

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Konversi Energi

Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), kata konversi didefinisikan sebagai perubahan dari satu bentuk (rupa, dan sebagainya) ke bentuk (rupa, dan sebagainya) yang lain, sedangkan energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja (misalnya untuk energi listrik dan mekanika) atau daya (kekuatan) yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan, misalnya dapat merupakan bagian suatu bahan atau tidak terikat pada bahan (seperti sinar matahari).

Berdasarkan definisi diatas maka dapat didefinisikan bahwasanya konversi energi adalah perubahan bentuk energi dari yang satu menjadi energi lain. Sesuai hukum kekekalan energy mekanik menyatakan bahwa “Energi tidak diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat diubah menjadi bentuk energi lain”.

Secara sistematis kekekalan energi mekanik dirumuskan sebagai berikut:

$$\Sigma EM_1 = \Sigma EM_2 \dots\dots\dots (2.1 \text{ Lit. 1 hal 60})^1$$

$$Ek_1 + Ep_1 = Ek_2 + Ep_2$$

Keterangan :

ΣEm_1 : Total energi mekanik yang masuk (Joule)

ΣEm_2 : Total energi mekanik keluar (Joule)

Ek_1 : Energi kinetik awal (Joule)

Ek_2 : Energi kinetik akhir (Joule)

Ep_1 : Energi potensial awal (Joule)

Ep_2 : Energi potensial akhir (Joule)

2.2 Macam-Macam Konversi Energi

1. Konversi Energi Listrik Menjadi Energi Kalor

Energi dapat diubah menjadi satu bentuk ke yang lain. Energi listrik dapat diubah menjadi energi panas atau kalor dalam hal ini dengan memanfaatkan lilitan

¹ Arnoldi, D. (2016). Fisika Terapan. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.

kumparan tembaga atau *coil* yang dimana ketika dialirkan listrik dapat berubah menjadi panas. Seperti strika baju, solder listrik dan sebagainya.

Adapun rumus perubahan energi listrik ke kalor dapat dituliskan sebagai berikut :

$$W = Q$$

Untuk menghitung kalor digunakan persamaan berikut :

$$Q = P.t \dots\dots\dots(2.2 \text{ Lit 1 hal 62})^2$$

Keterangan :

Q = Kalor (Joule)

P = Daya (Watt)

t = Waktu (second)

2. Konversi Energi Listrik Menjadi Energi Gerak / Kinetik

Energi listrik dapat diubah menjadi energi gerak (energi kinetik) seperti halnya motor listrik yang dapat berputar dari hasil konversi energi listrik yang dihasilkan, contoh lain dari bentuk konversi energi listrik ke energi gerak yakni kipas angin listrik.

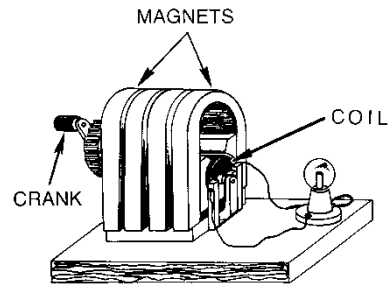
3. Konversi Energi Listrik Menjadi Energi Bunyi

Energi listrik pula dapat diubah menjadi energi bunyi dengan cara memanfaatkan medium udara sebagai media perambatan arus listrik yang kemudian dikonversi menjadi frekuensi sinyal, dari sinyal itulah nantinya arus listrik akan diubah menjadi energi bunyi, contoh peralatan sehari-hari yang kita temui yakni telpon, radio dan lain sebagainya.

2.3 Pengertian Induksi Magnetik

Induksi Magnetik adalah kuat medan magnet akibat adanya arus listrik yang mengalir dalam konduktor.

² Arnoldi, D. (2016). Fisika Terapan. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.



Gambar 2.1 Ilustrasi Konduksi Magnetik
(Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Induksi_magnet)

Sebuah lingkaran atau kumparan dari bahan konduktif seperti tembaga yang diberi arus listrik adalah struktur yang sangat efisien untuk menghasilkan medan magnet.

2.4 Macam-Macam Induksi Magnetik

Induksi magnetik memiliki beberapa jenis diantaranya induksi sendiri (Induktansi sendiri) dan induksi bersama (Induktansi bersama).

2.4.1 Induksi Sendiri (Induktansi Sendiri)

Induksi sendiri / induktansi sendiri adalah sifat dari rangkaian elektronika yang menyebabkan timbulnya potensial listrik secara proporsional terhadap arus yang mengalir pada rangkaian tersebut.

Induktansi diri dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$L = \mu_0 \frac{A.N^2}{l} \dots\dots\dots(2.3 \text{ Lit 2 hal 9})^3$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Dimana :

L = Induktansi Diri (H)

μ_0 = Permeabilitas Udara ($4 \pi \times 10^{-7}$ Wb/Am)

A = Luas Penampang Solenoid (m²)

D = Diameter lilitan solenoid (m)

N = Jumlah lilitan solenoid

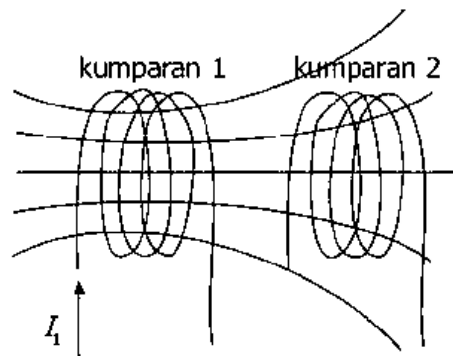
³ Permatasari, P. (2010). Studi Pengaruh Diameter Kawat dan Susunan Kumparan Terhadap Voltase Bangkitan pada m

l = Panjang solenoid (m)

Sehingga dapat disimpulkan dari rumus diatas bahwasanya besar kecilnya induktansi diri yang dihasilkan dari sebuah loop sangat tergantung pada luas penampang solenoid yang digunakan, panjang solenoid yang dipakai serta banyaknya sedikitnya jumlah lilitan solenoid yang dililitkan.

2.4.2 Induksi Bersama (Induktansi Bersama)

Induksi bersama / induktansi bersama adalah potensial listrik dalam suatu rangkaian yang ditimbulkan oleh perubahan arus dari rangkaian lain.



Gambar 2.2 Induktansi Bersama
(Sumber : www.nafiun.com)

2.5 Pengertian Proses Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) dapat didefinisikan sebagai suatu kombinasi proses pemanasan dan pendinginan logam / paduannya dalam keadaan padat secara terkontrol dengan tujuan untuk memperoleh sifat tertentu.

Beberapa tujuan dilakukan perlakuan panas diantaranya sebagai berikut :

1. Meningkatkan kekerasan baja untuk memperoleh ketahanan aus.
2. Melunakkan baja sehingga memudahkan untuk proses permesinan lebih lanjut.
3. Menghilangkan tegangan sisa (*internal stress*)
4. Mengubah ukuran butir dalam logam (baja) dan lainnya.

Prinsip proses perlakuan panas secara umum dapat dijabarkan sebagai berikut :
Memanaskan logam / paduannya sampai temperatur tertentu dengan kecepatan tertentu (*heating temperature*).

1. Mempertahankan pada temperatur pemanasan yang digunakan dalam waktu tertentu (*holding time*).
2. Mendinginkan dengan cara tertentu dan media pendingin tertentu.

2.6 Macam-Macam Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Ditinjau dari metalurgi pada saat pemanasan dan pendinginan, perlakuan panas diklasifikasikan sebagai berikut :

2.6.1 Thermal Heat Treatment

Thermal Heat Treatment adalah perlakuan panas tanpa memodifikasi komposisi unsur material, diantaranya seperti : *Anneling, Normalizing, Hardening, Tempering*.

2.6.2 Thermal-Chemical Heat Treatment

Thermal-Chemical Heat Treatment adalah perlakuan panas dengan memodifikasi komposisi unsur dalam material, diantaranya seperti : *Carburizing, Nitriding, Carbonitriding, Nitrocarburizing*.

2.6.3 Thermal-Mechanic Heat Treatment

Thermal-Mechanic Heat Treatment adalah proses perlakuan panas yang memanfaatkan kombinasi panas dan perlakuan mekanik (ditempa, dibubut, dipukul, dsb) pada bahan yang sedang diberi perlakuan panas untuk mencapai tujuan heat treatment itu, diantaranya seperti : *Ausforming, Isoforming*.

2.6.4 Perlakuan Inovatif Permukaan

Diantaranya : *Laser / electron beam surface alloying, laser surface hardening*.

Pada pembahasan kali ini penulis hanya membahas secara detail macam-macam dari proses perlakuan panas termal yakni : *Anneling*, *Normalizing*, *Hardening*, *Flame Hardening*, *Induction Hardening*.

A. Anneling

Anneling adalah proses perlakuan panas termal yang bertujuan untuk mengurangi kekerasan, menghilangkan tegangan sisa, memperbaiki keuletan material, memperbaiki machinability (sifat kemampuan permesinan), memperbaiki *ductility*, serta untuk menghaluskan ukuran butiran struktur mikro logam.

Dari tujuan *annealing* diatas maka proses *annealing* dibagi menjadi 4 proses :

- a. *Full Anneling*
- b. *Recrystallisation Anneling*
- c. *Stress Relief Anneling*

B. Normalizing

Normalizing adalah proses perlakuan panas termal yang bertujuan untuk mendapatkan butiran halus dan seragam serta menghilangkan tegangan dalam akibat pengerjaan mesin.

Penerapan *Normalizing* ini dapat ditemui pada baja-baja konstruksi, baja rol, material yang mengalami penempaan atau baja tuang dengan ketebalan tidak sama.

C. Hardening

Hardening adalah proses perlakuan panas termal yang bertujuan untuk menghasilkan sifat baja yang keras agar baja dapat tahan aus. *Hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai fase *austenite* dan ditahan pada suhu tersebut, lalu didinginkan dengan kejut (*quench*). Pendinginan kejut (*quench*) dilakukan untuk mengubah fase *austenite* menjadi struktur fase *martesit* yang bersifat keras dan tahan aus.

Dalam proses pengerasan baja / *hardening* ada beberapa factor yang harus diperhatikan diantaranya :

a. Jenis Material (*hardenability material*)

Secara umum *hardenability* tergantung pada komposisi kimia bahan.

b. *Heating*

Heating dalam proses *hardening* memiliki 2 tahap proses yakni :

1. *Pre Heating*, yaitu pemanasan awal benda yang bertujuan agar tidak mengalami kejutan atau *shock* panas. Proses pemanasan awal ini diberikan sampai suhu 600-700° C secara perlahan.
2. *Final Heating*, yaitu pemanasan akhir dari suhu mulai transformasi ke tingkat suhu *austenite*.

Untuk menentukan temperatur *austenite* pada proses pengerasan material, secara umum : untuk baja karbon jenis *hypoeutectoid* (baja karbon rendah) yaitu suhu 30-50° C diatas temperatur kritis A_3 . Untuk baja karbon jenis *hypereutectoid* (baja karbon tinggi) yaitu suhu 30-50° C diatas temperatur kritis A_1 . Untuk baja lain mengacu pada literatur yang bersesuaian dengan komposisi material yang akan diproses.

c. *Holding Time*

Holding Time adalah waktu yang diberikan setelah benda mencapai suhu tertentu secara menyeluruh.

Lamanya *holding time* tergantung pada :

1. Jenis baja dan temperatur *austenisasi* yang dipakai
 Karena jumlah dan jenis karbida berbeda antara baja yang satu dengan yang lain.
2. Laju pemanasan

Berikut cara menentukan *holding time* untuk berbagai jenis baja secara umum :

1. Baja konstruksi (baja karbon dan baja padan rendah yang mengandung karbida yang mudah larut) ; *holding time* yang dibutuhkan 5-15 menit.
2. Baja konstruksi (baja paduan menengah) : *holding time* yang dibutuhkan 15-25 menit.

3. *Low Alloy Tool Steel* : *holding time* yang dibutuhkan 10-30 menit. Namun direkomendasikan menggunakan 0.5 menit per milimeter dari tebal benda
4. *High Alloy Chrome Steel* : *holding time* yang dibutuhkan untuk batas minimum 10 menit dan maksimum 1 jam. Namun direkomendasikan menggunakan 0,5 menit permilimeter dari tebal benda.

d. *Quenching*

Yaitu proses pendinginan secara tiba-tiba (kejut) untuk memperoleh struktur *martensit*. Pendinginan ini menggunakan media pendingin tertentu sesuai dengan material yang diproses.

Adapun media yang sering digunakan dalam *quenching* diantaranya :

1) Air

Air merupakan media pendingin yang mempunyai *cooling capacity* yang tinggi sekali (terjadi pada suhu 300° C yaitu temperatur mulainya terbentuk *martensit*) padahal laju pendinginan tertinggi diperlukan pada saat melewati *nose* dari kurva transformasi yaitu sekitar suhu 550° C sehingga air murni kurang baik untuk pendingin baja yang mempunyai *hardenability* tinggi. Untuk memperbaiki / menurunkan *cooling capacity* dapat dilakukan dengan menambahkan sedikit (5-10%) soda atau garam dapur.

2) Minyak

Minyak merupakan pendingin yang lebih lambat dibandingkan dengan air. Minyak memiliki *cooling capacity* tertinggi pada temperatur 600° C dan agak rendah pada sekitar pembentukan *martensit*. Untuk menaikkan *cooling capacity* minyak, dapat dilakukan dengan menaikkan suhu mencapai 50-80° C. Minyak biasanya digunakan untuk pendinginan baja paduan rendah dan medium yang memiliki ukuran penampang kecil.

3) Udara

Udara memiliki *cooling capacity* yang rendah, namun menguntungkan untuk baja paduan karena dengan laju pendinginan yang rendah *thermal*

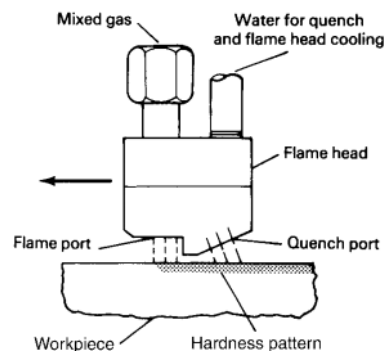
stress (tegangan sisa) akan rendah sehingga benda kerja akan bebas dari distorsi maupun *crack*. Udara biasanya digunakan untuk pendinginan baja paduan tinggi dan baja paduan rendah dengan penampang yang kecil.

Berdasarkan dari sumber pemanasnya, *hardening* dibagi menjadi 2 jenis :

i. *Flame Hardening*

Flame Hardening merupakan proses pengerasan dengan menggunakan nyala api dalam hal ini nyala api dihasilkan dari gas *oxygen-acetylene*, *propan-oxygen* atau gas alam lainnya dengan bantuan burner las.

Proses ini sangat cepat untuk menghasilkan permukaan yang keras dari baja yang kandungan karbonnya lebih dari 0,4%. Permukaan baja dipanaskan dengan cepat sehingga suhu kritisnya dengan perantaraan semburan api, kemudian segera dilakukan *quenching* untuk mendapatkan struktur *martensit* seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. Proses ini banyak digunakan untuk memperkeras poros-poros pendukung.

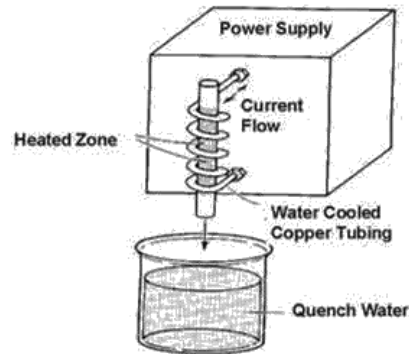


Gambar 2.3 Prinsip Kerja *Flame Hardening*
(Sumber : www.researchgate.net)

ii. *Induction Hardening*

Pada prinsipnya *induction hardening* sama dengan *flame hardening*, namun yang membedakan disini adalah pemanas yang dihasilkan oleh arus induksi karena adanya medan magnetik yang berubah-ubah dengan sangat cepat. Untuk menimbulkan pemanasan pada permukaan suatu benda kerja maka benda kerja

diletakkan didekat *coil* (lilitan tembaga) yang dialiri arus listrik bolak balik (DC) dengan frekuensi yang tinggi.



Gambar 2.4 Prinsip Kerja *Induction Hardening*
(Sumber : www.ques10.com)

Tebal kulit yang menjadi keras tergantung pada ketebalan permukaan yang mengalami pemanasan sampai mencapai suhu *austenite* sebelum di *quenching*. Kondisi ini tergantung pada intensitas pemanasan oleh arus induksi atau frekuensi arus bolak-balik dan lamanya pemanasan.

Tabel 2.1 Pengaruh Arus Induksi Terhadap Ketebalan Kekerasan

FREQUENCY OF CURRENT (Hz)	1000	4000	10,000	1,20,000	500,00
DEPTH OF HARDENING mm	6.0	3.0	2.5	1.5	0.75

(Sumber : Bahan Ajar Pengetahuan Bahan Teknik 2, 2017 : 11)

2.7 Pengertian Logam

Logam adalah unsur kimia yang mempunyai sifat-sifat kuat, liat, keras, penghantar listrik dan panas, serta mempunyai titik cair tinggi.

Logam dapat dibagi dalam beberapa golongan, yaitu :

- a. Logam berat : Nikel, krom, tembaga, timah putih, timah hitam dan seng.
- b. Logam ringan : Aluminium, magnesium, titanium, kalsium, kalium, natrium dan barium.
- c. Logam mulia : Emas, perak, dan platina.

- d. Logam tahan api : *Wolfram, molibden*, dan zirkonium.

Logam dibagi menjadi 2 golongan yaitu logam *ferro* dan logam *non-ferro*. Logam *ferro* dapat didefinisikan sebagai paduan yang terdiri dari campuran unsur karbon dengan besi. Sedangkan logam *non-ferro* dapat didefinisikan sebagai jenis logam yang secara kimiawi tidak memiliki unsur besi atau *ferro*. Dalam hal pembahasan tentang logam kali ini, penulis hanya memaparkan teori singkat mengenai logam *ferro* yang nantinya berkaitan langsung dengan bahan yang digunakan penulis dalam proses pembuatan alat.

2.7.1 Jenis-Jenis Logam *Ferro*

a. Besi Tuang (*Cast Iron*)

Secara umum baja tuang adalah logam yang mempunyai kandungan karbon sekitar 2,5% - 4%. Oleh karena itu baja tuang memiliki sifat mampu lasnya rendah (*weldability*). Karbon dalam besi tuang dapat berupa sementit (Fe_3C) atau disebut dengan karbon bebas (*grafit*).

Beberapa jenis dari besi tuang diantaranya : besi tuang putih (*white cast iron*), besi tuang kelabu (*grey cast iron*), besi tuang mampu tempa (*malleable cast iron*), besi tuang nodular (*nodular cast iron*).

b. Besi Tempa

Besi tempa memiliki komposisi besi yang terdiri dari 99% besi murni. Memiliki sifat yang mampu ditempa, liat, dan tidak dapat dituang. Besi tempa dapat digunakan untuk membuat rantai jangkar, kait keran dan landasan kerja plat.

c. Baja Lunak (*Mild Steel*)

Komposisi campuran besi dan karbida dengan kadar karbon 0,1% - 0,3%, membuat sifat dapat ditempa dengan tanah liat. Digunakan untuk membuat mur, skrup, pipa dan keperluan umum dalam pembangunan.

d. Baja Karbon Sedang

Komposisi campuran besi dan karbon, dengan kadar karbon 0,4% - 0,6%. Sifat lebih kenyal dan keras, biasanya digunakan untuk membuat benda kerja tempa berat, poros dan rel baja.

e. Baja Karbon Tinggi

Komposisi campuran besi dan karbon. Kadar karbon 0,7% - 1,5%. Sifat dapat ditempa, dapat disepuh keras, dan dimudakan. Digunakan untuk membuat kikir, pahat, gergaji, tap, stempel dan alat bubut.

f. Baja Karbon Tinggi Dengan Campuran

Komposisi baja karbon tinggi ditambah nikel atau kobalt, krom atau tungsten. Memiliki sifat rapuh, tahan suhu tinggi tanpa kehilangan kekerasan, dapat disepuh keras dan dimudakan. Digunakan untuk membuat mesin bubut dan alat-alat mesin.

2.8 Struktur Mikro Logam

Struktur mikro logam adalah susunan-susunan yang terdapat didalam logam tersebut. Dimana struktur mikro logam memiliki beberapa struktur, yakni :

2.8.1 Struktur Ferrit

Ferrit berasal dari bahasa latin yang artinya besi (Fe). Struktur ini disebut besi murni. Struktur ini dapat berubah sifat apabila dipanaskan. Perubahan tersebut adalah :

a. Besi murni / besi alpha (α)

Struktur besi murni dibawah suhu 723°C, sifatnya magnetis dan lunak. Susunan kristalnya berbentuk kubus pusat ruang.

b. Besi beta (β)

Struktur ferrit pada suhu 768°C – 910°C mulai berubah sifat dari magnetis dan lunak, susunan kristalnya berbentuk kubus pusat kosong.

2.8.2 Struktur Perlit

Struktur ini adalah struktur yang terbentuk dari persenyawaan antara ferrit dan struktur sementit yang seimbang. Semua struktur ferrit saling mengaitkan dengan struktur sementit dalam lapisan tipis yang menunjukkan jalur hitam (Fe_3C) dan terang (Fe) dengan warna yang mengkilap seperti induk mutiara. Jika suatu logam ferro mengandung kadar karbon 0,8% maka struktur logam tersebut terdiri dari 100% perlit. Struktur ini jika dipanaskan sampai suhu 723°C akan berubah struktur austenit.

2.8.3 Struktur Sementit

Struktur ini adalah suatu senyawa kimia antara besi (Fe) dengan zat arang (C). Struktur ini dengan rumus kimia Fe_3C artinya 3 atom besi mengikat sebuah atom karbon menjadi sebuah molekul. Struktur ini sangat keras, bila zat arang pada suatu logam tidak bersenyawa dengan besi disebut zat bebas (*grafit*) dengan kadar karbon 6,67% C.

2.8.4 Struktur Austenit

Struktur ini berasal dari struktur ferrit yang dipanaskan pada suhu 910°C - 1391°C atau struktur perlit yang dipanaskan pada suhu 723°C - 1391°C . Struktur ini disebut besi gamma, sifatnya tidak magnetis, kristalnya berbentuk kubus pusat bidang, lunak dan dapat ditempa.

2.8.5 Struktur Martensit

Struktur ini berasal dari struktur austenit yang diinginkan secara cepat. Jika struktur austenit didinginkan lambat maka cenderung akan kembali ke struktur ferrit, perlit, sementit. Struktur ini sifatnya sangat keras. Kristalnya berbentuk kubus pusat tertragonal tetapi rusuknya panjang.

2.8.6 Struktur Bainit (Perlit halus)

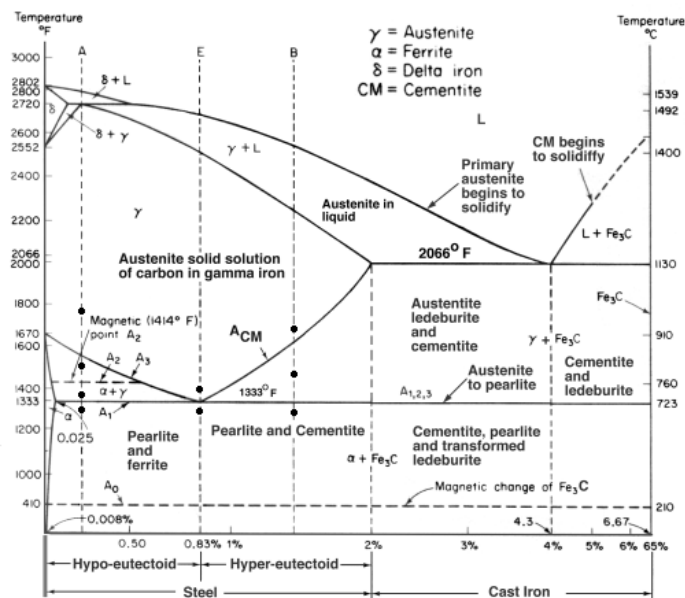
Struktur bainit adalah perubahan dari struktur austenite yang pendinginnya lambat, tetapi sifatnya lebih keras dari perlit dan lebih lunak dari martensit.

2.9 Diagram Fasa

Diagram fasa adalah suatu grafik yang merupakan representasi tentang fasa-fasa yang ada dalam suatu material pada variasi temperatur, tekanan dan komposisi. Diagram fasa merupakan diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon.

Diagram fasa digunakan untuk memberikan informasi tentang struktur dan komposisi fase-fase dalam kesetimbangan

A. Diagram Fasa Fe-Fe₃C



Gambar 2.5 Diagram Fasa (Fe₃C)

(Sumber : Pengetahuan Bahan Teknik 1, 2014 : 83)

Diagram fasa besi-karbida besi (Fe- Fe₃C) memperlihatkan perubahan fase pada pemanasan dan pendinginan yang cukup lambat. Gambar 2.5 menunjukkan bila kadar karbon baja melampaui 0,20% suhu dimana ferrite mulai terbentuk dan mengendap dari austenite turun. Baja yang berkadar karbon 0,80% disebut baja *eutectoid* dan struktur terdiri dari 100% pearlite.

Dibawah ini uraian penjelasan dari diagram fasa Fe-Fe₃C :

1. E : Titik yang menyatakan γ .
2. G : Titik transformasi besi γ menjadi α . Titik transformasi A3 besi.
3. P : Titik menyatakan ferrite.

4. S : Titik autotekoid, reaksi ini dinamakan transformasi A1 dan fase eutectoid dinamakan pearlite.
5. GS : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi dimana mulai terbentuk ferrite dan austenite. Garis ini disebut garis A3.
6. A2 : Garis transformasi magnetik untuk besi atau ferrite.
7. A0 : Garis transformasi magnetik untuk sementit.

B. Colour Chart Steel Hardening and Tempering

°F	hardening colours	°C
2192	White	1200
2012	Light Yellow	1100
1922	Yellow	1050
1796	Light Orange	980
1706	Orange	930
1598	Light Red	870
1490	Light Cherry	810
1400	Cherry	760
1282	Dark Cherry	700
1202	Blood Red	650
1112	Brown Red	600
*F		*C

Gambar 2.6 Intensitas Warna Temperatur Pada Baja
(Sumber : www.westyorkssteel.com)

2.10 Uji Kekerasan

Uji kekerasan merupakan praktek atau cara untuk menguji kekerasan sebuah material, yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan dan kekuatan dari bahan tersebut. Kekerasan merupakan kemampuan bahan untuk menahan gaya penetrasi atau gaya goresan (perubahan / deformasi plastis).

Macam-Macam Uji Kekerasan

Berdasarkan cara melakukan pengujian, secara umum uji kekerasan terbagi menjadi 3 jenis, yakni :

1. Uji kekerasan goresan (*scratch hardness*).
2. Uji kekerasan lekukan (*indentation hardness*).
3. Uji kekerasan pantulan (*reboun*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*)

1. Uji Kekerasan Goresan (*scratch hardness*)

Uji kekerasan goresan adalah pengujian terhadap kekerasan material yang dilakukan dengan cara menggoreskan material ke material yang akan diuji. Material penggores dalam hal ini adalah bahan-bahan yang disusun berdasarkan kemampuan goresan yang satu terhadap yang lain.

Dalam pengujian ini terdapat 2 metode skala kekerasan yang dipakai :

a. Skala Kekerasan Mohs

Skala Mohs merupakan salah satu bentuk pengujian kekerasan berdasarkan penilaian ketahanan bahan terhadap goresan. Penentuan kekerasan dengan cara ini bersifat kuantitatif atau bersifat membandingkan.

Berikut alat penguji yang digunakan dalam proses pengujian skala kekerasan Mohs:

Tabel 2.2 Susunan bahan dalam skala kekerasan Mohz

No Skala	Bahan	No Skala	Bahan
1.	<i>Talek (Talc)</i>	6.	<i>Felspar (Orthoclase)</i>
2.	<i>Gypsum (Gypsum)</i>	7.	<i>Quartz</i>
3.	<i>Kalspar (Calcite)</i>	8.	<i>Topaks (TOPAZ)</i>
4.	<i>Fluorspar</i>	9.	<i>Corundum (SAPPHIRE)</i>
5.	<i>Apatit</i>	10.	<i>Intan (DIAMOND)</i>

(Sumber : Bahan Ajar Pengetahuan Bahan Teknik 2, 2017 : 34)

b. Skala Kekerasan Galner

Merupakan skala kekerasan yang alat penggoresnya terbuat dari bahan non mineral tambang. Dimana memiliki prinsip kerja sama seperti Mohs.

Tabel 2.3 Susunan bahan dalam skala kekerasan Galner

No Skala	Bahan	No Skala	Bahan
1.	Timbal	7.	Besi Tempa
2.	Timbal Putih	8.	Besi Cor
3.	Timbal Keras	9.	Besi Lumer
4.	Tembaga	10.	Baja
5.	Tembaga Cot	11.	Baja yang dikeraskan
6.	Brons	12.	Pospor Brons

(Sumber : Bahan Ajar Pengetahuan Bahan Teknik 2, 2017 : 34)

2. Uji Kekerasan Lekukan (*indentation hardness*)

Uji kekerasan lekukan (*indentation hardness*) adalah uji kekerasan yang mengukur kedalaman atau lebar lekukan permukaan benda uji yang dibentuk oleh penetrator (yang terbuat dari material baja atau intan) yang diberi beban terbatas. Cara ini merupakan metode yang sangat berguna untuk mengukur kekerasan *relative* kandungan-kandungan mikro, namun metode ini tidak memberikan ketelitian yang besar atau kemampuan ulang yang tinggi.

Uji kekerasan lekukan memiliki beberapa metode pengujian :

A. Brinnel (HB / BHN)

Pengujian kekerasan dengan metode Brinnel bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (identor) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (spesimen). Idealnya, pengujian Brinnel diperuntukan untuk material yang memiliki permukaan yang kasar dengan uji kekuatan berkisar 500-3000 kgf. Identor (Bola baja) biasanya telah dikeraskan dan diplating ataupun terbuat dari bahan Karbida Tungsten.

Adapun rumus pengujian brinell:

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots (2.4 \text{ Lit 3 hal 35})^4$$

Dimana : BHN = Brinell Hardness Number.

P = Beban yang diberikan (kgf).

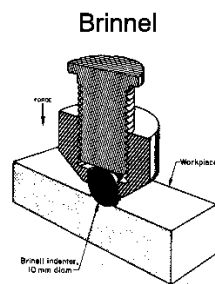
D = Diameter indentor (mm).

d = Diameter lekukan rata-rata hasil indentasi (mm).

$$P = C \times D^2 \dots\dots\dots (2.5 \text{ Lit 3 hal 35})^5$$

Dimana : D = Diameter indentor (mm)

: C = Material indentor yang dipakai



Gambar 2.7 Brinell Test.
(Sumber : www.substech.com)

b. Rockwell (HR / RHN)

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Di bawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk mencari besarnya kekerasan dengan metode Rockwell :

$$\text{HR} = E - e \dots\dots\dots (2.6 \text{ Lit 3 hal 38})^6$$

Dimana : F0 = Beban Minor (*Minor Load*) (kgf).

F1 = Beban Mayor (*Major Load*) (kgf).

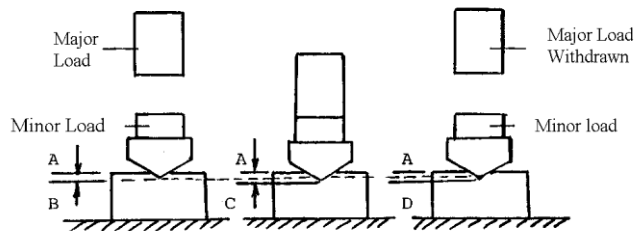
F = Total beban (kgf).

⁴ Karmin. (2017). Bahan Ajar Pengetahuan Bahan Teknik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.

⁵ Karmin. (2017). Bahan Ajar Pengetahuan Bahan Teknik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.

⁶ Karmin. (2017). Bahan Ajar Pengetahuan Bahan Teknik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.

- E = Konstanta nilai 130 untuk indentor bola dan 100 untuk indentor intan.
- e = Tingkat kedalaman pada saat penetrasi secara permanen akibat beban utama (F1) dengan satuan 0,002 mm.
- HR = Besarnya nilai kekerasan dengan metode hardness.



Gambar 2.8 Rockwell Test.
 (Sumber : www.emcotest.com)

c. Vickers (HV / VHN)

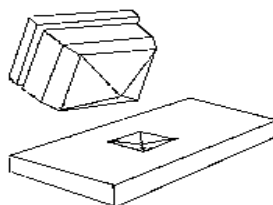
Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid. Ada pun rumus pegujian vickers sebagai berikut :

$$VHN = \frac{1,854 \times P}{d^2} \dots\dots\dots(2.87 \text{ Lit 3 hal 36})^7$$

Dimana : VHN = Vickers Hardness Number

P = Beban yang diberikan (kgf)

d² = Panjang diagonal rata-rata hasil (mm²)



Gambar 2.9 Vickers Test.
 (Sumber : www.hardnesstesters.com)

⁷ Karmin. (2017). Bahan Ajar Pengetahuan Bahan Teknik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.

d. Micro Hardness (*knoop hardness*)

Mikrohardness test atau sering disebut dengan *knoop hardness* testing merupakan pengujian yang cocok untuk pengujian material yang kecil dan tipis serta beban yang diberikan lebih kecil. Knoop biasanya digunakan untuk mengukur material yang getas seperti keramik. Sama halnya seperti *Vickers*, pengujian ini menggunakan indenter *pyramid* dari diamond namun dengan ratio panjang : lebar = 7 : 1.

Rumus pengujian yang digunakan dalam pengujian kekerasan *Knoop* ini dapat dituliskan sebagai berikut :

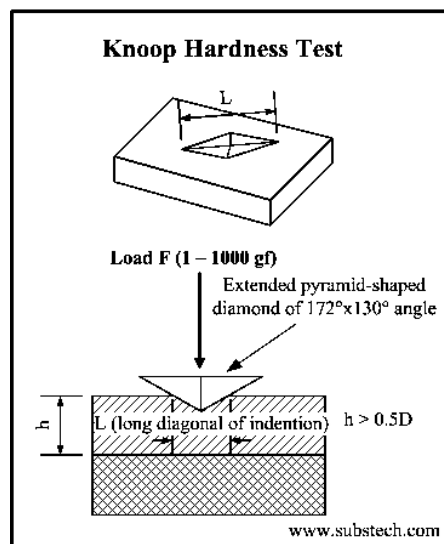
$$H_K = \frac{14.2}{D^2} F \dots\dots\dots(2.8 \text{ Lit 3 hal 39})^8$$

Dimana :

H_K = *Hardness Knoop*

F = Beban (Kg)

D = Diagonal terpanjang bekas yang terbentuk (mm)



Gambar 2.10 Knoop Hardness Test.
(Sumber : www.substech.com)

⁸ Karmin. (2017). Bahan Ajar Pengetahuan Bahan Teknik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.

3. Uji Kekerasan Pantulan (*reboun*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*)

Pada pengujian kekerasan dinamik, biasanya penumbuk dijatuhkan kepermukaan logam dan kekerasannya dinyatakan sebagai energi tumbuknya. Skleroskop Shore yang merupakan contoh yang paling umum dari alat uji kekerasan dinamik.

Prinsip pengujian ini dengan menjatuhkan bola baja atau palu yang beratnya 2,2 gram dan ujungnya bulat terbuat dari intan dari ketinggian 250 mm ke permukaan benda yang diuji. Palu tersebut akan memantul ke atas dan ketinggian pantulan ini menentukan kekerasan suatu bahan.

Pantulan yang lebih tinggi berarti benda tersebut lebih besar dari benda yang memantulkan palu yang kurang tinggi. Metode ini disebut metode *Shore* dan alatnya dinamakan *Shore Skleroskop*. Angka ini dihasilkan tidak dapat dibandingkan dengan angka-angka dari ketentuan kekerasan yang lain karena hasilnya terlalu kasar.

2.11 Dasar-Dasar Perhitungan

Dalam hal ini penulis hanya memaparkan secara umum rumus perhitungan dasar yang nantinya akan diimplementasikan pada bab selanjutnya. Rumus perhitungan tersebut berkaitan dengan kekuatan hasil *join* (baik dari las, baut-mur dan lain sebagainya), bobot rangka dalam menahan beban, besar kecilnya kabel yang dibutuhkan untuk menahan arus yang dipakai pada alat, dan lain sebagainya.

2.11.1 Perhitungan Kekuatan Hasil Lasan

Rumus dasar perhitungan kekuatan las dapat dilihat dalam persamaan berikut :

$$\sigma \text{ Tarik maks} = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.9 \text{ Lit 4 hal 36})^9$$

Keterangan :

σ Tarik maks : Tegangan Tarik bahan (N/mm²)

F : Gaya yang bekerja (N)

⁹ Sailon, H. (2017). Dasar-Dasar Perencanaan Elemen Mesin. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.

A : Luas penampang yang dikenai las (mm^2)

1. Rumus menentukan luas penampang yang dikenai las

$$A = t(2b + 2l) \dots \dots \dots (2.10 \text{ Lit 16 hal 20})^{10}$$

Keterangan :

A : Luas penampang yang dikenai las (mm^2)

t : Tebal lasan (mm)

b : Panjang lasan (mm)

2. Rumus mencari momen lentur las

$$M = F \times l \dots \dots \dots (2.11 \text{ Lit 17 hal 43})^{11}$$

Keterangan :

M : Momen lentur las (Nm)

F : Beban yang ditumpu hasil lasan (N)

l : Panjang momen yang bekerja (m)

3. Rumus modulus penampang potong lasan

$$Z = t \left(b \cdot l + \frac{b^2}{2} \right) \dots \dots \dots (2.12 \text{ Lit 17 hal 45})^{12}$$

Keterangan :

Z : Modulus penampang potongan lasan (mm^3)

t : Tebal lasan (mm)

b : Panjang lasan (mm)

l : Lebar lasan (mm)

4. Rumus tegangan lentur lasan

$$\sigma_b = \frac{M}{z} \dots \dots \dots (2.13 \text{ Lit 18 hal 34})^{13}$$

¹⁰ Khairul. (2017). Modifikasi Gerinda Tangan Menjadi Mesin Senso Kayu. Padang: Politeknik Negeri Padang.

¹¹ RS, Khurmi dan Gupta. (1970). Machine Design. Jakarta: Erlangga.

¹² RS, Khurmi dan Gupta. (1970). Machine Design. Jakarta: Erlangga.

¹³ Putra, B.I., dkk. (2008). Elemen Mesin Untuk Teknik Industri. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Keterangan :

- σ_b : Tegangan lentur lasan (N/mm²)
 M : Momen lentur las (Nmm)
 Z : Modulus penampang potongan (mm³)

5. Tegangan geser maksimal

$$\tau_{maks} = \frac{1}{2} \sqrt{(\tau_b)^2 + 4 \cdot \tau} \dots\dots\dots (2.14 \text{ Lit 18 hal 36})^{14}$$

Keterangan :

- τ_{maks} : Tegangan geser maksimal (N/mm²)
 σ_b : Tegangan lentur lasan (N/mm²)
 τ : Tegangan geser (N/mm²)

2.11.2 Perhitungan Mesin Bor

$$N = \frac{1000 \cdot Vc}{\pi \cdot d} \dots\dots\dots (2.15 \text{ Lit 5 hal 83})^{15}$$

$$T_m = \frac{L}{Sr \times N} \dots\dots\dots (2.16 \text{ Lit 5 hal 83})^{16}$$

$$TM = T_m \times \text{Banyak Pengeboran}$$

Keterangan :

- N : Putaran mesin (rpm)
 T_m : Waktu pengerjaan (menit)
 L : Kedalaman pemakanan = 1 + 0,3d (mm)
 Sr : Ketebalan pemakanan (mm/menit)

2.11.3 Perhitungan Rangka

Rangka berfungsi untuk menahan berat keseluruhan dari komponen-komponen alat, untuk itu rangka harus mampu menahan semua beban dari seluruh komponen yang bertumpu pada rangka.

¹⁴ Putra,B.I., dkk. (2008). Elemen Mesin Untuk Teknik Industri. Yogyakarta: Graha Ilmu.

¹⁵ Putri, F. (2015). Teknologi Mekanik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya

¹⁶ Putri, F. (2015). Teknologi Mekanik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya

$$M = V \times \rho \dots\dots\dots(2.16 \text{ Lit 5 hal 85})^{17}$$

$$M = (A \times P) \times \rho$$

$$A = (L1 \times t) - ((L2 - t) \times t)$$

Dimana :

M : Berat rangka (Kg)

V : Volume rangka (mm^3)

ρ : Massa jenis rangka (kg/mm^3)

A : Luas alas (mm^2)

L1 : Panjang alas (mm)

L2 : Lebar alas (mm)

t : Tebal (mm)

2.11.4 Perhitungan Biaya Produksi

Perhitungan biaya produksi disini hanya menyebutkan rumus-rumus terkait mengenai biaya produksi, dimana nantinya rumus ini akan digunakan pada bab 4 pembahasan mengenai biaya produksi. Sehingga pada bab pembahasan tentang biaya produksi, penulis tidak lagi menuliskan rumus yang terkait namun langsung menuliskan bilangan nominal dari data yang didapatkan Adapun rumus terkait yang akan digunakan pada pembahasan bab 4 biaya produksi sebagai berikut:

1. Biaya Listrik

$$BL = TM \times P \times B_0 \dots\dots\dots(2.17 \text{ Lit 6 hal 81})^{18}$$

Dimana :

BL = Biaya Listrik (Rp)

TM = Waktu pemakaian mesin (Menit)

P = Daya listrik pada mesin yang digunakan (Watt)

B_0 = Harga Daya / Kwh = Rp Rp1.352,00

¹⁷ Putri, F. (2015). Teknologi Mekanik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya

¹⁸ Putra, R. P. (2012). Rancang Bangun Gerinda Potong Untuk Industri Rumah Tangga. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.

2. Biaya Sewa Mesin

$$BM = TM \times B \dots\dots\dots(2.18 \text{ Lit 5 hal 89})^{19}$$

Dimana :

BM = Biaya Sewa Mesin (Rp)

TM = Waktu Pemakaian Mesin (Jam)

B = Harga Sewa Mesin/Jam (Rp)

3. Biaya Operator

$$BO = BO_J \times W_p \dots\dots\dots(2.19 \text{ Lit 6 hal 82})^{20}$$

$$BO_J = \frac{UMK}{JB} \dots\dots\dots(2.20 \text{ Lit 6 hal 82})^{21}$$

Dimana :

BO_J = Biaya Operator / Jam (Rp)

UMK = Upah Minimum Karyawan Wilayah Sumsel (Rp2.804.453/ Bulan)

JB = Jam kerja dalam sebulan (Terhitung dari senin-sabtu selama 8 jam)

W_p = Waktu Pengerjaan (Menit)

4. Biaya Tak Terduga / Biaya Perencanaan

Biaya tak terduga / perencanaan diambil 15% dari biaya material, biaya komponen, biaya sewa mesin, biaya listrik dan biaya operator.

$$B_{TT} = 15\% \times (B_{Material} + B_{Komponen} + B_{Sewa \text{ Mesin}} + B_{Listrik} + B_{Operator})^{22}$$

5. Biaya Total Produksi

$$B_{TP} = (B_{Material} + B_{Komponen} + B_{Listrik} + B_{Sewa \text{ Mesin}} + B_{Operator} + B_{Tak \text{ Terduga}})^{23}$$

¹⁹ Putri, F. (2015). Teknologi Mekanik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya

²⁰ Putra, R. P. (2012). Rancang Bangun Gerinda Potong Untuk Industri Rumah Tangga. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.

²¹ Putra, R. P. (2012). Rancang Bangun Gerinda Potong Untuk Industri Rumah Tangga. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.

²² Putri, F. (2015). Teknologi Mekanik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya

²³ Putri, F. (2015). Teknologi Mekanik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya

6. Keuntungan

Keuntungan yang direncanakan dari penjualan alat ini sebesar 10% dari biaya total produksi²⁴. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Keuntungan (P)} = 10\% \times B_{\text{Total Produksi}}^{25}$$

²⁴ Wibowo, S. (1999). Pedoman Mengelola Perusahaan Kecil (XIII). JAKARTA: PT Penebar Swadaya.

²⁵ Putri, F. (2015). Teknologi Mekanik 2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya