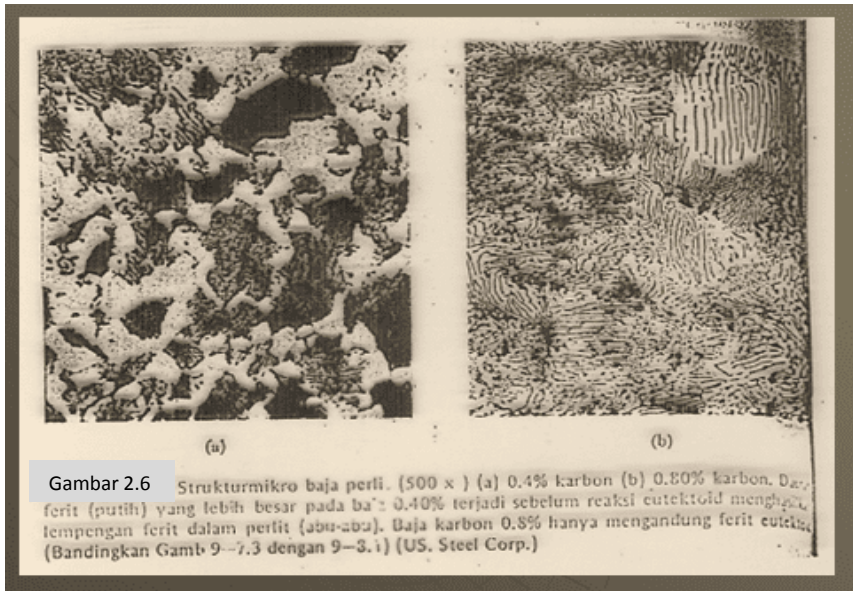
Campuran antara α + Fe₃C disebut: LAMEL dan struktur mikro yang dihasilkan disebut: PERLIT Jadi Perlit adalah campuran khusus terdiri dari 2 fase dan terbentuk sewaktu γ dengan komposisi eutektoid bertransformasi menjadi α dan Fe₃C. Gambar 2.4 menunjukkan pengisian prosentasi karbon di dalam ferit.



Gambar 2.4 prosentasi karbon di dalam ferit

Struktur mikro baja eutektoid (0,80%C) dan struktur mikro baja pearlit masing-masing pada Gambar 2.5 dan 2.6.



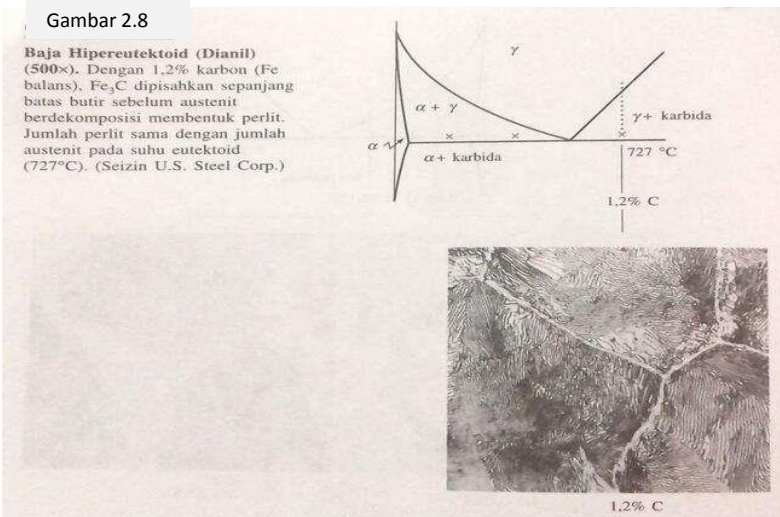
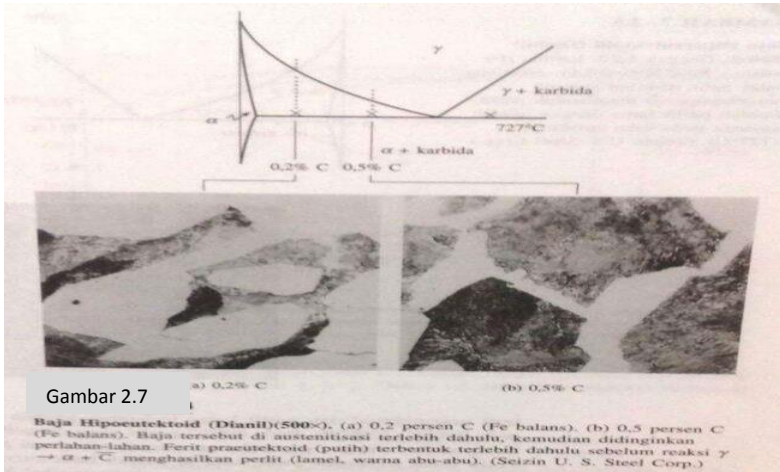


2.4 Baja Karbon dan Baja Paduan Rendah

Sebagian kelompok baja (*steel*) di desain laku panas (daerah austenit) kemudian didinginkan dan dekomposisi austenit secara langsung atau tak langsung membentuk ferit dan karbida. Baja Karbon adalah baja yang hanya mengandung besi dan karbon (biasanya ditambah mangan $Mn \approx 0,5 \%$, untuk mempermudah pemrosesan). Baja paduan rendah adalah baja yang ditambahkan beberapa elemen paduan (seperti: Ni, Cr, Mo, Mn, Si) sekitar 5% yang berfungsi untuk menghambat laju dekomposisi austenit ke ferit+karbida selama laku panas. Hasilnya: baja menjadi lebih kuat. Baja eutektoid adalah baja yang terutama terdiri dari perlit bila didinginkan perlahan-lahan.

Bila kadar karbon lebih kecil 0,8% disebut baja hipo eutektoid (Gambar 2.7). Baja hipo eutektoid adalah baja yang mikrostrukturnya mengandung daerah-daerah ferit yang terpisah (= kadar karbon lebih rendah dari komposisi eutektoid. Di pasaran cukup banyak.

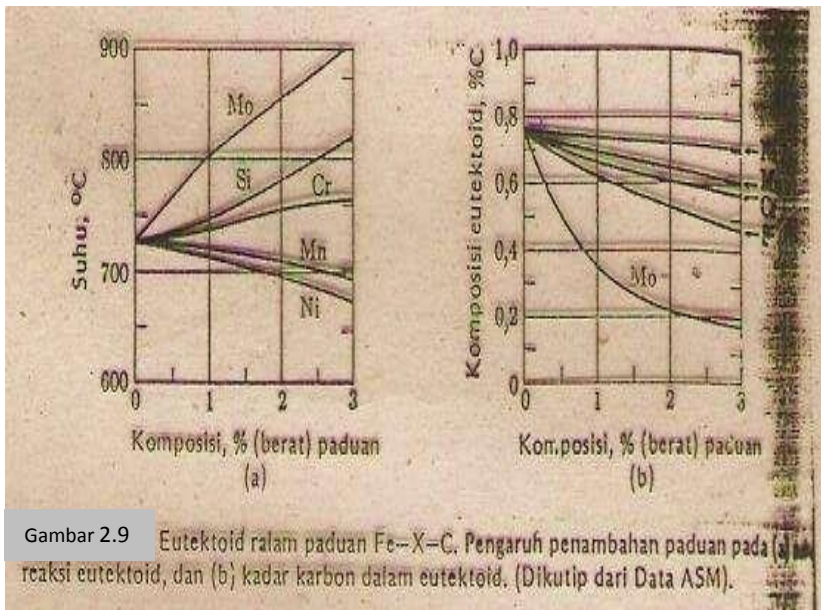
Bila kadar karbon lebih besar 0,8% disebut baja hiper eutektoid (Gambar 2.8). Baja hiper eutektoid adalah baja yang mengandung karbon dengan kadar lebih besar dari pada komposisi eutektoid (menghasilkan karbida pra-eutektoid). Sulit dipasaran.



2.5 Pergeseran Eutektoid

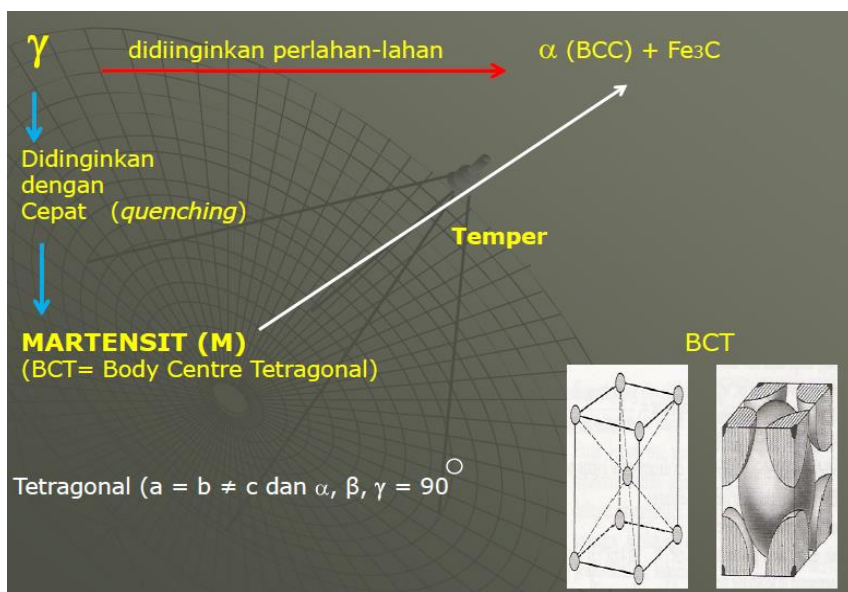
Ingat kembali bahwa dalam fase Fe-Fe₃C tampak suhu eutektoid adalah 727°C dan komposisi eutektoid : ~ 0,8 % (karbon). Pada baja paduan atom C dan atom Fe saling berkoordinasi dengan atom lainnya sehingga kadar karbon eutektoid dan suhu eutektoid berubah bila ada elemen paduan lainnya. Pada Gambar 2.9 a, Nampak Ni dan Mn akan menurunkan suhu eutektoid karena membentuk larutan padat *Face Centre Cubic* (FCC) dengan Fe (pembentuk austenit). Sementara Cr dan Mo dapat menaikkan suhu eutektoid karena membentuk *Body Centre Cubic* (BCC), jadi merupakan pembentuk ferit dalam baja.

Pada Gambar 2.9 b, terlihat bahwa paduan-paduan tersebut akan menurunkan kadar karbon komposisi eutektoid. Kurva tersebut penting untuk memperkirakan suhu austenit untuk laku panas baja paduan rendah



2.6 Pembentukan Martensit

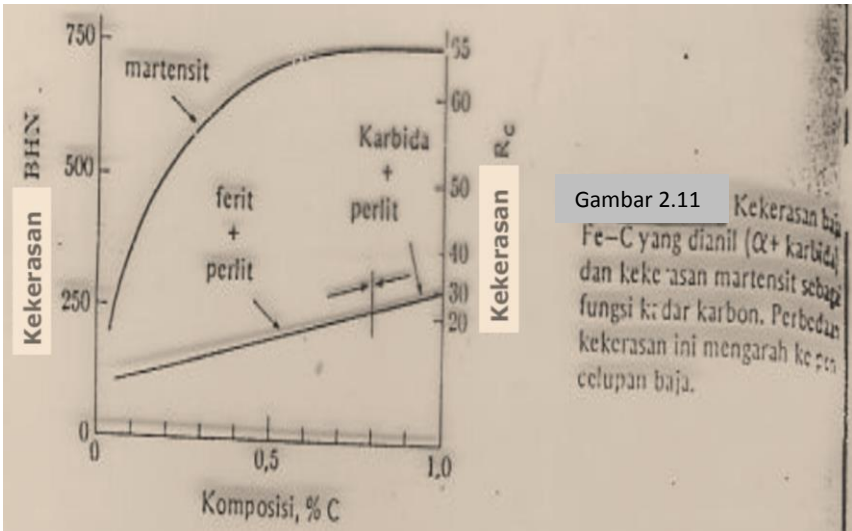
Perhatikan kembali terjadinya terjadinya dekomposisi austenit dalam Ferit + Karbida. Artinya ada waktu bagi karbon untuk berdifusi dan berkonsentrasi dalam fasa karbida sehingga ferit kekurangan karbon. Tetapi apabila austenit didinginkan dengan sangat cepat, maka dekomposisi austenit akan dilewati. Prosesnya digambarkan sebagai berikut (Gambar 2.10):



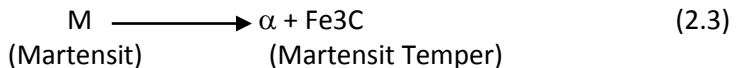
Gambar 2.10 Proses pendinginan austenite secara cepat

Jalan lain membentuk $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ adalah berkaitan dengan pembentukan Fasa Transisi Martensit. Martensit terjadi pada suhu di bawah suhu eutektoid (727°C), tetapi masih di atas suhu kamar. Struktur austenit FCC tidak stabil sehingga berubah menjadi struktur BCC, tidak terjadi difusi tetapi semua atom bergeser serentak dan tertinggal dalam larutan padat, sehingga struktur BCC yang terjadi membentuk: BCT= *Body Centre Tetragonal*. Sifat martensit keras, kuat,

getas, karena karbon terperangkap dalam kisi dan slip sulit terjadi. Perhatikan Gambar 2.11 menunjukkan perbandingan antara kekerasan martensit dengan kekerasan baja yang mengandung perlit sebagai fungsi dari kadar karbon.



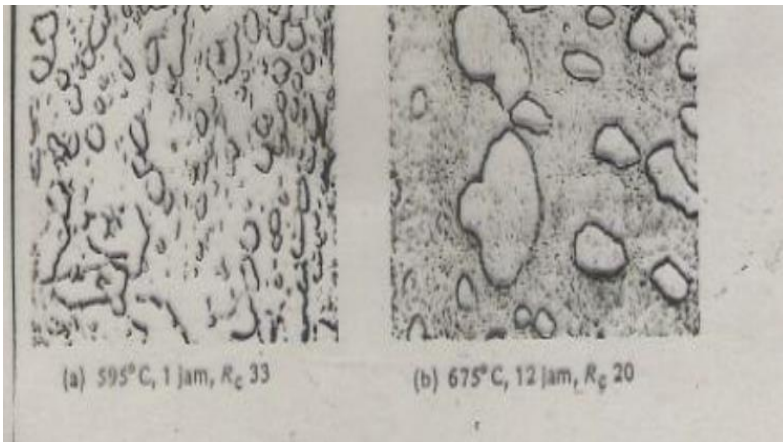
Martensit merupakan fasa meta stabil yang mengandung karbon sebagai larutan padat, struktur BCT tidak merubah diagram fasa Fe-Fe₃C. Pada suhu lebih rendah dari suhu eutektoid dalam waktu cukup lama, larutan karbon yang lewat jenuh berubah menjadi bentuk ferit dan karbida yang lebih stabil. Proses tersebut dikenal dengan nama: Temper (Tempering), reaksinya pada persamaan (2.3).



Struktur mikro martensit bukan berbentuk lamel seperti perlit, tetapi mengandung banyak sekali partikel karbon yang tersebar. Ditunjukkan pada Gambar 2.12. Martensit temper lebih tangguh dari pada martensit metastabil, sehingga banyak dipakai sekalipun agak lunak.

Struktur mikro martensit temper terdiri dari struktur mikro 2 fasa yaitu ferit dan karbida. Kondisi ini terjadi karena adanya dekomposisi martensit. Sementara mikrostruktur martensit temper dtunjukkan pada Gambar 2.13.

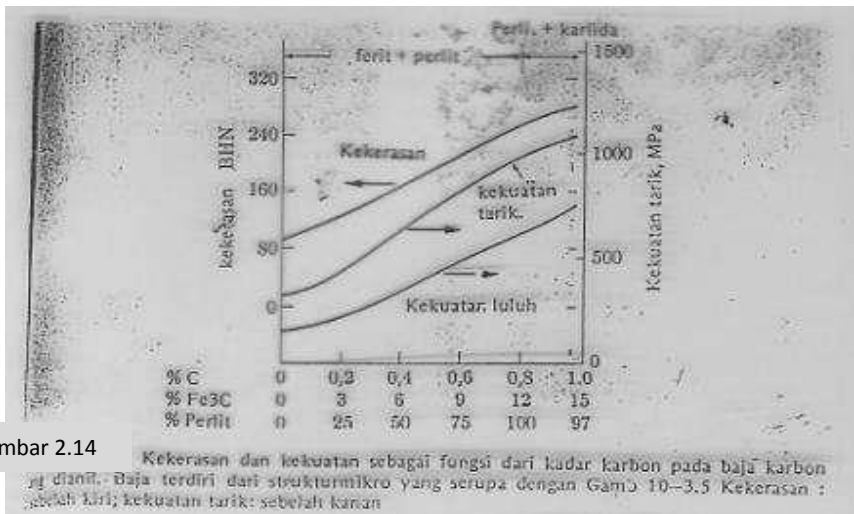
Gambar 2.12 Martensit temper. (baja eutektoid, 15000 x). Mula-mula baja dicelupkan sehingga terbentuk martensit yang berfasa tetragonal pemusatan ruang (tpr) dengan kekerasan R_C 60. Baja ditemper selama 1 jam pada 425°C . Martensit temper terdiri dari struktur mikro dua fasa yang mengandung partikel karbida (warna terang) dalam matrik ferit (gelap) Mula-mula martensit temper keras dan rapuh; akan tetapi dengan pemanasan seperti tersebut diatas kekerasan turun menjadi R_C 44, sedang ketangguhan meningkat. (A.M. Turkalo, General Electric Co).



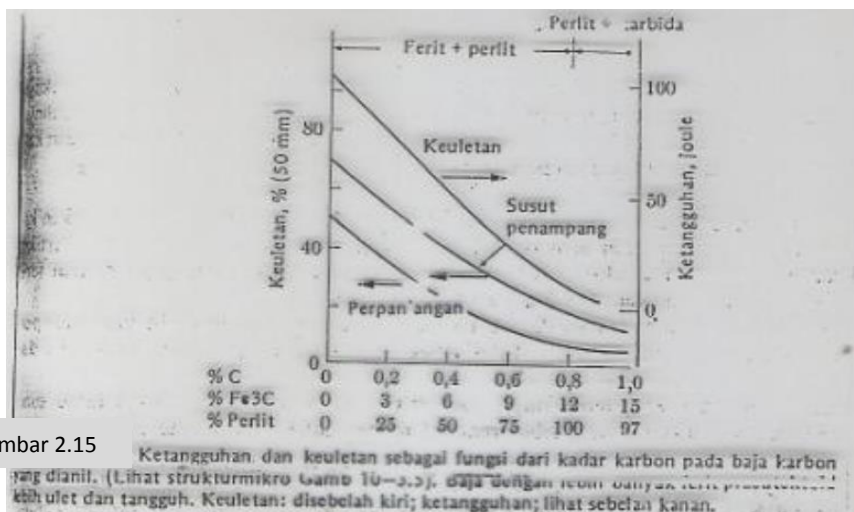
Gambar 2.13

Gambar mikro elektron dari martensit temper (11000 x) Tiap contoh baja eutektoid mula-mula dicelup sampai mencapai kekerasan maksimum (R_C 65). (Electron Microscopy of steel, American Society for Testing and Materials, and General Motors)

Gambar 2.14 menunjukkan grafik antara kekerasan dan kekuatan tarik untuk ferit+perlit dan perlit+karbida. Sementara pada Gambar 2.15, ferit+perlit dan perlit+karbida menampakan hubungan antara keuletan dan ketangguhan.

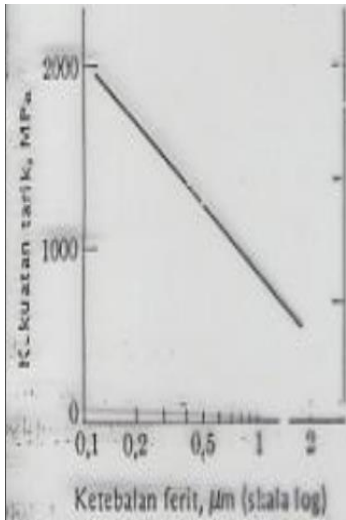


Gambar 2.14

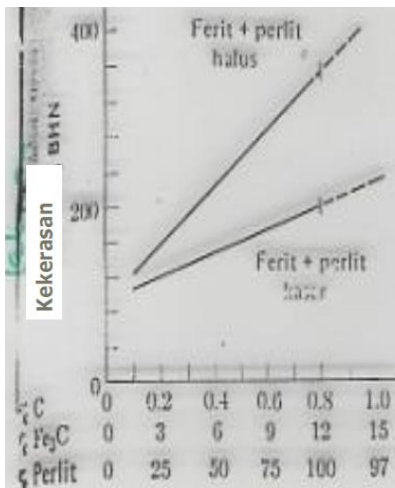


Gambar 2.15

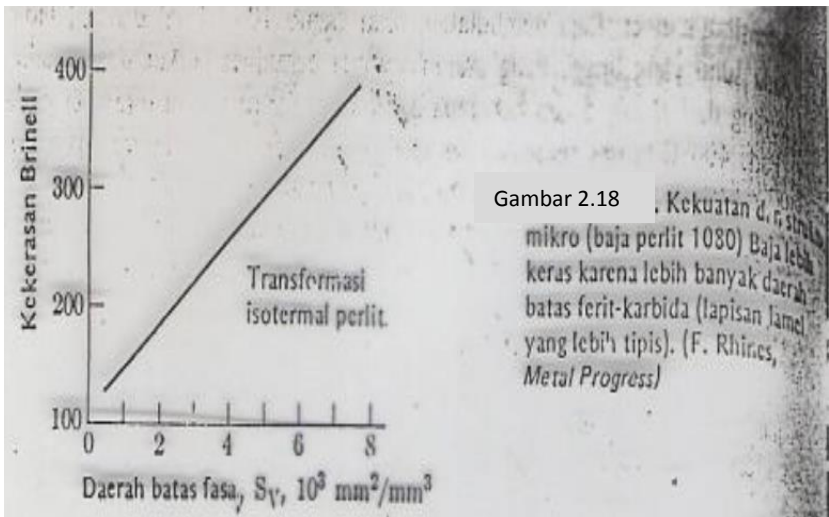
Namun demikian penambahan ketebalan ferit mengakibatkan nilai kekuatan tarik pada baja menjadi menurun (Gambar 2.16). Sementara butiran yang halus ferit+perlit akan lebih memiliki nilai kekerasan yang tinggi dibandingkan butiran ferit+perlit yang kasar (Gambar 2.17).



Gambar 2.16 Kekuatan dan Struktur mikro (ketebalan ferit dalam perlit) Lapisan yang lebih tipis berarti lebih banyak batasan plastik. Oleh karena itu, kekuatan tarik meningkat

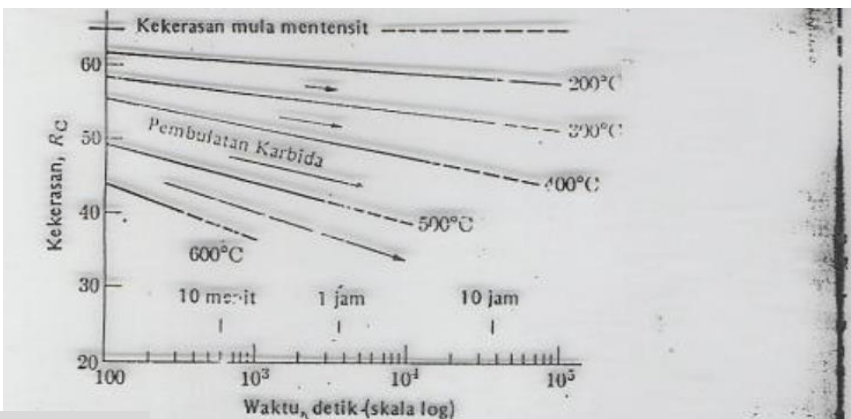


Gambar 2.17 Pengaruh dimensi strukturmikro pada kekerasan baja. Perlit yang lebih keras dan halus terbentuk karena pendinginan yang lebih cepat.



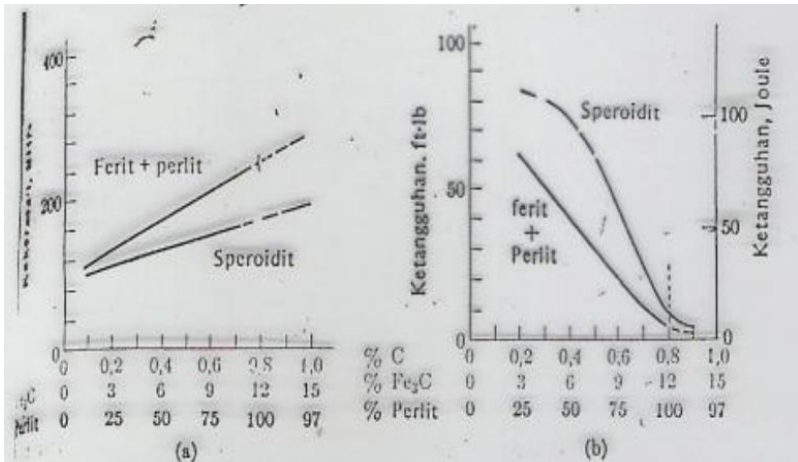
Gambar 2.18 Kekuatan dan struktur mikro (baja perlit 1080) Baja lebih keras karena lebih banyak daerah batas ferit-karbida (lapisan lamel yang lebih tipis). (F. Rhines, Metal Progress)

Transformasi isothermal perlit sebanding dengan kekerasan (Gambar 2.18) dan kekerasan akan menurun jika dipanaskan. Semakin tinggi suhu pemanasan maka semakin rendah nilai kekerasannya (Gambar 2.19). Lebih jauh bila dibandingkan struktur mikronya untuk



Gambar 2.19 Kekerasan martensit temper (baja 1080 dicelup sampai R_C 65). Pelunakan terjadi sewaktu partikel karbida membuat jarak ferit membesar (Gambar 10-2.1) Pada saat-saat pelunakan permulaan diikuti hubungan Arrhenius (Pers 4-6.6).

ferit+perlit dan sferoidit maka ketangguhan struktur mikro sferoidit lebih tinggi dibandingkan dengan struktur mikro ferit+perlit (Gambar 2.20)

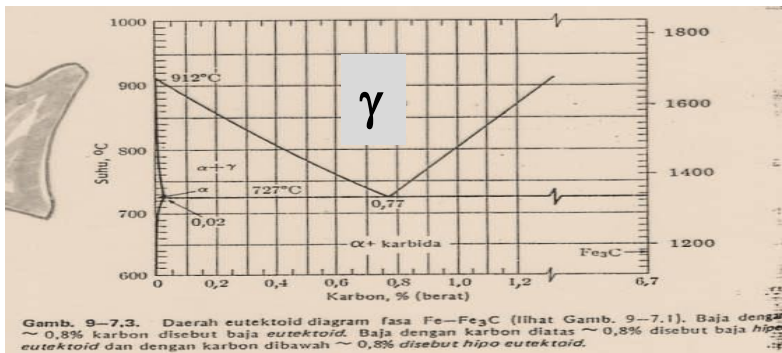


Gambar 2.20

Kekerasan dan ketangguhan sebagai fungsi dari bentuk karbida. (baja karbon dianil). Karbida dalam perlit berbentuk lamel, tempenan; dalam sferoidit karbida bulat.

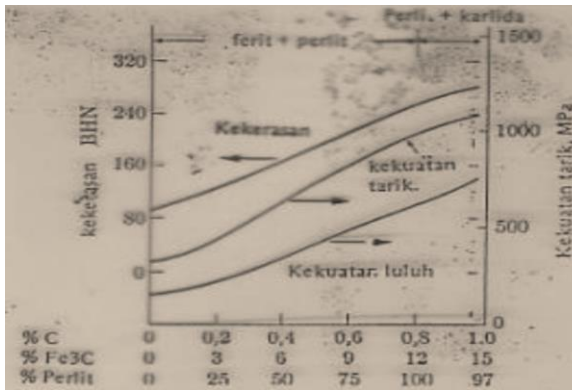
Soal-soal

1. Jelaskan dengan singkat apa yang dimaksud dengan :
 - a. Diagram Fase besi-karbida besi
 - b. Bagaimana terbentuknya sementit
 - c. Pada komposisi dan suhu berapa titik eutektik dan eutektoid pada diagram Fase besi-karbida besi
 - d. Ferit (α)
 - e. Austenit (γ)
 - f. Martensit
 - g. Lamel/lamella
 - h. Temper
 - i. Pearlit
 - j. *Quenching*
2. Perhatikan diagram fase besi-karbida besi di bawah ini:

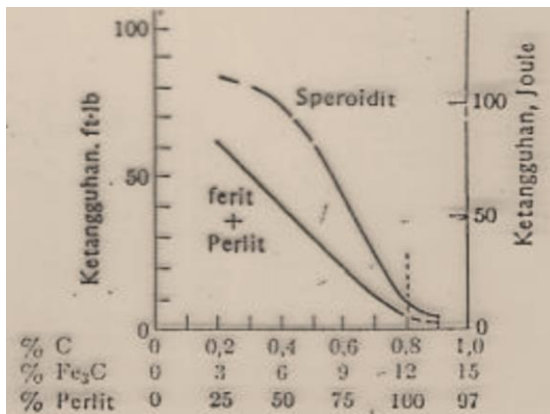


- a. Phase Austenit saja mulai muncul pada komposisi karbon berapa persen dan pada temperatur berapa?
- b. Tuliskan phase-phase apa saja yang terbentuk jika karbon dengan komposisi 0,45 % dipanaskan dari suhu ruang hingga mencapai 1200°C.

3. (a). Dengan menggunakan grafik (a) dan (b) di atas, pada komposisi Perlit 50% hitung berapa nilai kekerasan, kekuatan tarik, kekuatan luluh dan ketangguhan (gunakan satuan Joule) untuk ferit+perlit, perlit+karbida dan speoridit.
 (b). Bagaimana nilai ketangguhan antara perlit+karbida dan speroidit. Berilah penjelasannya.



(a)



(b)

BAB 3: TRANSFORMASI PHASE DAN PERLAKUAN PADA BAJA

CAPAIAN PEMBELAJARAN

Diharapkan mahasiswa dapat memahami dan mengerti tentang *treatment*/perlakuan pada baja yang menjelaskan juga tentang Proses Anil, Normalisasi, Rekristalisasi, Sferoidisasi, dan Diagram Transformasi Isothermal

3.1 Proses Anil

Proses Anil berasal dari “pande besi” yaitu bahan di panaskan sampai suhu tinggi, disusul dengan pendinginan perlahan-lahan. Proses anil untuk bahan satu dg lainnya mempunyai tujuan yang berbeda, misal: bahan gelas di anil, fungsi menghindari terjadinya retak-retak, bahan kuningan (Cu-Zn) di anil fungsinya agar lebih lunak, besi cor di anil berfungsi untuk meningkatkan keuletan dan berkurangnya kekerasan, dan baja tujuannya untuk pelunakan sebelum pemesian.

Jadi anil *adalah* proses pemanasan yang cukup lama dan disusul oleh pendinginan terkendali untuk pelunakan. Getaran termal kisi pada suhu tinggi memungkinkan terjadinya pengaturan kembali atom” dan membentuk butiran yang lebih sempurna.

3.1.1 Anil Penuh/Anil Sempurna (*Full Anneal*)

Anil penuh (anil sempurna) (*full anneal*) diterapkan pada produk yang harus di mesin lagi. Contoh: roda gigi transmisi (baja kadar karbon medium hingga tinggi (0,35 – 0,6 %) (Gambar 3.1). Prosedur Austenisasi 25-30°C di atas stabilitas ferit terakhir (Gambar 3.2). Di atas garis AC3 memastikan Austenisasi sempurna. Pendinginan lambat akan menghasilkan pearlit sangat kasar dan selunak mungkin tetapi masih dapat menghasilkan serpihan. Produk masih diberi pemanasan

tambahan setelah permesinan untuk memulihkan kekerasan dan kekuatan.



Gambar 3.1 Roda gigi transmisi

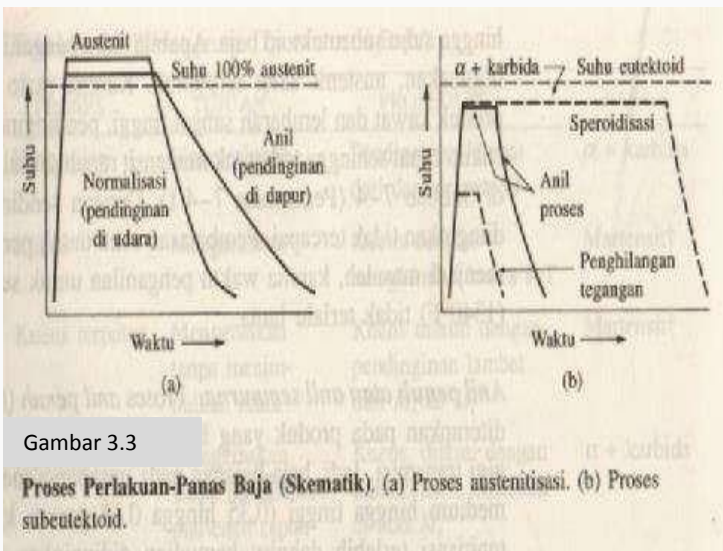
Gambar 3.2



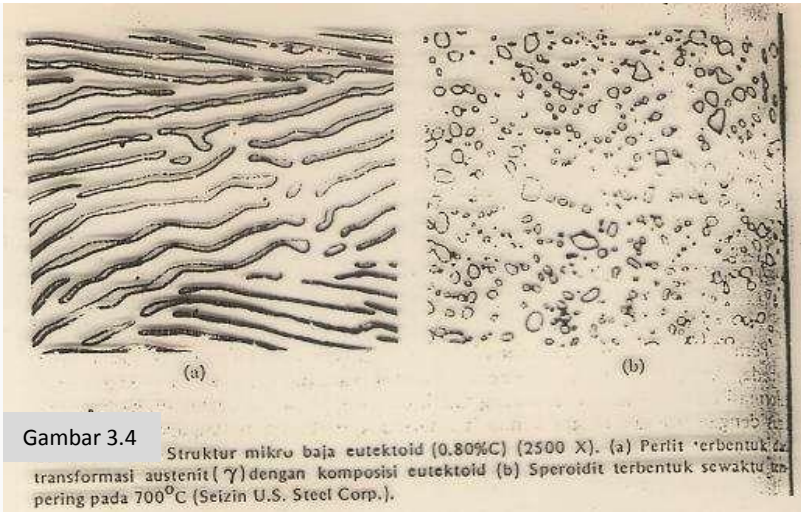
3.2 Normalisasi

Tujuan normalisasi adalah homogenisasi baja paduan. Mempercepat difusi atom-atom substisional (Ni, Cr, Mo, V) pada austenitisasi suhu 50°C . Mencegah pertumbuhan butir secara berlebihan yang terjadi saat suhu lebih tinggi lagi. Pemanasan diikuti dengan pendinginan di udara.

Menghilangkan Tegangan untuk semua logam (khususnya baja) karena ada diskontinuitas perubahan volume selama transformasi. Tujuannya adalah menghilangkan tegangan sisa (seperti pada anil gelas), tidak mengalami retak termal, dan mengalami distorsi dan pelengkungan pada permesinan yang menghilangkan tegangan sisa secara tidak tak simetris. Prosedur pelaksanaannya untuk baja yaitu dengan pemanasan baja sampai $\sim 600^{\circ}\text{C}$ selama beberapa menit, berfungsi untuk untuk benda yang besar perlu diperhitungkan agar pemanasannya merata, namun demikian perubahan struktur mikro tidak ada. Baja yang di-*quenching* cenderung mengalami distorsi dan kemungkinan retak karena masih ada Tegangan Sisa (Gambar 3.3).



Dilanjutkan dengan pendingin dapur/tungku (sebagai austenit terurai menjadi perlit dengan tujuan diperoleh hasil lunak dapat dikerjakan dengan mesin. Struktur mikro yang terbentuk adalah perlit kasar (Gambar 3.4).



Gambar 3.4

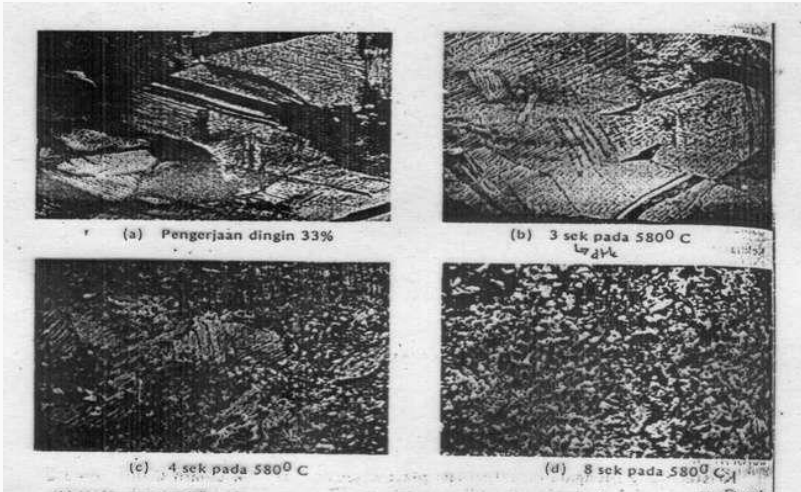
Struktur mikro baja eutektoid (0.80% C) (2500 X). (a) Perlit terbentuk dari transformasi austenit (γ) dengan komposisi eutektoid (b) Sferoidit terbentuk sewaktu tempering pada 700°C (Seizin U.S. Steel Corp.).

3.3 Rekristalisasi

Rekristalisasi *adalah* Proses yang meliputi pertumbuhan kristal baru dari kristal yang telah mengalami deformasi. Kristal yang mengalami deformasi plastik, mempunyai lebih banyak energi dari kristal yang tidak mempunyai regangan, karena mereka mengandung dislokasi dan cacat – cacat titik. Bila ada kesempatan, atom bergerak membentuk susunan yang lebih sempurna, tanpa regangan. Keadaan tersebut dapat terjadi, bila kristal dipanaskan dan melalui suatu panas anil (*annealing*).

Bahan Logam yang mengalami pengerjaan dingin, dengan tujuan terjadi pelunakan dengan meniadakan pengerasan regangan. Prosedur pelaksanaannya pertama-tama dilakukan pemanasan sekitar $0,3T_m \text{ } \approx 0,6T_m$ (T_m = Temperatur leleh). Kemudian rekristalisasi berlangsung lebih cepat dalam logam murni dibandingkan pada logam paduan, dan makin cepat deformasi (regangan) maka makin cepat proses kristalisasi, dan akhirnya akan ada perubahan struktur mikro yaitu memperoleh butir baru. Gambar 3.5 memperlihatkan tingkat rekristalisasi dari kuningan. Gambar 3.5a Bahan kuningan mengalami Pengerjaan Dingin 33% jadi sudah mengalami pengerasan regangan.

Sementara Gambar 3.5b bahan kuningan dipanaskan 580°C selama 3 detik ada butir – butir baru kristal FCC kuningan berasal dari jejak – jejak bidang slip.



Gambar 3.5 Tingkat rekristalisasi dari kuningan

3.3.1 Pengerjaan Dingin/PD (*Cold Work/CD*)

Bila butir – butir kristal berada dalam keadaan terdistorsi setelah mengalami deformasi plastik. Akibat PD / CW adalah kekuatan tarik (*Tensile Strength*), kekuatan luluh (*Yield Strength*), kekerasan, tahanan listrik, semua mengalami keanikan kecuali keuletannya menurun. Logam Setelah mengalami PD/CW menyimpan sejumlah tegangan dalam sebagai akibat terjadinya sejumlah besar dislokasi. Tabel 3.1 menunjukkan bahan tembaga (Cu) dan kuningan saat Pengerjaan Dingin.

Tabel 3.1 Menunjukkan bahan tembaga (Cu) dan kuningan saat Pengerjaan Dingin

Keterangan	Cu	Kuningan (85 – 15)	Kuningan (70 – 30)
	PD ≥ 45%	PD ≥ 9%	PD ≥ 4 %
Keuletan %C Logam	PD ≤ 22%	PD ≤ 14%	PD ≤ 22%
Rentang		PD 9 – 16 %	PD 4 – 22%

Keterangan : Rentang spesifikasi pekerjaan dingin 4 – 22%.

Sifat : Flexibelitas yang baik dalam pemuatan

Persamaan Pengerjaan Dingin(PD) ditunjukkan pada persamaan (3.1):

$$PD = \left[\frac{A_o - A_f}{A_o} \right] \times 100\% \quad (3.1)$$

A_o = luas penampang awal

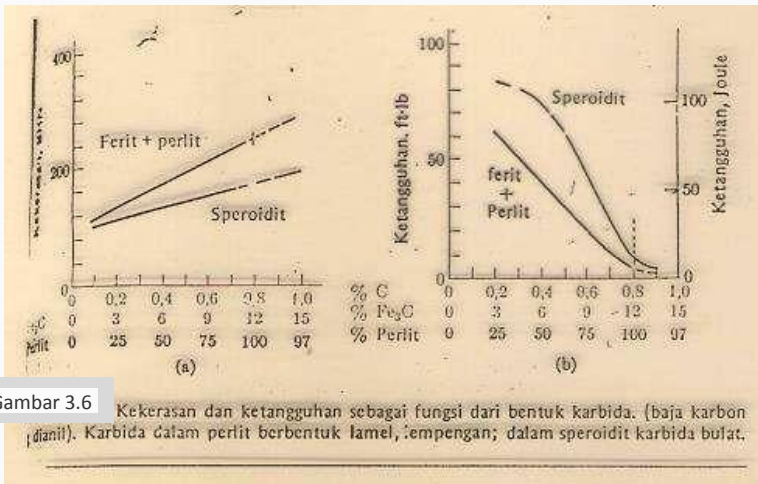
A_f = luas penampang akhir

3.3.2 Pengerasan Regangan

Pengerasan regangan *adalah* penambahan kekerasan sebagai akibat deformasi plastik. Kekerasan bahan meningkat, sebanding dengan pertambahan kekuatan tarik, dan pertambahan kekuatan luluh. Akibat dari pengerasan tegangan dapat mengurangi keuletan, karena sebagian deformasi terjadi selama PD, meningkatkan kekuatan luluh dari pada kekuatan tariknya. Apabila PD dinaikan, maka kekuatan luluh dan kekuatan tarik, akan mendekati kekuatan tarik sesungguhnya.

3.4 Sferoidisasi

Tujuan sferoidisasi bahan baja karbon tinggi adalah meningkatkan ketangguhan baja yang rapuh, perlu kadar yang tinggi, agar baja tidak mempunyai daya tahan aus yang meningkat, struktur mikro perlit, membuat ketangguhan menurun (Gambar 3.6). Prosedur terjadinya sferoidisasi sebagai berikut: bila struktur muka perlit maka bahan dipanaskan selama 16-24 jam pada suhu sekitar suhu eutektoid ($\sim 700^{\circ}\text{C}$).



Gambar 3.6

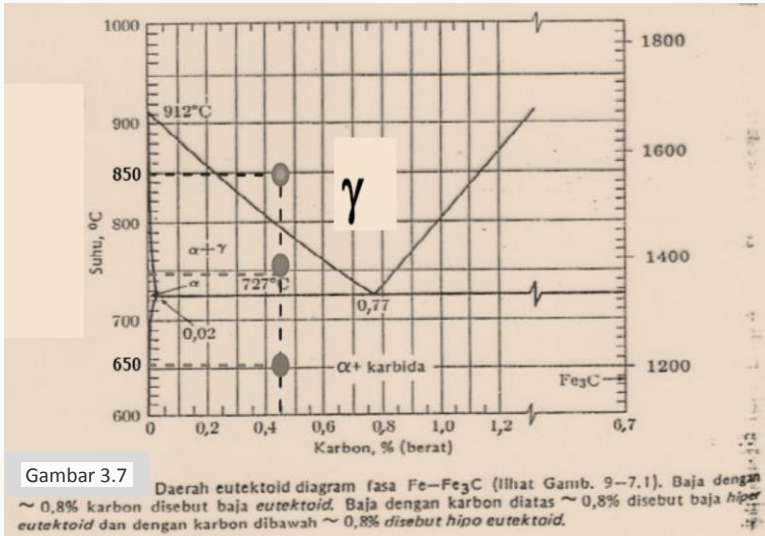
Kekerasan dan ketangguhan sebagai fungsi dari bentuk karbida. (baja karbon dianit). Karbida dalam perlit berbentuk lamel, tempangan; dalam sferoidit karbida bulat.

3.5 Diagram Transformasi Isotermal

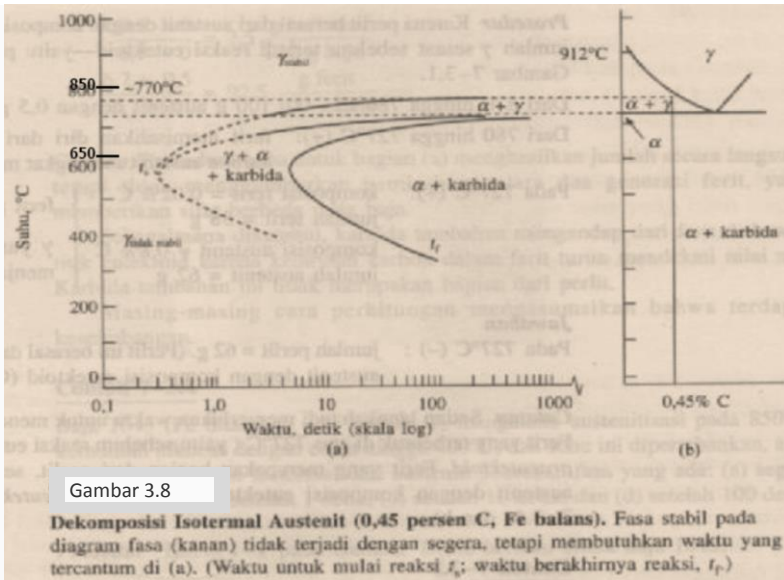
Diagram Transformasi Isotermal (Isothermal Transformation Diagram (I-T Diagram)) atau disebut juga Time Temperature Transformasi Diagram (TTT DIAGRAM) atau disebut juga Kurva tipe C atau Kurva Hidung (nose) atau Kurva Lutut (knee).

Perhatikan kembali gambar diagram fase besi-karbida besi di bawah ini (Gambar 3.7). Baja dengan kadar C 0,45% dipanaskan hingga suhu 850°C dan dihasilkan 100% austenit (γ). Kemudian didinginkan hingga 750°C maka terbentuk ferit + austenit ($\alpha + \gamma$). Namun terbentuknya ($\alpha + \gamma$) tidak secara langsung tetapi terbentuk setelah

beberapa detik hingga mencapai kondisi keseimbangan yaitu (43% α dan 57% γ)



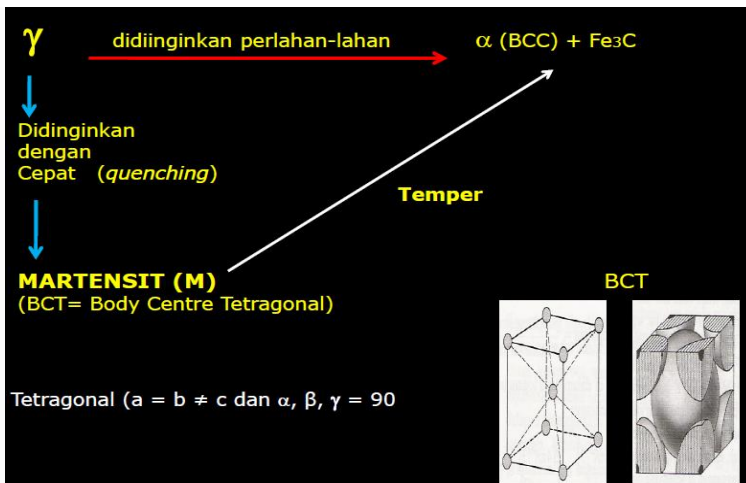
Baja dengan kadar C 0,45% dipanaskan hingga suhu 850°C hingga dihasilkan 100% austenit (γ), kemudian di-*quenching* hingga suhu 650°C ditahan secara isothermal hingga terbentuk (α + karbida) (Gambar 3.8). Ferit pertama akan muncul dalam waktu kurang dari 1 detik. Kemudian karbida muncul dalam beberapa detik. Austenit lenyap sekitar 10 detik. Semakin rendah suhu yang di-*quenching* (misal dibawah 550°C, maka dekomposisi austenit (terbentuk α + karbida) yang terjadi juga semakin lama. Pada suhu tersebut, difusi berjalan lambat. Di bawah kurva, mikrostruktur yang terbentuk adalah butiran halus karbida yang disebut Bainit. Perlit (α + karbida) sudah tidak terbentuk.



Gambar 3.8

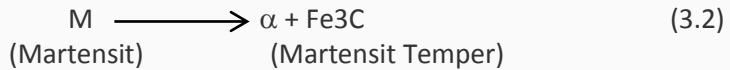
Dekomposisi Isotermal Austenit (0,45 persen C, Fe balans). Fasa stabil pada diagram fasa (kanan) tidak terjadi dengan segera, tetapi membutuhkan waktu yang tercantum di (a). (Waktu untuk mulai reaksi, t_s ; waktu berakhirnya reaksi, t_f .)

Perhatikan Gambar 3.9 tentang austenite yang didinginkan secara cepat. Martensit merupakan fasa meta stabil yang mengandung



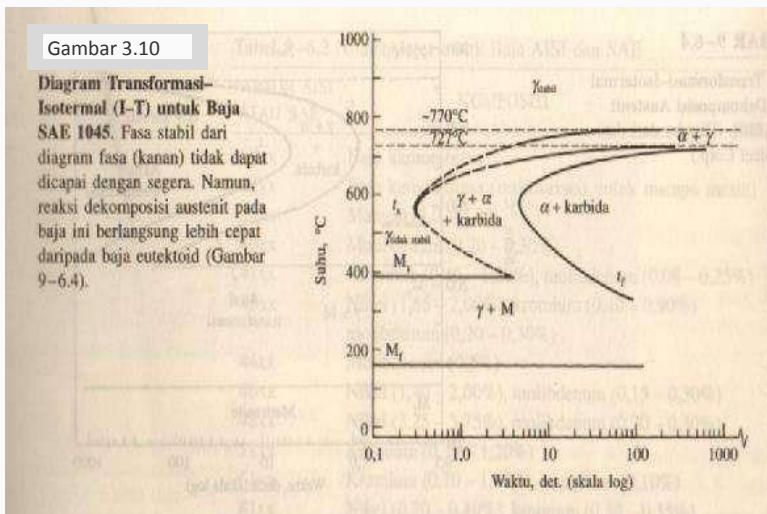
Gambar 3.9 Austenite yang didinginkan secara cepat

karbon sebagai larutan padat, struktur BCT tidak merubah diagram fasa Fe-Fe₃C. Pada suhu lebih rendah dari suhu eutektoid dalam waktu cukup lama, larutan karbon yang lewat jenuh akan berubah menjadi bentuk ferit dan karbida yang lebih stabil. Proses tersebut dikenal dengan nama: TEMPER (TEMPERING), dengan reaksi kimianya sebagai berikut:



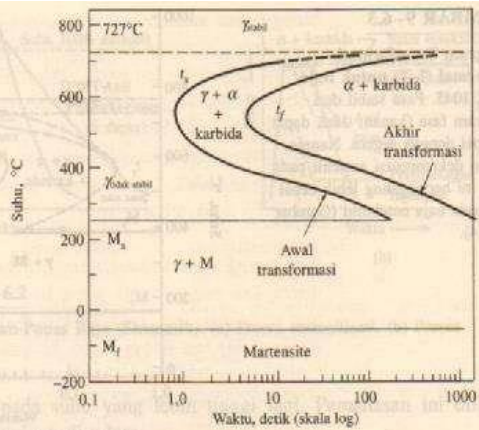
Martensit temper lebih tangguh daripada martensit metastabil, sehingga banyak dipakai sekalipun agak lunak dan sifat keras dan tangguh. Struktur mikro martensit temper terdiri dari struktur mikro 2 fasa yaitu ferit dan karbida. Kondisi ini terjadi karena adanya dekomposisi martensit.

Gambar 3.10 menunjukkan diagram transformasi isothermal (I-T) untuk baja SAE 1045. Reaksi dekomposisi austenite pada baja ini berlangsung lebih cepat daripada baja eutektoid. Sementara I-T untuk dekomposisi austenite SAE 1080 (Gambar 3.11).



Gambar 3.11

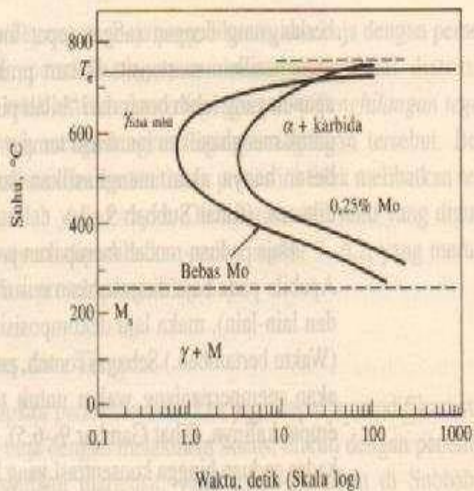
Kurva Transformasi-Isotermal untuk Dekomposisi Austenit (SAE 1080). (Disadur dari data U. S. Steel Corp.)



Baja paduan rendah (dengan ditambah unsur-unsur paduan Cr, Ni, Mo, Si, Mn dan lainnya), maka laju dekomposisi austenit ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{karbida}$) akan berkurang (membutuhkan waktu lama). Contoh: penambahan Mo 0,25% akan memperpanjang waktu terjadinya $\gamma \rightarrow M$ (martensit) menjadi 4 kali lebih lama (Gambar 3.12).

Gambar 3.12

Penundaan Transformasi. Sama seperti unsur paduan lainnya, molibdenum menunda permulaan transformasi austenit. (Perhatian: Penambahan Mo juga meningkatkan suhu eutektoid, T_e .)



Nomenklatur untuk baja AISI dan SAE ditampilkan pada Tabel 3.2 dan proses-proses transformasi baja pada Tabel 3.3, sedangkan

Tabel 3.2

NOMOR AISI ATAU SAE*	KOMPOSISI	UNS**
10xx	Baja karbon-biasa†	G10xx0
11xx	Baja karbon-biasa (resulfurisasi untuk mampu mesin)	G11xx0
15xx	Mangan (1,0 – 2,0%)	G15xx0
40xx	Molibdenum (0,20 – 0,30%)	G40xx0
41xx	Kromium (0,40 – 1,20%), molibdenum (0,08 – 0,25%)	G41xx0
43xx	Nikel (1,65 – 2,00%), kromium (0,40 – 0,90%) molibdenum (0,20 – 0,30%)	G43xx0
44xx	Molibdenum (0,5%)	G44xx0
46xx	Nikel (1,40 – 2,00%), molibdenum (0,15 – 0,30%)	G46xx0
48xx	Nikel (3,25 – 3,75%), molibdenum (0,20 – 0,30%)	G48xx0
51xx	Kromium (0,70 – 1,20%)	G51xx0
61xx	Kromium (0,70 – 1,10%), vanadium (0,10%)	G61xx0
81xx	Nikel (0,20 – 0,40%), kromium (0,30 – 0,55%), molibdenum (0,08 – 0,15%)	G81xx0
86xx	Nikel (0,30 – 0,70%), kromium (0,40 – 0,85%), molibdenum (0,08 – 0,25%)	G86xx0
87xx	Nikel (0,40 – 0,70%), kromium (0,40 – 0,60%), molibdenum (0,20 – 0,30%)	G87xx0
92xx	Silikon (1,80 – 2,20%)	G92xx0

* xx: kadar karbon, 0,xx persen.
 ** Unified Numbering System (UNS) lebih rumit dibandingkan dengan penomoran AISI-SAE, karena mencakup semua paduan komersial yang ada (kini mendekati 10.000). Akan tetapi, kedua sistem tersebut setara. Untuk paduan UNS, baja karbon-biasa dan baja paduan-rendah menggunakan prefix G ditambah digit ketiga untuk varian yang akan datang. Jadi, AISI-SAE 4017 menjadi G40170.
 † Semua baja karbon-biasa mengandung ± 0,50 persen mangan, dan sekitar (< 0,05 %) unsur sisa lainnya.

Tabel 3.3

Proses-proses Transformasi Baja*

PROSES	TUJUAN	PROSEDUR	FASA
Penganilan	Memperlunak	Pendinginan lambat dari daerah γ -stabil	α + karbida
Kuens	Mengeraskan	Kuens dengan menghindari kurva I-T	Martensit†
Kuens terputus	Mengeraskan tanpa menimbulkan retak	Kuens diikuti dengan pendinginan lambat dari M_s ke M_f	Martensit†
Austemper	Mengeraskan tanpa membentuk martensit rapuh	Kuens, diikuti dengan transformasi isothermal di atas M_s	α + karbida
Temper	Meningkatkan ketangguhan (dengan pelunakan minimal)	Pemanasan-kembali martensit	α + karbida

* Lihat Gambar 9–6.8.
 † Baja yang mengandung martensit harus ditemper untuk meningkatkan ketangguhan.

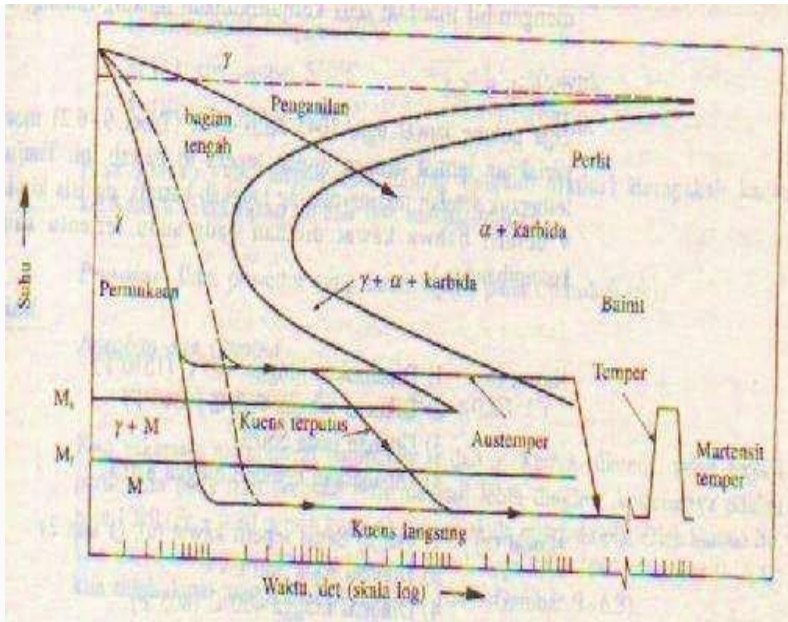
pengaruh perlakuan panas SAE 4140 pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4

Pengaruh Perlakuan Panas (SAE 4140)

MIKROSTRUKTUR	KEKUATAN TARIK		KETANGGULAN	
	MPa	(psi)	J	$\frac{J}{\text{cm}^2}$
Anil, ($\alpha + \bar{C}$)				
Lamel karbida	655	(95.000)	55	40
Speroidit, ($\alpha + \bar{C}$)				
Karbida "sferis" besar dalam matriks ferit	480	(70.000)	110	80
Martensit, M	~1400	~(200.000)	<3	<3
Martensit temper, ($\alpha + \bar{C}$), Karbida terdispersi dalam matriks ferit:				
500°C, 1 jam	1275	(185.000)	55	40
600°C, 1 jam	1035	(150.000)	110	80

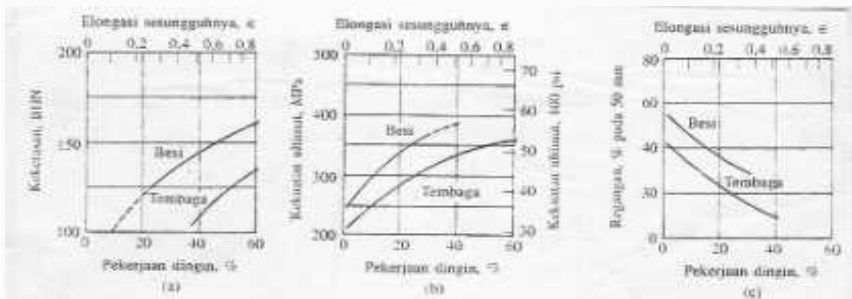
Proses martensit dengan **quench langsung** sehingga terjadi tegangan yang timbul sehingga sering menimbulkan **retak quench**. Untuk mengatasi quench langsung maka alternatif yang dilakukan adalah dengan **quench terputus (martemper = mar quench)** (Gambar 3.13). Proses baja di quench secara cepat melewati lutut/hidung kurva (mencegah terbentuknya ferit+karbida). Namun pendinginan dihentikan sementara pada suhu tepat di atas Ms. Pendinginan dilanjutkan dengan laju yang rendah melalui rentang martensit hingga mencapai suhu ruang (agar permukaan dan bagian pusat baja dapat bertransformasi secara serentak) sehingga menghindari retak quench. Dari segi produksi Proses ini lebih rumit dibandingkan quench langsung, karena laju pendinginan harus digeser dari quench ke suatu posisi "tahan" dan kemudian ke laju pendinginan yang lambat.



Gambar 3.13 Persoalan *quench* terputus (martemper = mar quench)

Soal-soal

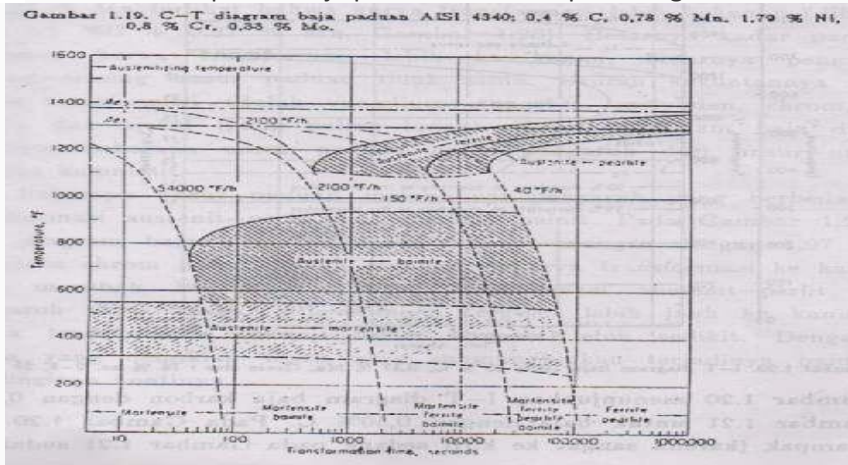
1. Batang Fe anil berdiameter awal 12,3 mm, mengalami pekerjaan dingin dengan penarikan melalui *die* dengan diametere 10,4 mm.
 - Berapa keuletan batang Fe sebelum ditarik ?
 - Berapa keuletan batang Fe setelah penarikan ? (Gambar A)



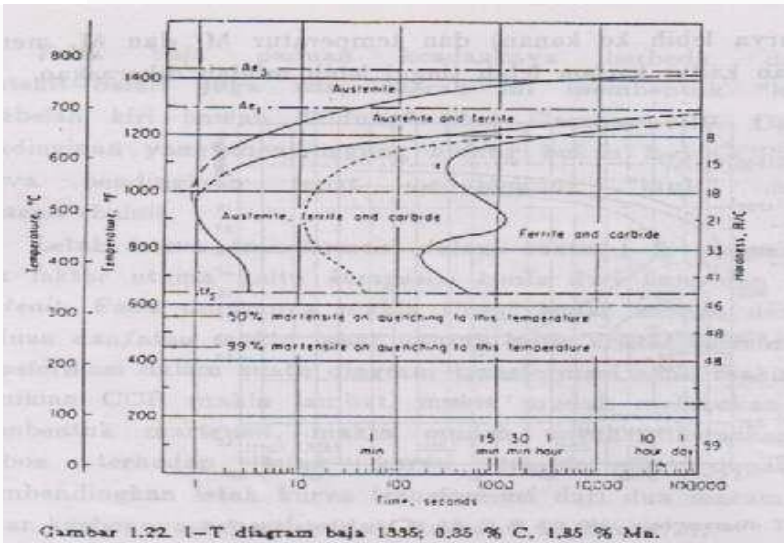
Gambar A

Pekerjaan Dingin Versus Sifat Mekanis (Besi dan Tembaga). Pekerjaan dingin adalah jumlah regangan plastis, dinyatakan sebagai pengurangan luas penampang-melintang (Persamaan 9-3.1).

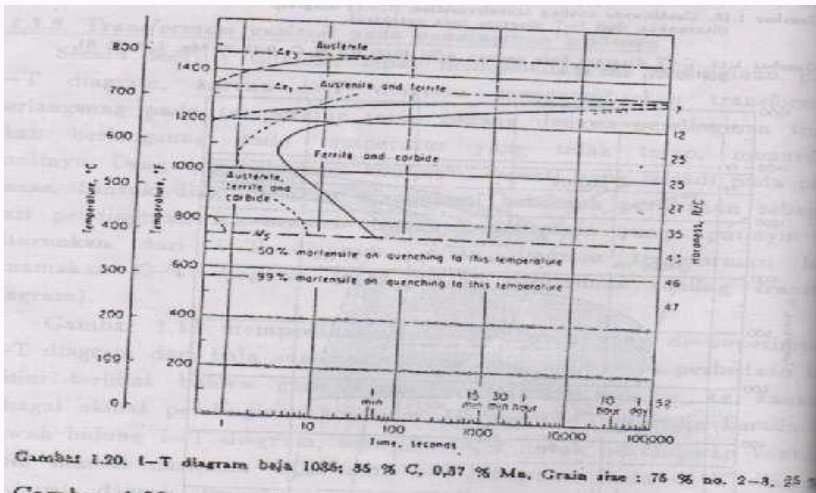
- 2 a. Jelaskan proses baja paduan AISI 4340 pada diagram I-T.



b. Jelaskan proses baja 1335 pada diagram I-T.



c. Jelaskan proses baja 1086 pada diagram I-T



BAB 4: JENIS-JENIS BAJA DAN BESI COR

CAPAIAN PEMBELAJARAN

Diharapkan mahasiswa dapat mengerti isi dari bab ini khususnya jenis-jenis baja termasuk didalamnya Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*), Baja Tahan Karat, Baja Perkakas (*Tool Steel*) dan besi cor.

4.1 Klasifikasi Logam Paduan

Pembagian klasifikasi logam paduan ditunjukkan pada Gambar 4.1, memperlihatkan baja termasuk logam ferro (besi) yang dibagi lagi menjadi baja paduan rendah dan baja paduan tinggi.



Gambar 4.1 Klasifikasi paduan logam

4.2 Nomenklatur/Identifikasi Baja

Cara membaca identifikasi baja. Digunakan persamaan 4 digit:

contoh: **10 XX** (= baja karbon dengan elemen paduan sangat sedikit sekali)

Kadar karbon dalam persentasi (%) = 0,XX%

Dua digit pertama menunjukkan jenis elemen paduan yang ditambahkan pada besi dan karbon.

Jadi, misal : **1040** artinya = **baja paduan dengan karbon 0,40%**

Pernyataan tersebut sesuai dengan AISI = *American Iron and Steel Institute*, SAE = *Society of Automotive Engineers*. Lebih lengkap lagi identifikasi baja dengan UNS = *Unified Numbering System* mencakup semua paduan komersial sekitar 10.000 jenis. Penulisan pada UNS: baja karbon dan baja paduan rendah dengan awalan **G** dan ditambah digit ke lima.

Misal: AISI-SAE 4017 menjadi **G40170**

Lebih lengkap nomenklatur/identifikasi baja ditampilkan pada Tabel 4.1. Sementara komposisi beberapa baja karbon rendah dan baja

Tabel 4.1 Nomenklatur/identifikasi baja

AISI	SAE	Komposisi	UNS
10xx		Baja-karbon*	G10xx0
11xx		Baja-karbon (ditambah belerang untuk mampu pemesinan)	G11xx0
15xx		Mangan (1,0 – 2,0%)	G15xx0
20xx		Molibden (0,20 – 0,30%)	G20xx0
40xx		Kromium (0,40 – 1,20%), molibden (0,08 – 0,25%)	G40xx0
41xx		Nikel (1,65 – 2,00%), kromium (0,40 – 0,90%), molibden (0,20 – 0,30%)	G41xx0
43xx		Molibden (0,3%)	G43xx0
44xx		Nikel (1,40 – 2,00%), molibden (0,15 – 0,30%)	G44xx0
48xx		Nikel (3,25 – 3,75%), molibden (0,20 – 0,30%)	G48xx0
51xx		Kromium (0,70 – 1,20%)	G51xx0
61xx		Kromium (0,70 – 1,10%), vanadium (0,10%)	G61xx0
81xx		Nikel (0,20 – 0,40%), kromium (0,30 – 0,55%), molibden (0,08 – 0,15%)	G81xx0
86xx		Nikel (0,30 – 0,70%), kromium (0,40 – 0,85%), molibden (0,08 – 0,25%)	G86xx0
87xx		Nikel (0,40 – 0,70%), kromium (0,40 – 0,60%), molibden (0,20 – 0,30%)	G87xx0
91xx		Silikon (1,80 – 2,20%)	G92xx0

paduan rendah berkekuatan rendah (*strength low alloy steel*) pada Tabel 4.2. Pada Tabel 4.3 sifat mekanik dan aplikasi beberapa baja karbon dan baja paduan rendah berkekuatan tinggi.

Tabel 4.2 Baja paduan rendah berkekuatan rendah

PENGANTAR

TABEL 4.1 Komposisi beberapa baja karbon rendah dan baja paduan rendah berkekuatan rendah (strength low alloy steel).

Penandaan ^a AISI/SAE atau ASTM	UNS	Komposisi (wt.%) ^b		
		C	Mn	Lainnya
Baja Karbon Rendah				
1010	G10100	0,10	0,45	
1020	G10200	0,20	0,45	
A36	K02600	0,29	1,00	0,20 Cu (min.)
A516 Kelas 70	K02700	0,31	1,00	0,25 Si
Baja Paduan Rendah Berkekuatan Tinggi				
A440	K12810	0,28	1,35	0,30 Si (maks.) 0,2 Cu (min.)
A663 Kelas E	K12002	0,22	1,35	0,30 Si (maks.); 0,08; 0,02 N;
A656 Kelas I	K11804	0,18	1,60	0,60 Si; 0,1 V; 0,20 Al; 0,0015 S

^a Kode digunakan oleh American Iron and Steel Institute (AISI), Society of Automotive Engineers (SAE), dan American Society for Testing and Materials (ASTM). Demikian juga, dalam Unified Numbering System yang dijelaskan dalam teks.

^b Hanya maksimum dari 0,04 wt.% P; 0,05 wt.% S; dan 0,30 Si (kecuali diindikasikan sebaliknya).

Sumber: Diadaptasi dari William D. Callister, Jr., *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 6th ed. (John Wiley & Sons, 2003), Table 11.1a.

Tabel 4.3 Sifat mekanik dan aplikasi beberapa baja karbon dan baja paduan rendah berkekuatan tinggi.

TABEL 4.2 Sifat mekanik dan aplikasi beberapa baja karbon rendah dan baja paduan rendah berkekuatan tinggi.

AISI/SAE atau ASTM	Kekuatan Tarik [MPa (ksi)]	Kekuatan Luluh [MPa (ksi)]	Kekuletan [%EL dalam 50 mm (2 inci)]	Jenis Aplik
Baja Karbon Rendah				
1010	325 (47)	180 (26)	28	Panel mobil, paku, c
1020	380 (55)	205 (30)	25	Pipa, serta baja lembaran struktural
A36	400 (58)	220 (32)	23	Struktural (jembatan, bangunan)
A516 Kelas 70	485 (70)	260 (38)	21	Bejana tekan suhu r
Baja Paduan Rendah Berkekuatan Tinggi				
A440	435 (63)	290 (42)	21	Struktur yang dibau paku keling
A663 Kelas E	520 (75)	380 (55)	23	Struktur yang digun suhu rendah ambier
A656 Kelas I	655 (95)	552 (80)	15	Kerangka truk dan r

Sumber: Diadaptasi dari William D. Callister, Jr., *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 6th ed. (John Wiley & Sons, 2003), Table 11.1b.

4.3 Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja

Baja adalah paduan unsur Fe dan C, dengan kandungan karbon kurang dari 2%. Terdapat ribuan jenis baja yang tersedia di pasar, di mana berbeda komposisi kimia dan proses perlakuan panasnya. Sesuai klasifikasi paduan logam fero pada Figur 4.1, baja dapat dibagi menjadi dua golongan besar, yaitu (1) baja paduan rendah (*low alloy steel*) dan (2) baja paduan tinggi (*high alloy steel*). Pada baja paduan rendah, hanya terdapat sedikit unsur paduan selain karbon dan sedikit mangan, sementara pada baja paduan tinggi, secara sengaja dimasukkan unsur-unsur lain untuk meningkatkan karakteristik tertentu dari baja tersebut. Sifat mekanik baja sangat sensitif terhadap kandungan karbon, di mana semakin tinggi kadar karbon, semakin tinggi kekuatan dan kekerasan baja tersebut.

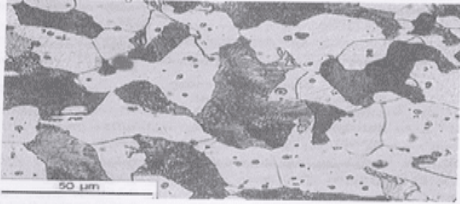
Baja paduan dihasilkan dengan biaya yang lebih mahal karena bertambahnya biaya untuk penambahan pengerjaan khususnya yang dilakukan di dalam industri atau pabrik. Baja paduan rendah (*low alloy steel*) hanya unsur karbon yang ada sementara paduan lainnya seperti Mn jumlahnya cukup sedikit. Baja Paduan Rendah dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah kandungan karbonnya, yaitu: (1) Baja karbon rendah, (2) Baja karbon sedang, dan (3) Baja karbon tinggi.

4.3.1 Baja Karbon Rendah

Pada baja karbon rendah kandungan karbonnya rendah kurang dari 0,3%. Baja ini disebut baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Aplikasinya pada baut, sekrup ulir, mur, peralatan senjata, alat pengangkat presisi, batang tarik, mesin perkakas dan perkakas silinder (Gambar 4.2). Struktur mikro baja karbon rendah ditunjukkan pada Gambar 4.3, dan profil baja pada Gambar 4.4.



Gambar 4.2 Aplikasi baja karbon rendah



Gambar 4.2 Struktur mikro baja karbon rendah yang terdiri atas ferit (warna putih) dan perlit (warna gelap).

Sumber: Diadaptasi dari <http://pvatlas.mt.umist.ac.uk/internet/microscope/micrographs/microstructures/low-carbon-steel.html>.

Baja Karbon Rendah

Dibandingkan dengan jenis baja lainnya, baja karbon rendah merupakan jenis baja yang diproduksi dalam jumlah terbesar. Kadar karbon baja ini kurang dari 0,25 wt.%, serta struktur mikronya terdiri atas ferit dan perlit (lihat Figur 4.13), sehingga bersifat lunak, tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang sangat baik. Baja ini dapat dimesin (dibubut) dan dilas, tetapi tidak responsif terhadap perlakuan panas. Artinya, baja ini tidak membentuk struktur martensit ketika didinginkan dengan cepat. Beberapa aplikasi dari baja ini, seperti bodi mobil, serta lembaran baja untuk pipa, kaleng, dan bentuk struktural (misal: I, H, L, dan lain-lain). Komposisi dan aplikasi dari baja karbon rendah dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Penamaan baja berdasarkan standar AISI (American Institute for Steel and Iron) terdiri atas empat digit, di mana dua digit pertama menunjukkan kandungan paduan baja dan dua digit terakhir menunjukkan kandungan karbon dikalikan dengan seratus. Untuk baja karbon, dua digit pertama adalah 1 dan 0, sementara baja paduan memiliki dua digit pertama dapat berupa suatu kombinasi (misal: 13, 41, 43). Sebagai contoh, AISI 1060. Dua digit pertama, yaitu 10, menunjukkan klasifikasi baja karbon rendah. Dua digit terakhir, yaitu 60, menunjukkan kandungan karbon sebesar 0,60 wt.%. Anda bisa mencari dari berbagai sumber referensi tentang sistem penamaan/penandaan lain, seperti sistem penamaan baja dan logam lain dengan system ASTM (American Society for Testing and Materials), SAE (The Society of Automotive Engineer), UNS (Unified Numbering System).

Kelompok lain dari baja karbon rendah adalah baja paduan rendah berkekuatan tinggi atau yang dikenal juga sebagai baja HSLA. Kelompok baja ini mengandung unsur paduan, seperti tembaga, vanadium, nikel, dan molibdenum yang totalnya dapat mencapai 10 wt.%. Kekuatannya jauh lebih tinggi daripada baja karbon rendah biasa. Kekuatannya dapat mencapai 480 MPa dan umumnya lebih tahan korosi. Aplikasi baja HSLA, seperti jembatan, menara, *pressure vessel*, dan lain-lain.



Gambar 4.3 Profil baja

4.3.2 Baja Karbon Menengah/Sedang

Baja Karbon Sedang/ Menengah dengan kandungan karbon 0,25 - 0,6%. Baja tersebut dapat dikeraskan sebagian dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Proses pengerjaan panas menaikkan kekuatan baja dengan cara dirolling. Baja karbon sedang digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, poros engkol, dan alat angkat presisi (Gambar 4.4)



Gambar 4.4 Peralatan Baja Karbon Sedang/Menengah

Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang mengandung karbon sebesar 0,25–0,60 wt.%. Baja kuat daripada baja karbon rendah, tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan

rendah, serta dapat diberi perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatannya. Aplikasi dari baja ini, seperti rel kereta, roda gigi, *crankshaft*, dan lain-lain. Salah satu jenis baja karbon sedang yang banyak digunakan adalah baja profil I. Baja ini telah memiliki SNI (Standar Nasional Indonesia) nomor 07-0329-2005.

4.3.3 Baja Karbon Tinggi

Baja Karbon Tinggi yang mengandung karbon 0,6 - 1,5%. Dibuat dengan cara digiling panas. Pembentukan baja ini dilakukan dengan cara menggerinda permukaannya, misalnya batang bor dan batang datar. Apabila baja ini digunakan untuk bahan produksi maka harus dikerjakan dalam keadaan panas dan digunakan untuk peralatan mesin-mesin berat, batang-batang pengontrol, alat-alat tangan seperti palu, obeng, tang dan kunci mur, baja pelat, pegas kumparan, dan sejumlah peralatan pertanian (Gambar 4.5).



Gambar 4.5 Perlatan Baja Karbon Tinggi

4.3.4 Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan, dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki (keras, kuat, dan tangguh). Suatu kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran memberikan sifat khas dibandingkan dengan menggunakan satu unsur campuran, misalnya baja yang dicampur dengan unsur kromium dan nikel akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras dan ulet (sifat logam ini membuat baja dapat dibentuk dengan cara ditempa, dirolling, dan ditarik tanpa mengalami patah atau retak-retak). Jika baja dicampur dengan kromium dan molibden, akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras yang baik dan sifat ulet yang memuaskan serta tahan terhadap panas.

4.4 Baja Tahan Karat

Baja tahan karat (*stainless steel*) mempunyai seratus lebih jenis yang berbeda-beda. Akan tetapi, seluruh baja itu mempunyai satu sifat karena kandungan kromium yang membuatnya tahan terhadap karat. Baja tahan karat dapat dibagi ke dalam tiga kelompok dasar (1). baja tahan karat ferit, (2). baja tahan karat austenit, dan (3). baja tahan karat martensit.

4.4.1 Baja Tahan Karat Ferit

Baja Tahan Karat Ferit adalah baja ini mengandung unsur karbon yang rendah (sekitar 0,04%C) dan sebagian besar dilarutkan di dalam besi. Sementara itu, unsur lainnya yaitu kromium sekitar 13% - 20% dan tambahan kromium tergantung pada tingkat ketahanan karat yang diperlukan. Baja ini tidak dapat dikeraskan dengan cara dilapisi/disepuh. Baja ini seringkali disebut besi tahan karat dan cocok untuk dipres, ditarik, dan dipuntir. Baja yang mengandung 13% kromium digunakan untuk garpu dan sendok, sedangkan yang mengandung 20% kromium untuk tabung sinar katoda.

4.4.2 Baja Tahan Karat Austenit

Baja Tahan Karat Austenit adalah baja tahan karat austenit mengandung nikel dan kromium yang amat tinggi, nikel akan membuat temperatur transformasinya rendah, sedangkan kromium akan membuat kecepatan pendinginan kritisnya rendah. Campuran kedua unsur itu menghasilkan struktur lapisan austenit pada temperatur kamar. Baja ini tidak dapat dikeraskan melalui perlakuan panas. Pengerjaan dan temper tersebut membuat baja sukar dikerjakan dengan mesin perkakas. Seperti baja austenit yang lain, baja tahan karat austenit tidak magnetis. Baja tahan karat yang mengandung 0,15% C, 18% Cr, 8,5% Ni, dan 0,8% Mn sesuai untuk digunakan sebagai alat-alat rumah tangga dan dekoratif. Baja tahan karat yang mengandung 0,05% C, 18,5% Cr, 10% Ni, dan 0,8% Mn, baik untuk dikerjakan dengan cara penarikan dalam karena kandungan karbonnya rendah. Baja tahan karat yang mengandung 0,3% C, 21% Cr, 9% Ni, dan 0,7% Mn sesuai untuk dituang. Kebanyakan baja tahan karat austenit mengandung sekitar 18 % kromium dan 8 % nikel. Proporsi unsur kromium dan nikel sedikit berbeda dengan penambahan dalam proporsi yang kecil dari unsur molybdenum, titanium, dan tembaga untuk menghasilkan sifat-sifat yang special. Baja dalam kelompok ini digunakan apabila diperlukan ketahanannya terhadap panas.

4.4.3 Baja Tahan Karat Martensit

Baja Tahan Karat Martensit adalah baja tahan karat martensit mengandung sejumlah besar unsur karbon dan dapat dikeraskan melalui perlakuan panas. Baja yang mengandung 0,1 %, 13 % Cr, dan 0,5% Mn ini dapat didinginkan untuk memperbaiki kekuatannya, tetapi tidak menambah kekerasan. Baja ini sering kali disebut besi tahan karat dan digunakan khususnya untuk peralatan gas turbin dan pekerjaan dekoratif. Apabila baja ini digunakan untuk alat-alat pemotong maka terlebih dahulu ditemper pada temperatur sekitar 180°C, dan jika digunakan untuk pegas terlebih dahulu ditemper pada temperatur sekitar 450°C.

4.5 Baja Perkakas (*Tool Steel*)

Baja Perkakas (*Tool Steel*) adalah baja dengan kandungan Carbon antara 0.3 – 1.6% dan mengandung unsur-unsur paduan lainnya (Cr, V, W, Mo, dan lainnya). Unsur-unsur paduan tersebut membuat baja tersebut mempunyai sifat mekanik (kekerasan, ketahanan abrasi, kemampuan potong, kekerasan pada temperatur tinggi) yang sangat baik sehingga baja tersebut dapat digunakan sebagai tool (perkakas), misalkan sebagai mould, dies atau pisau. Umumnya *tool Steel* digunakan setelah di “heat treatment” (perlakuan panas), hal ini untuk mendapatkan sifat mekanik yang benar-benar sesuai dengan kebutuhan. Tool steel diproduksi dalam berbagai type atau grade. Pemilihannya tergantung pada jenis pembebanannya (impact, abrasi) atau pada pekerjaannya: stamping, cutting, ekstrusi, forging, dan lainnya.

Klasifikasi dari baja perkakas Selection of Tool Steels Most application yang (1) Kekerasan, (2) Ketangguhan, (3) Tahan aus, dan (4) Red hardness. Sementara Individual application: (1) Distorsi yang diijinkan, (2) Surface decarburization yang ditoleransi, (3) Hardenability atau deep of hardness yang diperoleh, (4) Heat-treating yang dibutuhkan, dan (5) Machinability.

Karakteristik dari Tool Steels adalah:

1. Nondeforming property
2. Deep of hardening
3. Toughness
4. Wear resistance
5. Red-hardness
6. Machinability
7. Resistance to decarburization

Jenis tool steel

Water-hardening tool steel (Group W):

1. Menurut kadar karbon:
 - a. 0,6 – 0,75 % C; aplikasi dimana ketangguhan adh syarat utama
 - b. 0,75% - 0,95%; aplikasi dimana ketangguhan dan kekerasan adalah penting

c. 0,95%- 1,40%; aplikasi dimana sifat tahan aus dan ketajaman sisi potong sangat penting

2. Karakteristik:

- a. Kekerasan permukaan yang tinggi diperoleh dg heat treatment, quenching dg media air.
- b. Machineability paling tinggi.
- c. Sifat red-hardness-nya jelek
- d. Pemakaian terbatas untuk perkakas pemotongan kecepatan rendah, pemakanan tipis dan bahan yang relatif lunak.

4.6 Besi Cor/BesiTuang (*Cast Iron*)

Bila membahas tentang besi cor, maka yang tidak boleh dilupakan adalah diagram fase besi-karbida besi (Gambar 2.3). Besi cor merupakan paduan Besi-Karbon dengan kandungan C di atas 2% (pada umumnya sampai dengan 4%). Memiliki titik lebur lebih rendah dari baja. Tabel 4.4 tentang titik lebur beberapa logam/logam paduan/oksida logam.

Tabel 4.4 Titik lebur beberapa logam/logam paduan/oksida logam.

Logam	Suhu Lebur ($^{\circ}\text{C}$)
Alumunium	657
Alumunium Oxide	2020-2050
Besi	1535
Besi Tuang Kelabu	1200
Baja Karbon Rendah	1500
Baja Karbon Tinggi	300-1400
Tembaga	1083
Brass	850-900
Zinc	419

Besi cor memiliki kandungan FOSFOR (P) dan SULPHUR (S) sangat tinggi dibandingkan Baja. Unsur P dan S sangat diperlukan untuk meningkatkan mampu alir dari cairan besi. Memiliki sifat mampu cor yang sangat baik. Dapat membentuk hasil cor dengan bentuk yang rumit contoh: PIPE FITTING (Gambar 4.6), SPROCKET (Gambar 4.7), CRANK SHAFT MESIN MOBIL (Gambar 4.8) , PUMP (Gambar 4.9), dan beberapa peralatan yang terdapat pada Pabrik GULA.



Gambar 4.6 PIPE FITTING



Gambar 4.7 SPROCKET



Gambar 4.8 CRANK SHAFT MESIN MOBIL



Gambar 4.9 PUMP

Besi cor memiliki elongasi/keuletan yang relatif rendah. Oleh karenanya proses pengerjaan besi cor tidak dapat dilakukan melalui proses pembentukan (pengerolan/rolling, tempa/forging, proses tarik/drawing, ekstrusi/extrusion, proses putar tekan/spinning, proses potong/piercing), dan lainnya, melainkan melalui proses pemotongan (pemesinan) maupun pengecoran. Mempunyai sifat MAMPU LASNYA (WELDABILITY) rendah. Besi cor banyak mengandung unsur Silikon (Si) antara 1 – 3 %. Dengan kandungan sebesar ini, silicon mampu meningkatkan kekuatan besi cor melalui penguatan fasa ferit. Kehadiran silicon dalam besi cor mengakibatkan terjadinya dekomposisi karbida menjadi besi dan grafit:



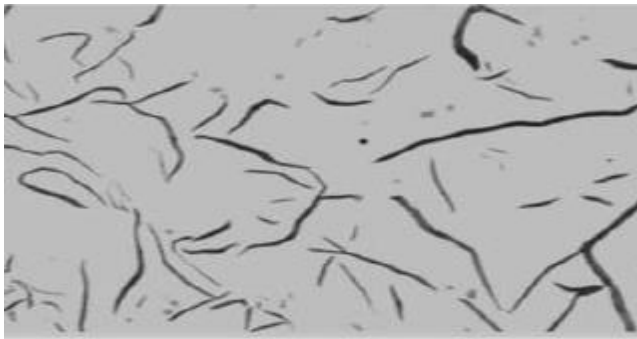
Proses dekomposisi ini disebabkan oleh sifat Fe_3C yang metastabil. Dekomposisi ini disebut grafitisasi yang menghasilkan **grafit** dalam besi cor.

4.6.1 Mikrostruktur Grafit Di Dalam Besi Cor

Mikrostruktur grafit di dalam besi cor dibedakan menjadi:

a. Besi Cor (**Gray Cast Iron**)

Sekitar 70% besi cor berwarna abu-abu. Memiliki kandungan silikon relative tinggi yaitu antara 1 - 3 %. Dengan silikon sebesar ini, besi cor akan membentuk grafit dengan mudah, sehingga fasa karbida Fe_3C tidak terbentuk. Besi cor kelabu memiliki kandungan karbon antara 2,5 – 4,0 %, mangan antara 0,2 – 1,0 %, fosfor antara 0,002 – 1,0 %, dan sulfur antara 0,02 – 0,025 %. Kekuatan tariknya tidak tinggi dan keuletannya rendah sekali. Memiliki daya tahan aus yang cukup baik dan harganya cukup murah. Grafit serpih besi cor ini terbentuk saat proses pembekuan dan mempunyai graphite yang berbentuk FLAKE (serpihan) (Gambar 4.10).



Gambar 4.10 Mikrostruktur *Gray Cast Iron*

Patahan pada besi cor kelabu terjadi dengan rambatan yang melintasi satu serpih ke serpih yang lainnya. Karena sebagian besar permukaan patahan melintasi serpih-serpih grafit, maka

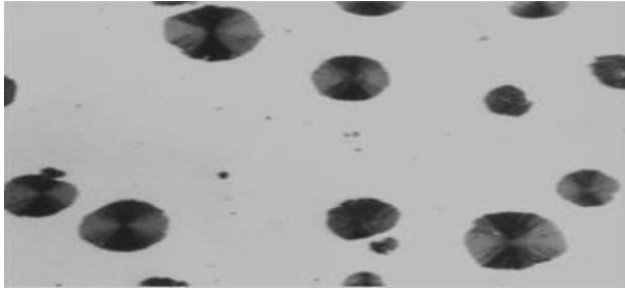
permukaannya berwarna kelabu. Serpihan grafit yang dimiliki oleh besi cor ini, menyebabkan keuletan bahan menjadi sangat rendah, bahkan bisa nol persen. Namun demikian, grafit serpih ini mampu meredam getaran dengan cukup baik. Dengan kata lain, besi cor ini memiliki kapasitas peredaman tinggi. Perlakuan panas yang dialami oleh besi cor kelabu dapat menghasilkan besi cor dengan struktur yang berbasis pada fasa ferit, perlit, atau martensit. Dengan sifat-sifat yang dimilikinya, besi cor ini lebih banyak digunakan sebagai landasan mesin, silinder terdapat pada blok mesin (Gambar 4.11), poros penghubung, dan alat berat.



Gambar 4.11 Silinder terdapat pada blok mesin

b. Besi Cor Nodular (*Nodular Cast Iron*)

Besi cor nodular dibuat dengan menambahkan sedikit unsur magnesium atau serium (Ce). Penambahan unsur ini menyebabkan bentuk grafit besi cor menjadi nodular, atau bulat, atau sferoid (Gambar 4.12). Perubahan bentuk grafit ini diikuti dengan perubahan keuletan. Keuletan besi cor naik. Maka dari itu, besi cor nodular disebut besi cor ulet (DUCTILE CAST IRON). Besi cor ini memiliki keuletan antara 10 – 20 %. Besi cor nodular memiliki kandungan karbon antara 3,0 – 4,0 %, silicon antara 1,8 – 2,8 %, mangan antara 0,1 – 1,0 %, fosfornya antara 0,01 – 0,1 %, dan sulfur antara 0,01 – 0,03 %.



Gambar 4.11 Mikrostruktur *Nodular Cast Iron*

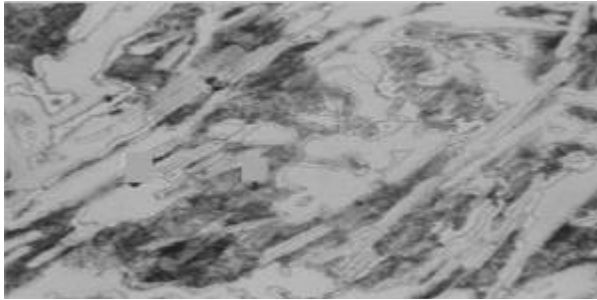
Perlakuan panas yang diterapkan pada besi cor nodular akan menghasilkan besi cor ferit, perlit atau martensit temper. Dengan sifat yang dimilikinya, besi cor ini banyak digunakan untuk aplikasi: poros engkol (CRANK SHAFT), komponen pompa (Gambar 4.12), pipa dan suku cadang khusus.



Gambar 4.12 Aplikasi Besi Tuang Nodular dalam Komponen Pompa

c. Besi Cor Putih (*White Cast Iron*)

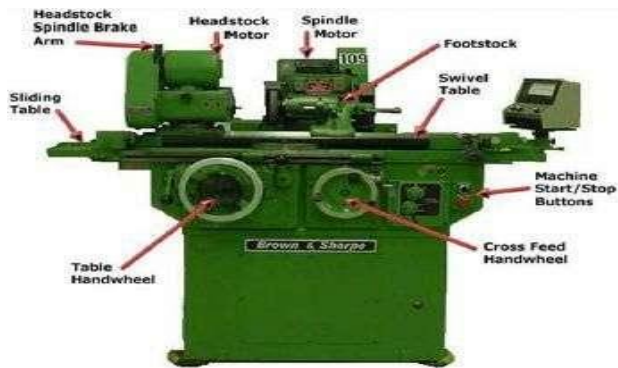
Besi cor putih mengandung karbon antara 1,8 – 3,6 %, mangan antara 0,25 – 0,80 %, fosfornya antara 0,06 – 0,2 %, dan sulfur antara 0,06 – 0,2 %. Besi cor putih dibuat dengan pendinginan yang sangat cepat. Pada laju pendinginan yang cepat akan terbentuk karbida Fe_3C (sekitar 30 % volume) yang metastabil dan karbon tidak memiliki kesempatan untuk membentuk grafit. Sifat sangat keras dan getas. Mikrostrukturnya terdiri dari karbida yang menyebabkan berwarna putih (Gambar 4.13). Sifat yang dimilikinya menyebabkan besi cor ini lebih aplikatif untuk suku cadang yang mensyaratkan ketahanan aus tinggi.



Gambar 4.13 Mikrostruktur *White Cast Iron*

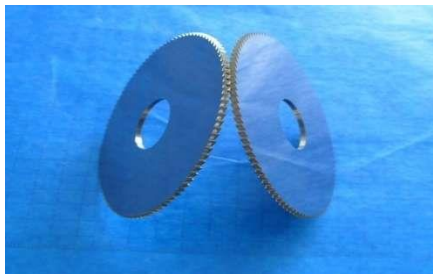
White cast iron memiliki angka kekerasan antara 400 hingga 600 HB tegangan tariknya 270 N/mm² dan masih dapat ditingkatkan melalui penurunan kadar karbon sebesar 2,75 sampai 2,9 % menjadi 450 N/mm². Proses machining untuk besi tuang putih ini hanya dapat dilakukan dengan penggerindaan (*grinding*). Penggunaannya sangat terbatas seperti pada lining mixer, dalam pembuatan komponen mesin gerinda (Gambar 4.14), kelengkapan penghancur, komponen dapur pemanas (*furnance*) dan sebagai roda pemotong (Gambar 4.15).

Besi tuang dapat diberi perlakuan panas (*heat treatment*) untuk menurunkan angka kekerasannya melalui proses pelunakan (*anealing*), yakni dengan pemanasan pada temperatur 850°Celsius untuk menguraikan free-carbon yang terbentuk karena pendinginan cepat setelah penuangan (*pengecoran*).



Gambar 4.14 Mesin gerinda

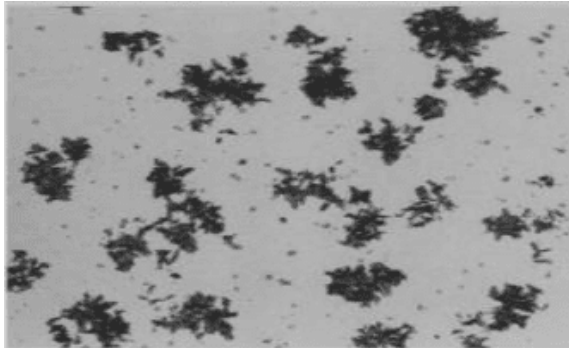
Komposisi White cast iron adalah C=2,5%, Mn=0,4%, Cr=17%, Si=1,3%, Ni+Cu=1,5%, Cr=1%, P=0,15%, S=0,15%, Mo=0,5%. Memiliki densitas $7,7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, modulus elastisitas : 179 GPa, Thermal Expansion (20°C) $9,0 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ dan Electric Resistivity : $8 \times 10^{-7} \text{ Ohm} \times \text{m}$.



Gambar 4.15 Aplikasi Besi Tuang Putih sebagai Roda Pemootong

d. Besi Cor Mampu Tempa (*Malleable Cast Iron*)

Dibuat dari Besi cor Putih dengan melakukan heat treatment (anil) kembali yang tujuannya menguraikan seluruh gumpalan grafit (Fe_3C) akan terurai menjadi (besi+ grafit)/matriks Ferrite, Pearlite dan Martensite. Grafit yang terbentuk tidak serpih atau bulat, namun berbentuk gumpalan grafit yang tidak memiliki tepi-tepi tajam (Gambar 4.16). Mempunyai sifat yang mirip dengan Baja.



Gambar 4.16 Mikrostruktur *Malleable Cast Iron*

Besi cor mampu tempa memiliki kandungan karbon antara 2,2 – 2,9 %, kandungan silikon antara 0,9 – 1,9 %, mangan antara 0,15 – 1,2 %, kandungan fosfor antara 0,02 – 0,2 %, dan sulfur antara 0,02 – 0,2 %. Besi cor ini memiliki keuletan yang tinggi dan mampu tempa yang baik. Umumnya digunakan untuk perkakas dan alat-alat kereta api, serta sebagai Connecting Rod (Gambar 4.17).



Gambar 4.17 Aplikasi Besi Tuang Mampu Tempa
Sebagai Connecting Rod

Secara ringkas kandungan/komposisi besi cor kelabu, besi cor nodular, besi cor putih, dan besi cor mampu tempa dirangkum dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 kandungan/komposisi besi cor

Unsur	Besi kelabu (%)	Besi nodular (%)	Besi putih (%)	Besi mampu tempa (%)
karbon	2,5 - 4,0	3,0 - 4,0	1,8 - 3,6	2,2 - 2,9
Silikon	1,0 - 3,0	1,8 - 2,8	0,5 - 1,9	0,9 - 1,9
Mangan	0,2 - 1,0	0,1 - 1,0	0,25 - 0,8	0,15 - 1,2
Posfor	0,002 - 1,0	0,01 - 0,1	0,06 - 0,2	0,02 - 0,2
Sulfur	0,02 - 0,025	0,01 - 0,003	0,06 - 0,2	0,02 - 0,2

Soal-soal

Apa arti dari:

1. Baja AISI-SAE 4317
2. Arti **G43170**
3. Baja AISI-SAE 1117
4. Arti **G11170**
5. Baja AISI-SAE 1015
6. Baja AISI-SAE 4620
7. Baja AISI-SAE 5417

BAB 5: LOGAM-LOGAM PADUAN

CAPAIAN PEMBELAJARAN

Diharapkan mahasiswa dapat memahami dan mengerti tentang jenis-jenis logam Paduan.

Kurang lebih 20% dari logam yang diolah menjadi produk industri merupakan logam bukan-besi. Indonesia merupakan Negara penghasil bukan besi meliputi: timah putih, tembaga, nikel alumunium. Ciri logam bukan besi ialah: daya tahan terhadap korosi, daya hantar yang baik dan pengubahan bentuk yang mudah. Salah satu sifat logam bukan besi yang menjadi ciri khas adalah berat jenis. Kebanyakan logam bukan besi tahan terhadap korosi (air atau kelembaban). Magnesium tahan terhadap korosi dalam lingkungan udarabiasa akan tetapi dalam air laut ketahanan korosinya di bawah baja biasa. Secara umum dapat dikatakan bahwa makin berat suatu logam bukan besi makin baik daya tahan korosinya. Alumunium merupakan pengecualian, pada permukaan terbentuk lapisan oksida yang melindungi alumunium dari korosi selanjutnya. Disamping itu warna asli logam bukan besi ialah kuning, abu-abu perak menambah nilai estetika logam tersebut. Logam bukan besi umumnya sulit dilas, sedang kemampuan pengecoran, pemesinan dan pembentukan berbeda-beda.

5.1 Logam Paduan Aluminium

Tabel 5.1 menampilkan perbandingan kekuatan spesifik dari beberapa paduan non besi kekuatan tinggi. Aluminium adalah logam kedua terbanyak di bumi.

Tabel 5.1 Kekuatan spesifik paduan non besi

<i>Logam</i>	<i>Kerapatan (Mg.m⁻³)</i>	<i>Kekuatan Tarik (MN.m⁻²)</i>	<i>Kekuatan Tarik Spesifik (m²s⁻²)</i>
Aluminium	2,70	570	211000
Beryllium	1,85	380	205000
Tembaga	8,93	1300	146000
Timbal	11,36	70	6000
Magnesium	1,74	380	218000
Nikel	8,90	1360	153000
Titanium	4,51	1350	299000
Wolfram	19,25	1030	54000
Seng	7,13	520	73000
Besi	7,87	2070	263000

Densitas aluminium mempunyai kerapatan 2,70 Mg/m³ atau sepertiga kerapatan baja, dan modulus elastisitas sebesar 70 GN/m². Paduan aluminium mempunyai sifat tarik yang rendah bila dibandingkan dengan baja, kekuatan spesifiknya sangat baik. Aluminium sering digunakan ketika berat merupakan faktor penting, seperti di pesawat terbang dan otomotif. Tabel 5.2 membandingkan kekuatan aluminium dianil murni dengan paduan aluminium yang diperkuat dengan berbagai teknik. Paduan aluminium bisa mempunyai kekuatan 30 kali lebih besar dari aluminium murni.

Tabel 5.2 Efek mekanisme penguatan pada aluminium dan paduan aluminium

<i>Material</i>	<i>Kekuatan tarik (MN.m⁻²)</i>	<i>Kekuatan luluh (MN.m⁻²)</i>	<i>% elongasi</i>	<i>Kekuatan luluh(paduan)</i>
				<i>Kekuatan luluh(murni)</i>
Al murni (99,999% Al)	45	17	60	
Al murni komersial (99% Al)	90	35	45	2,0
Paduan Al diperkuat larutan-jenuh (Al, 1,2% Mn)	110	41	35	2,4
Al diperkuat 75% pengerjaan dingin (99% l)	165	152	15	8,8
Paduan Al diperkuat dispersi (Al, 5% Mg)	290	152	35	8,8
Paduan Al diperkeras penuaan (aging) (Al, 5,6% Zn, 2,5% Mg)	572	503	11	29,2

Aplikasi kapal aluminium sebagai kapal patroli dipakai untuk meningkatkan pengamanan konservasi pantai timur dan hutan mangrove dari penjarahan, sekaligus mengamankan konservasi pesisir pantai timur. Panjang kapal 4,5 meter menggunakan bahan dari *marine aluminum* bersertifikat H 1165083 dengan tebal 3 mm. Spesifikasinya: panjang 4,5 meter, lebar 1,8 meter, tinggi 0,8 meter, sarat 0,2 – 0,3 meter, berat min 320 kg, dengan mesin motor berkekuatan 40 HP (4 tak) merek Suzuki *Type DF 40/50 Elektronik Fuel injection*, kecepatan 12 – 15 knots. Kelebihan kapal patroli ini dalam melakukan tugasnya dapat memasuki sungai-sungai kecil yang menjorok di hutan mangrove. Bila menggunakan kapal karet dapat beresiko bocor terkena ranting kayu tajam. Kelebihan lainnya dengan *full body* aluminium memiliki ketahanan karat dan lebih gesit. Kapal ini berkapasitas 4 – 6 orang dengan kecepatan 30 km/jam ([Portal Nasional](#), 2011).

Paduan aluminium diberi tanda dengan sistem penomoran seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 5.3. Nomor pertama menunjukkan unsur pepadu utama, dan nomor selanjutnya mengacu kepada komposisi spesifik paduan. Sistem penomoran IADS ini (*International Alloy Designation System*) telah banyak diadopsi oleh berbagai negara.

Derajat penguatan diberikan oleh penandaan temper T atau H, tergantung apakah paduan di beri perlakuan panas atau pengerasan regangan (Tabel 5.4). Penandaan lainnya adalah apakah paduan dianil (O), perlakuan larutan (W) atau digunakan seperti kondisi pabrikasi (F). Angka yang mengikuti T atau H menunjukkan jumlah pengerasan regangan, jenis perlakuan panas, atau aspek khusus lainnya pada pemrosesan paduan. Paduan yang umum dan sifat-sifatnya ditunjukkan oleh Tabel 5.5.

Tabel 5.3 Sistem Penandaan IADS (International Alloy Designation System) untuk paduan aluminium.

Paduan Tempa :		
1xxx	Al murni komersial (>99% Al)	Tidak bisa di <i>aging</i>
2xxx	Al-Cu dan Al-Cu-Li	Bisa di <i>aging</i>
3xxx	Al-Mn	Tidak bisa di <i>aging</i>
4xxx	Al-Si dan Al-Mg-Si	Bisa di <i>aging</i> jika mengandung Mg
5xxx	Al-Mg	Tidak bisa di <i>aging</i>
6xxx	Al-Mg-Si	Bisa di <i>aging</i>
7xxx	Al-Mg-Zn	Bisa di <i>aging</i>
8xxx	Al-Li, Sn, Zr, B, Fe atau Cr	Sebagian besar bisa di <i>aging</i>
Paduan Cor :		
1xx	Al murni komersial	Tidak bisa di <i>aging</i>
2xx	Al-Cu	Bisa di <i>aging</i>
3xx	Al-Si-Cu atau Al-Mg-Si	Beberapa bisa di <i>aging</i>
4xx	Al-Si	Tidak bisa di <i>aging</i>
5xx	Al-Mg	Tidak bisa di <i>aging</i>
7xx	Al-Mg-Zn	Bisa di <i>aging</i>
8xx	Al-Sn	Bisa di <i>aging</i>

Tabel 5.3 Penandaan temper paduan aluminium

F	Sebagaimana pabrikasi (pengerjaan panas, tempa, cor dsb.
O	Dianil (pada kondisi paling lunak yang mungkin)
H	Pengerjaan dingin
	H1x – hanya pengerjaan dingin. (x merupakan jumlah pengerjaan dingin dan penguatan
	H12 – pengerjaan dingin yang memberikan kekuatan tarik ditengah-tengah antara temper O dan H14.
	H14 - pengerjaan dingin yang memberikan kekuatan tarik ditengah-tengah antara temper O dan H18.
	H16 - pengerjaan dingin yang memberikan kekuatan tarik ditengah-tengah antara temper H14 dan H18.
	H18 – pengerjaan dingin yang memberikan kira-kira 75% reduksi.
	H19 – pengerjaan dingin yang memberikan kekuatan tarik minimal 15 MN.m-2 lebih besar dari yang diperoleh oleh temper H18.
	H2x – pengerjaan dingin dan sebagian dianil.
	H3x – pengerjaan dingin dan distabilkan pada temperatur rendah untruk mencegah pengerasan penuaan (<i>aging</i>) pada struktur.
W	Perlakuan larutan

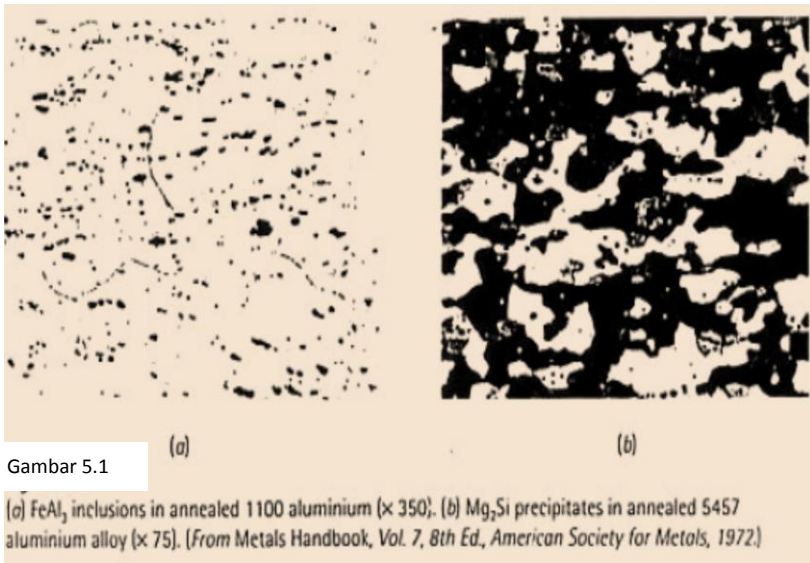
- T Pengerasan penuaan
- T1 – didinginkan dari suhu pabrikasi dan *diaging* secara alami
- T2 – didinginkan dari suhu pabrikasi, pengerjaan dingin dan *diaging* secara alami
- T3 – perlakuan larutan, pengerjaan dingin, dan *diaging* secara alami
- T4 - perlakuan larutan, dan *diaging* secara alami
- T5 – didinginkan dari suhu pabrikasi dan *diaging* secara artifisial.
- T6 - perlakuan larutan, dan *diaging* secara artifisial.
- T7 - perlakuan larutan dan distabilkan dengan *overaging*.
- T8 - perlakuan larutan, pengerjaan dingin, dan *diaging* secara artifisial.
- T9 - perlakuan larutan, *diaging* secara artifisial, dan pengerjaan dingin.
- T10 – didinginkan dari suhu pabrikasi, pengerjaan dingin dan *diaging* secara artifisial.

Tabel 5.5 Sifat-sifat umum paduan aluminium

Paduan		Kekuatan Tarik (MN.m ⁻²)	Kekuatan Luluh (MN.m ⁻²)	% Elongasi	Aplikasi
Paduan tempa nonheat-treatable					
1100-O	>99% Al	90	35	40	} Komponen listrik, foil Proses makanan
1100-H18		165	150	10	
3004-O	1,2% Mn-1,0% Mg	180	70	25	} Kaleng minuman, penggunaan arsitek
3004-H18		285	250	9	
4043-O	5,2% Si	145	70	22	} Logam pengisi las
4043-H18		285	270	1	
5182-O	4,5% Mg	290	130	25	} Tutup kaleng minuman Komponen kapal
5182-H19		420	395	4	
Paduan tempa heat-treatable					
2024-T4	4,4% Cu	470	325	20	Roda truk
2090-T6	2,4% Li-2,7% Cu	550	517	6	Kulit pesawat udara
4032-T6	12% Si-1% Mg	380	30	9	Piston
6061-T6	1% Mg-0,6% Si	310	275	15	Cano, gerbon kereta api
7075-T6	5,6% Zn-2,5% Mg	570	505	11	Rangka pesawat udara
Paduan cor					
201-T6	4,5% Cu	485	435	7	Rumah transmisi
319-F	6% Si-3,5% Cu	185	125	2	Pengecoran umum
356-T6	7% Si-0,3% Mg	230	165	3	Fitting pesawat udara
380-F	8,5% Si-3,5% Cu	315	160	3	Rumah motor
390-F	17% Si-4,5% Cu	285	240	1	Mesin otomotif
443-F	5,2% Si (cor pasir)	130	55	8	Peralatan penanganan
	mould permanen	160	60	10	makanan, fitting kapal
	die cast	230	110	9	

5.1.2 Paduan Tempa Aluminium

Paduan tempa 1xxx, 3xxx, 5xxx dan sebagian besar 4xxx tidak bisa diberi perlakuan panas. Paduan 1xxx dan 3xxx adalah paduan fasa tunggal, kecuali ada sejumlah kecil inklusi atau senyawa antar logam (Gambar 5.1).

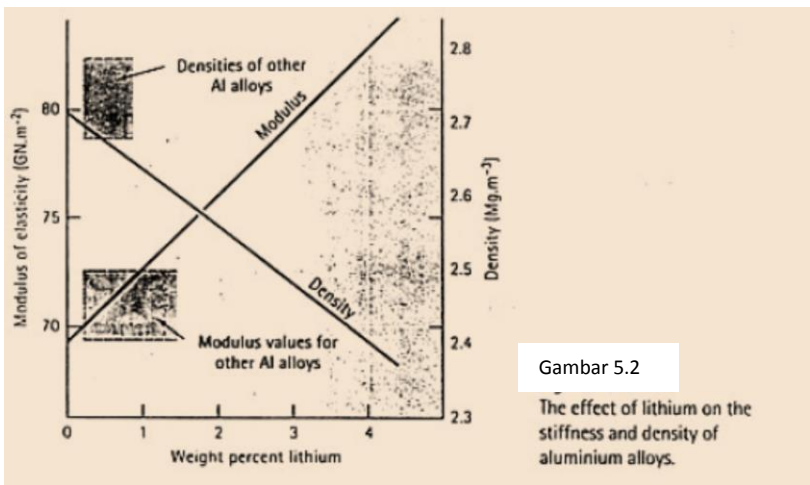


5.1.3 Paduan Cor Aluminium

Banyak paduan cor aluminium yang ditunjukkan oleh tabel 5.5 mengandung cukup silikon untuk menyebabkan reaksi eutektik, sehingga membuat paduan mempunyai titik leleh rendah, flu 92 baik, dan kemampuan cor yang baik. Fluiditas adalah kemampuan logam cair untuk mengalir melalui cetakan tanpa pembekuan lebih awal, dan kemampuan cor adalah berhubungan dengan kemudahan dimana benda cor yang baik bisa dibuat dari paduan.

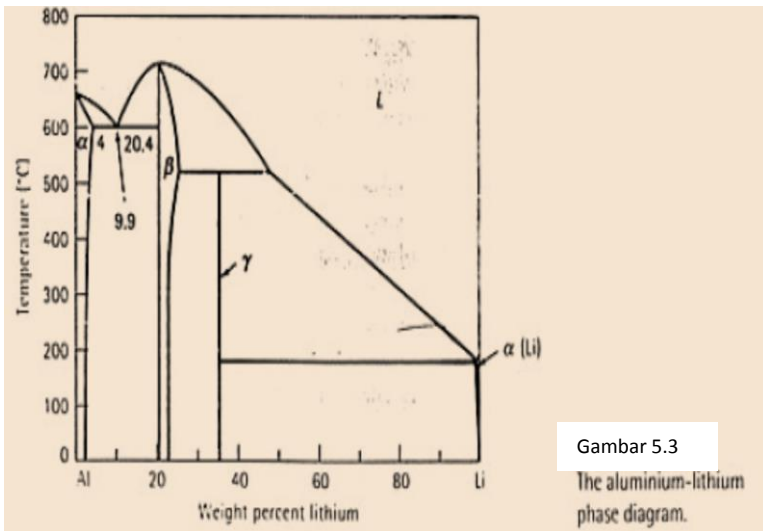
Sejumlah peningkatan terhadap paduan aluminium konvensional dan metode pabrikan telah meningkatkan kegunaan logam ini. Paduan yang mengandung litium telah dibuat, khususnya untuk industri pesawat udara. Litium mempunyai kerapatan 0,534

Mg/m³, sehingga kerapatan paduan Al-Li 10% lebih kecil dari paduan aluminium konvensional (Gambar 5.2). Modulus elastisitas meningkat, dan kekuatan bisa sama atau melebihi paduan konvensional (lihat paduan 2090 pada Tabel 5.5). Kerapatan yang rendah membuat kekuatan spesifik sangat bagus sekali dan peningkatan kekakuan spesifik lebih besar sehingga membuat paduan ini sangat disukai dalam penggunaan struktur pesawat udara. Kekuatan tinggi paduan Al-Li adalah akibat pengersan penuaan (Gambar 5.3). Paduan yang mengandung sampai 2,5% Li bisa diberi perlakuan panas dengan metode konvensional. Penambahan Li (hingga 4%) bisa dilakukan dengan proses pembekuan cepat, yang akan menurunkan berat paduan dan menaikkan kekuatan.



Gambar 5.2

The effect of lithium on the stiffness and density of aluminium alloys.



5.2 Logam Paduan Magnesium

Magnesium adalah logam yang kuat, putih keperakan (Gambar 5.4), ringan (satu pertiga lebih ringan daripada aluminium) dan akan menjadi kusam jika dibiarkan pada udara. Dalam bentuk serbuk, logam ini sangat reaktif dan bisa terbakar dengan nyala putih apabila udaranya lembab. Apabila pita logam magnesium dibakar lalu direndam dalam air, maka akan tetap terbakar hingga pita magnesiumnya habis. Magnesium ketika dibakar dalam udara, menghasilkan cahaya putih yang terang. Ini digunakan pada zaman awal fotografi sebagai sumber pencahayaan (serbuk kilat).

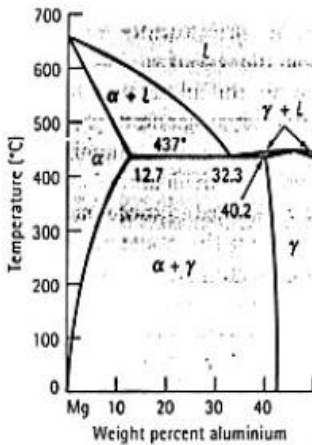
Walaupun paduan magnesium tidak sekuat paduan aluminium, kekuatan spesifiknya hampir sama. Oleh sebab itu paduan magnesium digunakan diaplikasi pesawat udara, mesin kecepatan tinggi, peralatan transportasi dan peralatan penanganan material.



Gambar 5.4 Logam magnesium

Magnesium mempunyai modulus elastisitas rendah (45 GN/m^2) dan ketahanan fatigue, creep dan aus yang rendah. Magnesium juga berbahaya selama pekerjaan pengecoran atau pemesinan, karena bisa bereaksi dengan mudah dengan oksigen dan terbakar. Respon magnesium terhadap mekanisme kekuatan juga rendah. Magnesium murni mempunyai struktur HCP dan keuletannya lebih rendah dari aluminium. Namun paduan magnesium mempunyai keuletan karena unsur pepadu meningkatkan jumlah bidang slip aktif. Beberapa deformasi dan pengerasan regangan bisa dilakukan pada temperatur ruang, dan paduan bisa dideformasi pada suhu tinggi. Pengerasan regangan menghasilkan pengaruh yang relatif kecil pada magnesium murni karena koefisien pengerasan regangan yang rendah.

Paduan yang mengandung hingga 9% Li mempunyai berat yang sangat ringan. Sifat-sifat paduan magnesium ditabulasikan di Tabel 5.6. Sistem penomoran dibuat oleh *American Society for Testing Materials* (ASTM) dan telah diadopsi oleh banyak negara.



Gambar 5.5
The magnesium-aluminium phase diagram.

Tabel 5.6 Sifat-sifat paduan magnesium

Paduan (Penomorasi ASTM)	Komposisi	Kekuatan Tarik (MN.m ⁻²)	Kekuatan Luluh (MN.m ⁻²)	% Elongasi
Mg Murni:				
Dianil		160	90	3-15
Pengerjaan dingin		180	115	2-10
Paduan Cor:				
AM100-T6	10% Al-0,1% Mn	275	150	1
AZ81A-T4	7,6% Al-0,7% Zn	275	85	15
ZK61A-T6	6% Zn-0,7% Zr	310	195	10
Paduan Tempa:				
AZ80A-T5	8,5% Al-0,5% Zn	380	25	7
ZK40A-T5	4% Zn-0,45% Zr	275	255	4
HK31A-H24	3% Th-0,6% Zr	260	205	8

Paduan magnesium lanjut termasuk diantaranya paduan dengan impuritas rendah dan paduan yang mengandung sejumlah besar (>5%) cerium dan unsur bumi jarang lainnya. Paduan ini membentuk lapisan tipis pelindung MgO yang meningkatkan ketahanan korosi. Proses pembekuan yang cepat akan bisa membuat penyerapan elemen pepadu lebih banyak ke magnesium, sehingga akan meningkatkan tahanan korosi. Peningkatan kekuatan, terutama

pada temperatur tinggi, bisa didapatkan dengan memasukkan partikel keramik atau serat seperti silikon karbida ke dalam logam.

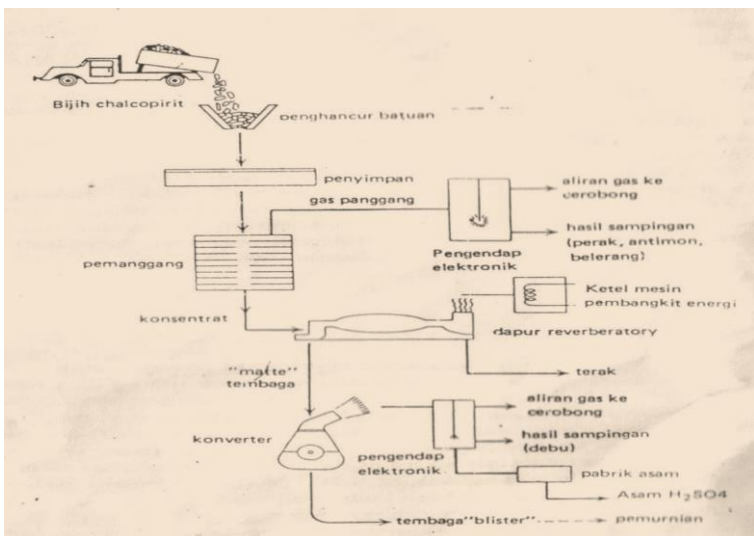
5.3 Logam Paduan Tembaga

Paduan berbasis tembaga lebih berat dari besi. Aplikasi paduan berbasis tembaga antara lain: komponen listrik (seperti kabel), pompa, katup, dan komponen *plumbing*. Paduan tembaga juga tidak seperti logam biasa dimana paduan ini bisa dipilih untuk menghasilkan warna dekoratif yang tepat. Tembaga murni berwarna merah, penambahan seng akan menghasilkan warna kuning, dan penambahan nikel menghasilkan warna perak. Paduan tembaga bisa diperkuat dengan semua mekanisme penguatan yang kita kenal. Pengaruh mekanisme penguatan terhadap sifat mekanik bisa dilihat pada Tabel 5.7.

Tembaga yang mengandung impuritas kurang dari 1% digunakan untuk aplikasi dibidang kelistrikan. Sejumlah kecil cadmium, peral dan Al_2O_3 meningkatkan kekerasan tanpa mempengaruhi konduktivitas dengan berarti. Paduan tembaga fasa tunggal diperkuat dengan pengerjaan dingin. Tembaga FCC mempunyai keuletan yang sangat baik dan koefisien pengerasan regangan yang tinggi. Proses peleburan tembaga ditunjukkan pada Gambar 5.6.

Tabel 5.7 Sifat-sifat paduan tembaga umum yang diperoleh dengan mekanisme penguatan yang berbeda.

Material	Kekuatan Tarik (MN.m ⁻²)	Kekuatan Luluh (Mn.m ⁻²)	% Elongasi	Mekanisme Penguatan
Cu murni, dianil	210	35	60	
Cu murni komersial, Dianil untuk mendapatkan butir kasar	220	70	55	
Cu murni komersial, Dianil untuk mendapatkan butir halus	235	75	55	Ukuran butir
Cu murni komersial, Pengerjaan dingin 70%	395	365	4	Strain hardening
Cu-35%Zn, dianil	325	105	62	Solid solution
Cu-10%Sn, dianil	455	195	68	Solid solution
Cu-35%Zn, penegerjaan dingin	675	435	3	Solid solution + Strain hardening
Cu-2% Be, pengerasan penuaan	1310	1205	4	Age-hardening
Cu-Al di quench dan temper	760	415	5	Martensitic reaction
Perunggu mangan cor	490	195	30	Eutectoid reaction



Gambar 5.6 Proses peleburan tembaga

5.4 Logam Paduan Nikel

Paduan nikel dan cobalt banyak digunakan untuk proteksi karat dan lingkungan temperatur tinggi, karena logam ini mempunyai titik leleh yang tinggi dan kekuatan yang tinggi. Nikel mempunyai struktur kristal FCC dan mempunyai kemampuan pembentukan yang tinggi, cobalt mempunyai struktur FCC diatas 417°C dan struktur HCP pada temperatur ruang. Paduan nikel dan cobalt umum bisa dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Komposisi, sifat dan aplikasi beberapa paduan nikel dan cobalt.

<i>Material</i>	<i>Kekuatan Tarik (MN.m⁻²)</i>	<i>Kekuatan Luluh (Mn.m⁻²)</i>	<i>% Elongasi</i>	<i>Mekanisme Penguatan</i>	<i>Aplikasi</i>
Ni murni (99,9% Ni)	345 655	110 620	45 4	Dianil Pengerjaan dingin	Corrosion resistance Corrosion resistance
Ni-Cu alloy: Monel 400 (Ni-31,5%Cu)	540	270	37	Dianil	Katup, pompa, heat Exchanger
Monel K-500 (Ni-29,5% Cu-2,7%Al-0,6%Ti)	1030	760	30	di-aging	Poros, pegas, Impeller
Ni Superalloy Inconel 600 (Ni-15,5% Cr-8%Fe)	620	200	49	karbida	Peralatan perlakuan Panas

Nikel dan paduannya mempunyai ketahanan korosi yang baik dan karakteristik pembentukan yang sangat baik. Jika tembaga ditambahkan kedalam nikel, kekuatan maksimum yang diperoleh mendekati 60% kekuatan Ni. Sejumlah paduan, disebut monel, dengan komposisi sekitar angka tersebut karena kekuatan dan ketahanan korosinya digunakan di air asin dan pada temperatur tinggi. Beberapa monel mengandung aluminium dan titanium. Paduan-paduan ini menunjukkan respon penguatan dengan presipitasi austenit, dimana Ni₃Al atau Ni₃Ti berpresipitasi yang akan mengandakan kekuatan tariknya.

Beberapa sifat khusus bisa didapatkan pada paduan nikel. Nikel bisa digunakan untuk menghasilkan magnet permanen karena sifat ferromagnetiknya. Paduan Ni-36% Fe (Invar) menunjukkan gejala tanpa ekspansi selama pemanasan; efek ini digunakan untuk menghasilkan material komposit bimetal.

5.6 Logam Paduan Titanium

Titanium mempunyai sifat yang baik pada temperatur tinggi, tahan korosi, dan kekuatan spesifik tinggi. Kekuatannya mencapai 1400 MN/m^2 , dan kerapatan $4,505 \text{ Mg/m}^3$. Disamping itu, lapisan pelindung TiO_2 memberikan kekuatan yang baik terhadap korosi dan kontaminasi dibawah suhu 535°C . Sifat tahan korosi yang baik dimanfaatkan untuk aplikasi di peralatan pemrosesan kimia, komponen kapal, dan implan biomedical. Juga digunakan untuk bahan pesawat udara seperti rangka pesawat dan komponen mesin jet. Jika dikombinasikan dengan niobium, dihasilkan senyawa superconductive intermetallic. Titanium juga sering dikombinasikan dengan nikel atau aluminium.

Titanium Murni Komersial tanpa paduan digunakan dalam hal ketahanan korosinya. Impuritas, seperti oksigen meningkatkan kekuatan titanium tetapi menurunkan ketahanan korosinya. Penggunaannya meliputi: heat exchanger, pipa, reaktor, pompa dan katup untuk industri kimia dan petrokimia.

5.6.1 Paduan Titanium Alpha.

Paduan umum paduan alpha mengandung 5% Al dan 2,5% Sn. Paduan alpha yang dianil ke temperatur tinggi di daerah β , pendinginan cepat akan menghasilkan struktur butir α Widmanstatten dan menghasilkan ketahanan yang baik terhadap fatigue. Pendinginan di dapur akan menghasilkan struktur α seperti pelat yang memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap creep.

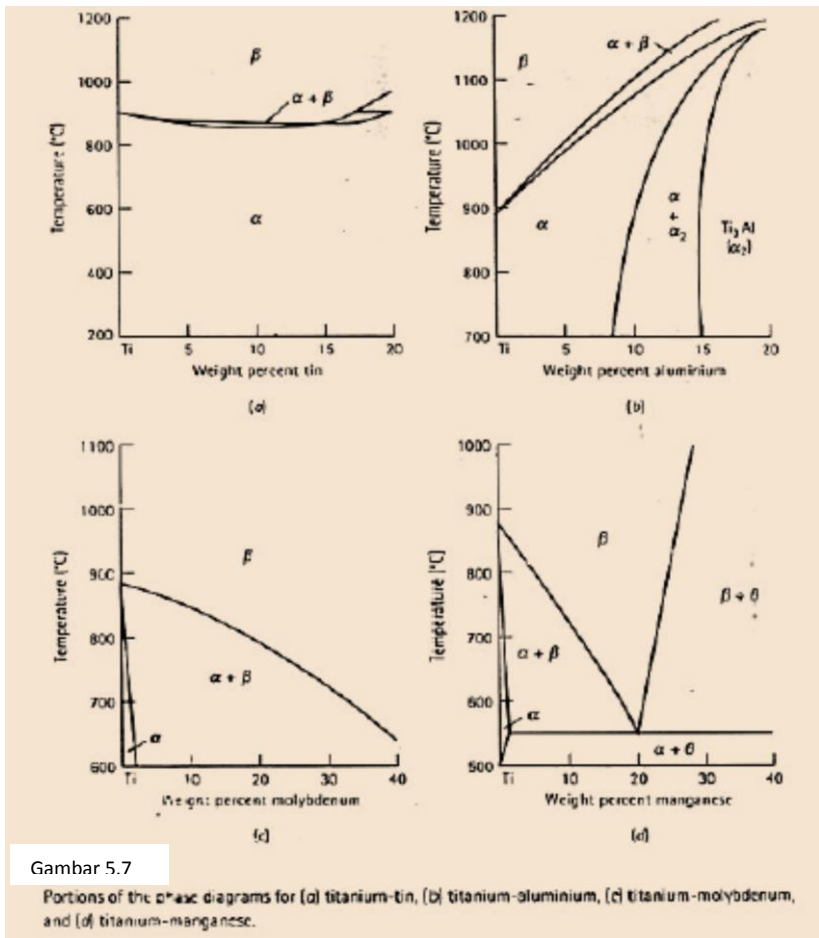
5.6.2 Paduan Titanium Beta.

Walaupun penambahan sejumlah besar vanadium atau molybdenum akan menghasilkan struktur β secara keseluruhan pada temperatur ruang, tidak ada paduan beta yang memadu pada kondisi ini. Namun

sebenarnya paduan ini kaya akan stabilizer β , sehingga pendinginan cepat akan menghasilkan struktur meta stabil yang terdiri semuanya dari β . Penguatan diperoleh dengan sejumlah besar elemen pepadu penguatan larutan jenuh dan dengan proses penuaan (aging) struktur β meta stabil yang akan membentuk presipitasi alpha. Aplikasi logam ini antara lain: fastener kekuatan tinggi, beam, dan fitting untuk penggunaan di pesawat antariksa.

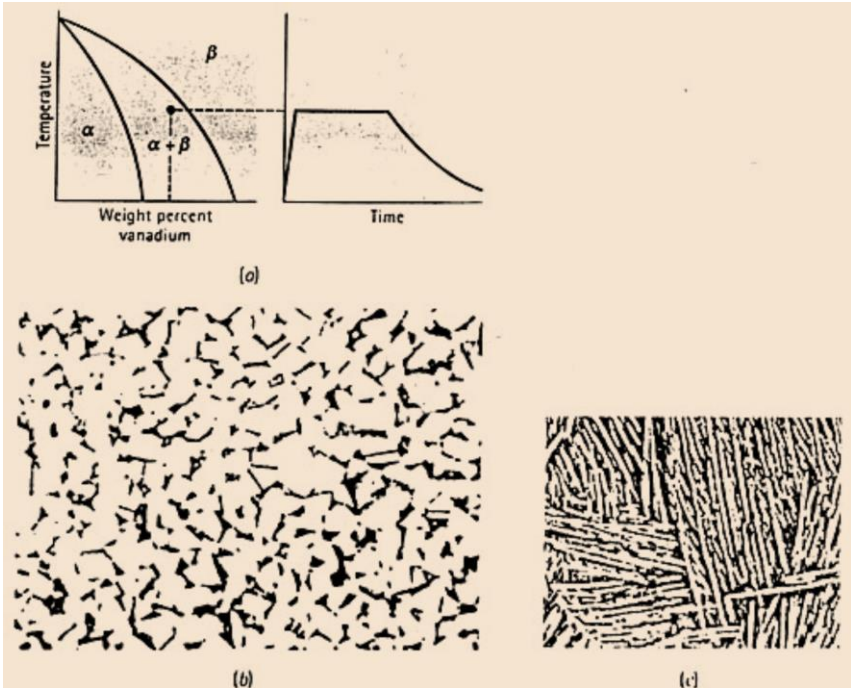
5.6.3 Paduan Titanium Alpha-Beta.

Dengan keseimbangan yang tepat dari stabilizer α dan β , campuran α dan β diperoleh pada temperatur ruang (Gambar 5.7). Ti-6% Al-4% V adalah contohnya. Karena paduan mengandung dua fasa, perlakuan panas bisa digunakan untuk mengontrol struktur mikro dan sifat-sifatnya.



Proses anneal akan memberikan keuletan tinggi, sifat yang seragam dan kekuatan yang baik. Paduan dipanaskan sedikit di bawah garis temperatur β , menghasilkan sejumlah kecil α yang tak berubah dan mencegah pertumbuhan butir (Gambar 5.8). Pendinginan lambat akan menghasilkan butir α equiaxed; dimana struktur equiaxed akan memberikan sifat keuletan yang baik dan kemampu bentukan sehingga sulit bagi retak fatigue untuk terbentuk. Pendinginan cepat akan

menghasilkan fasa alpha berbentuk tenunan keranjang (basketweave) (Gambar 5.8c). Kondisi ini akan menghasilkan laju pertumbuhan retak fatigue yang lambat, ketangguhan patah yang baik dan ketahanan yang baik terhadap creep.



Gambar 5.8

Annealing of an alpha-beta titanium alloy. (a) Annealing is done just below the α - β transus temperature, (b) slow cooling gives equiaxed α grains ($\times 250$), and (c) rapid cooling yields acicular α grains ($\times 2500$). (From Metals Handbook, Vol. 7, 8th Ed., American Society for Metals, 1972.)

SOAL-SOAL

Kabel baja berdiameter 12,5 mm mempunyai kekuatan luluh 310 MN/m². Kerapatan baja kira-kira 7,87 M/m³. Berdasarkan data pada tabel 5, carilah:

- (a) Beban maksimum yang bisa ditahan oleh kabel baja.
- (b) Diameter paduan aluminium-manganese(3004-H18) yang diperlukan untuk menahan beban yang sama dengan baja, dan
- (c) berat kabel baja per meter versus kabel paduan aluminium.

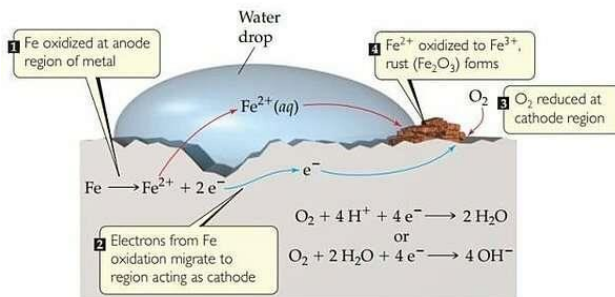
BAB 6: KOROSI

CAPAIAN PEMBELAJARAN

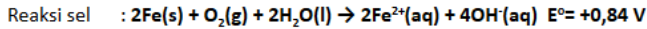
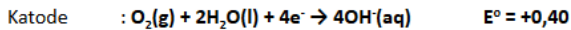
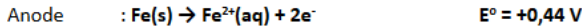
Diharapkan mahasiswa dapat memahami dan mengerti tentang proses Korosi baik jenis- jenis korosi maupun cara pengujiannya.

6.1 Pengertian Korosi

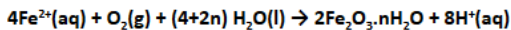
Secara umum, korosi adalah kerusakan benda logam yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan. Proses korosi dapat dijelaskan secara elektrokimia. Misalnya, oksida besi terbentuk selama proses pengkaratan besi (Gambar 6.1). Secara elektrokimia, proses pengkaratan besi adalah peristiwa di mana oksigen di udara mengoksidasi logam-logam besi. Kontak dengan air akan menimbulkan korosi pada besi. Ada anoda dan katoda di besi. (Sumber: <http://schoolbag.info>). Reaksi kimianya pada persamaan (6.1).



Gambar 6.1 Proses terjadinya korosi



Ion Fe^{2+} tersebut kemudian mengalami oksidasi lebih lanjut dengan reaksi:



(6.1)

Berdasarkan nilai potensial reaksinya, besi merupakan logam yang rentan terhadap korosi. Logam lain dengan potensial elektroda lebih besar dari 0,4 V akan sulit terkorosi, karena bila kontak dengan oksigen di udara, potensial akan menghasilkan reaksi $E_o < 0$ (negatif). Logam perak, platina dan emas memiliki potensial elektroda lebih besar dari 0,4 V, sehingga sulit terkorosi.

6.2 Faktor Penyebab Korosi/Yang Mempercepat Korosi

Beberapa kondisi/keadaan yang menyebabkan mudahnya terjadinya korosi.

1. Air dan kelembaban udara

Dilihat dari reaksi yang terjadi pada proses korosi, air merupakan salah satu faktor penting untuk berlangsungnya korosi. Udara lembab yang banyak mengandung uap air akan mempercepat berlangsungnya proses korosi.

2. Elektrolit

Elektrolit (asam atau garam) merupakan media yang baik untuk terjadinya transfer muatan. Hal ini mengakibatkan elektron lebih mudah untuk diikat oleh oksigen di udara. Air hujan banyak mengandung asam, sedangkan air laut banyak mengandung garam. Oleh karena itu air hujan dan air laut merupakan penyebab korosi yang utama.

3. Permukaan logam yang tidak rata

Permukaan logam yang tidak rata memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang akhirnya akan berperan sebagai anode dan katode. Permukaan logam yang licin dan bersih akan menyebabkan korosi sulit terjadi, sebab kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anode dan katode sulit terbentuk.

4. Terbentuknya sel elektrokimia

Jika dua logam yang berbeda potensial bersinggungan pada lingkungan berair atau lembab, dapat terbentuk sel elektrokimia secara langsung. Logam yang potensialnya lebih rendah akan segera melepaskan elektron ketika bersentuhan dengan logam yang potensialnya lebih tinggi, serta akan mengalami oksidasi oleh oksigen dari udara. Hal tersebut mengakibatkan korosi lebih cepat terjadi pada logam yang potensialnya rendah, sedangkan logam yang potensialnya tinggi justru lebih awet. Sebagai contoh, paku keling yang terbuat dari tembaga untuk menyambung besi akan menyebabkan besi di sekitar paku keling tersebut berkarat lebih cepat.

6.3 Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan mengetahui berapa besar korosi (*Corrosion Penetration Rate/CPR*). Metode yang digunakan dalam pengukuran laju korosi adalah menggunakan **Metode Kehilangan Berat**. Metode ini digunakan sebagai ukuran ketahanan korosi, dapat dinyatakan dengan *mil per year* (mpy). Bila diketahui kehilangan berat selama proses pengujian material berat jenis material uji (*W*) dan waktu pengujian (*T*), maka laju penembusan korosi (*CPR*) dapat dihitung dari persamaan di bawah ini (Kenneth.R, et.al,1991):

$$CPR = \frac{KW}{ADT} \quad (6.2)$$

Keterangan:

CPR = laju (penembusan) korosi (*Corrosion Penetration Rate*) atau berkurangnya ketebalan material tiap satuan waktu satuan: *mil per year* (mpy) atau *millimeter per*

year (mm/yr)

(1 mil = 10^{-3} inchi)

W = kehilangan berat selama pengujian (mg)

K = konstanta yang besarnya bergantung pada satuan yang dipakai. Memakai: K = 534 jika menggunakan satuan mpy (dengan satuan A = luas permukaan = inchi²) K = 87,6 jika menggunakan mm/yr (dengan satuan A = cm²)

D = ρ = berat jenis (gr/cm³)

T = waktu (jam)

Bila nilai CPR kurang dari 20 mpy atau 0,5 mm/yr, maka nilai tersebut masih dapat diterima.

6.4 Cara Mencegah Korosi

Hal-hal yang dilakukan untuk mencegah terjadinya korosi adalah:

1. Mengontrol atmosfer agar tidak lembab dan banyak oksigen, misalnya dengan membuat lingkungan udara bebas dari oksigen dengan mengalirkan gas CO₂.
2. Mencegah logam bersinggungan dengan oksigen di udara dan juga air. Pencegahan ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

a. Mengecatnya

Lapisan cat mencegah kontak langsung besi dengan oksigen dan air. Hanya jika cat tergores atau terkelupas, maka korosi mulai terjadi dan dapat menyebar di bawah cat yang masih utuh. Contoh yang menggunakan teknik ini adalah pada kapal, jembatan dan mobil.

b. Memberi oli atau minyak

Lapisan oli bisa mencegah kontak langsung besi dengan oksigen dan air dan harus dioleskan secara berkala. Contoh yang menggunakan teknik ini adalah pada bagian bergerak dari mesin, seperti mesin mobil.

c. Memberi lapisan plastik

Lapisan plastik mencegah kontak langsung besi dengan oksigen dan air. Hanya jika plastik terkelupas, korosi mulai terjadi. Contoh yang

menggunakan teknik ini adalah pada barang-barang dapur, seperti rak pengering.

d. Galvanisasi

Galvanisasi yaitu melapisi logam dengan seng (contohnya atap seng). Lapisan seng (Zn) dapat mencegah kontak langsung logam dengan oksigen dan air. Disamping itu, Zn yang teroksidasi, menjadi $Zn(OH)_2$ dapat bereaksi lebih lanjut dengan CO_2 di udara membentuk lapisan oksida $Zn(OH)_2 \cdot xZnCO_3$ yang sangat kuat. Apabila lapisan Zn tergores, Zn masih dapat melindungi besi karena Zn ($E_o = -0,76$ V) lebih mudah teroksidasi dibanding Fe ($E_o = -0,44$ V). Contoh cara mencegah korosi dengan teknik ini adalah pada besi penopang untuk konstruksi bangunan dan jembatan.

e. Elektroplating

Elektroplating adalah pelapisan logam dengan logam lain menggunakan metode elektrolisis. Sebagai contoh, pelapisan dengan logam nikel (veernikel), krom (contohnya: kran air), timah (misalnya kaleng makanan), dan timbal (contohnya pipa air minum).

f. Pelapisan krom/Cr

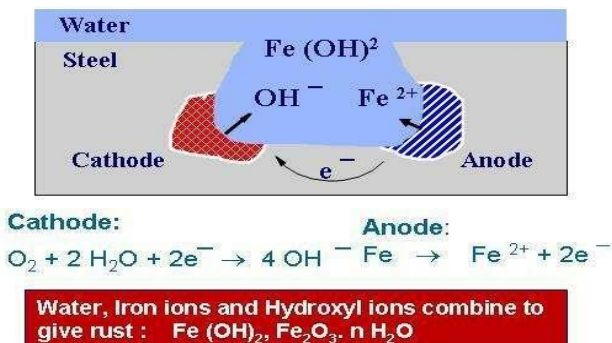
Lapisan Cr mencegah kontak langsung logam dengan oksigen dan air. Di samping itu, Cr teroksidasi membentuk lapisan oksida Cr_2O_3 yang sangat kuat sehingga dapat melindungi logam Fe di bawahnya. Apabila tergores, lapisan Cr masih dapat melindungi besi karena Cr ($E_o = -0,74$ V) lebih mudah teroksidasi dibanding Fe ($E_o = -0,44$ V).

g. Pelapisan timah/Sn

Lapisan Sn dapat mencegah kontak langsung logam dengan oksigen dan air. Akan tetapi, Sn ($E_o = -0,14$ V) kurang reaktif dibanding Fe ($E_o = -0,44$ V). Jadi, apabila lapisan Sn tergores, maka besi di bawahnya mulai korosi.

h. Sherardizing

Sherardizing adalah mereaksikan logam dengan asam fosfat sehingga permukaan logam tertutup dengan fosfat ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$). Sebagai contoh, badan mobil. Penjelasan proses elektro kimia dari korosi di satu logam sejenis (Gambar 6.2) sebagai berikut:



Gambar 6.2 Proses elektro kimia dari korosi di satu logam

1. Secara alamiah sifat besi menghantarkan arus listrik, menyediakan metallic pathway, dan menghasilkan area-area yang anodic (anoda) dan cathodic (katoda), karena adanya perbedaan potensial listrik yang tidak uniform di besi tersebut.
2. Ketika besi terendam atau bersentuhan dengan elektrolit seperti air laut atau embun, di area anode, Molekul Besi (Fe) akan mulai bereaksi dengan melepaskan elektronnya sehingga terbentuk ion Fe^{++} .
3. Di katoda, saat elektron lepas di dalam elektrolit, kemudian terurai menjadi ion positif dan negatif, membentuk $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{O}^-$.
4. Secara simultan elektron bereaksi dengan hidrogen ion untuk membentuk atom-atom hidrogen, kemudian secara diatomik membentuk gas hidrogen OH^- .
5. Karena sebuah siklus maka ion Hydroxyl OH^- kembali ke anode melalui elektrolit membawa elektron-elektron.

6. Ion besi bermuatan positif Fe^{++} kemudian kembalinya ion hydroxyl ini untuk bergabung bersama membentuk oxide besi (iron hydroxide – Hydrous iron oxide) yang secara umum disebut juga rust atau karat. Formula sederhananya adalah $Fe^{++} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$. Sehingga dengan ini cukup jelas bahwa korosi selalu terjadi di bagian anoda dan bukan di katoda.

Gambar di atas menunjukkan bahwa material akan larut saat terjadi korosi. Meskipun dalam banyak kasus, material yang terkorosi dapat hilang dengan hilangnya elektrolit, sebagian besar material yang terkorosi akan tetap berada di permukaan logam. Oleh karena itu, proses korosi biasanya dapat kita lihat dari munculnya produk korosi pada permukaan logam. Produk korosi ini juga disebut karat. Karat akan ditemukan saat besi atau baja mengalami korosi. Biasanya karat berwarna coklat-merah menandakan adanya oksida besi Fe_2O_3 .

Perbedaan laju korosi dari baja dan seng pada lingkungan yang berbeda-beda, ditunjukkan pada Tabel 6.1. Lingkungan operasi di laut

Tabel 6.1 Perbedaan laju korosi dari baja dan seng

Mean Corrosion rate, e.g. low-alloyed steel and zinc (microns/year)

Atmosphere	Zinc Coating	Low-alloyed steel
Rural	1 – 2 pm	10 – 60 pm
Town	3– 5pm	30 – 70 pm
Industrial	6 – 10 pm	40 – 160 pm
Marine (coastal)	5 – 9 pm	60 – 230 pm

Dibandingkan dengan lingkungan industri dan lainnya, ini memiliki dampak yang paling buruk. Laju korosi logam. Pertanyaan sederhana, tapi sulit dicari jawabannya. Jika arus korosi yang sebenarnya dapat diukur secara akurat dalam waktu nyata, kita dapat mengetahui dengan baik. Berdasarkan banyak dokumen, rumus Faraday dapat digunakan untuk menentukan prediksi laju korosi material untuk menentukan batas korosi struktur guna menentukan rencana pemeliharannya. Korosi dapat diukur dengan kedalaman erosi (kedalaman erosi), terutama jika korosinya adalah erosi lokal (pitting atau gap) dalam milimeter, atau biasanya dapat dinilai dengan penurunan berat material yang terkorosi, dengan (g/cm^2) sebagai satuan atau rasio (mm/tahun).

SOAL-SOAL

1. Spesimen baja karbon rendah dengan ukuran $0,2 \times 0,1 \times 0,03$ m dipaparkan pada lingkungan industri kimia. Dalam waktu 1 minggu, setelah dilakukan produk korosinya dihilangkan, ternyata berat spesimen berkurang sebanyak 0,0006 kg. Hitunglah laju korosi dari spesimen tersebut
2. Sebutkan faktor-faktor yang berasal dari lingkungan yang dapat mempengaruhi korosi
1. Dengan apakah perlindungan korosi yang paling sempurna dilakukan untuk melindungi logam di penggalan mesin yang berputar ?

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. William D.Callister, 1985, Jr, *Materials Science and Engineering*, John Wiley Sons.
- [2]. Tata Surdia,Shinroku, 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Penerbit PT PradnyaParamita.
- [3]. Ronald F Gibson,1994, *Principles of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill Inc.
- [4]. Robert M.Jomes, 1975, *Mechanics of Composite Materials*, McGraw-Hill Inc.
- [5]. Lawrence H Van Vlack, 1985, *Elements of Materials Science and Engineering*, Addison-Wesley, Publishing Company, USA.
- [6]. Wahid Suherman, 1987, *Pengetahuan Bahan*, Jurusan T. Mesin ITS.
- [7]. RE Smallman,RJ Bishop,1999, *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*, Reed Educational and Professional Publishing Ltd.New York.

Wikipedia. Mei Tahun 2009

http://en.wikipedia.org/wiki/Destructive_testing

Afnany Information

<http://faisolafnan.blogspot.com/2013/04/laporan-uji-kekerasan-bab-i-pondahuluan.html>

Macam-Macam Pengujian Bahan

<http://sekolah007.blogspot.com/2013/04/macam-macam-pengujian-bahan.html>

Mechanical Engginering Kalimantan

<http://himawantriraharjo.blogspot.com/2013/03/pengujian-dengan-merusak-dan-tidak.html>



Dr. Prantasi Harmi Tjahjanti, S.Si., MT.

Penulis lahir di kota yang terkenal brem dan sambal pecel, Madiun, 15 November 1968. Setelah lulus S1 dari Fisika MIPA Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya (ITS), sempat bekerja di Perusahaan Swasta di Surabaya, sebagai *Technical Service* merangkap *Marketing*. Selanjutnya tahun 1994 menjadi dosen pegawai negeri di Universitas Jember (Unej). Dilanjutkan studi S2 mengambil *Materials Science and Engineering* di Universitas Indonesia (UI) Jakarta. Tahun 2003 pindah dari Unej sebagai Dosen LLDIKTI (Kopertis Wilayah VII Jawa Timur) dpk Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Program S3 ditempuh di Fakultas Teknologi Kelautan bidang produksi dan material kapal di ITS Surabaya. Bidang ahli penulis adalah material khususnya material komposit. Penulis juga merupakan *reviewer* internal Kemenristekdikti untuk program penelitian serta Tim Pengendali Mutu untuk Badan Penelitian dan Pengembangan Pemerintah Provinsi Jawa Timur.

BIODATA PENULIS



A'rasy Fahrudin, S.T, M.T.

Lahir di kota Surabaya tepatnya pada 27 Januari 1986. Lulus S1 dari Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan menyelesaikan studi S2 mengambil Konversi Energi Teknik Mesin di Universitas Indonesia (UI) Jakarta. Saat ini lagi menempuh Program S3 di Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.