

**ANALISA SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR  
MIKRO BAJA PELAT TIPE API5LX42  
HASIL PENGEROLAN PANAS**

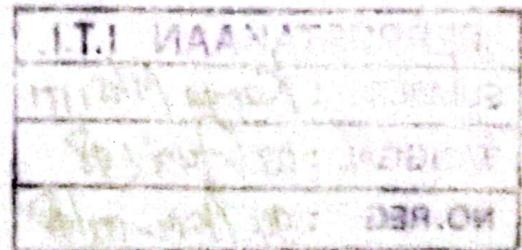
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1 di  
Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin  
Institut Teknologi Indonesia

Oleh :  
**SUHENDRA**  
**012920097**



**INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA  
SERPONG  
1998**



## **LEMBAR PENGESAHAN**

**Menerangkan bahwa makalah tugas akhir ini dengan judul**

**"Analisa Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Baja Pelat**

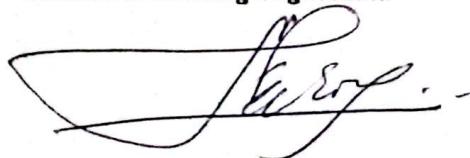
**Tipe API5LX42 Hasil Pengarolan Panas "**

**Telah disetujui dan disahkan pada Jurusan Teknik Mesin**

**Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Indonesia**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing Tugas Akhir**



**(Ir. Sasi Kirono, M.Sc)**

**Mengesahkan :**

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**



**(Ir. M. Henkky Simobring, MM)**

Kupersenbahkan Karya Tulis ini untuk Orang Tua  
Serta Adik-adikku Tercinta

“ Tidak ada iri hati kecuali terhadap seseorang  
yang diberi harta lalu dibelanjakannya dengan sasaran tepat dan  
seseorang yang diberi ilmu dan kebijaksanaan lalu dia  
melaksanakan dan mengajarkannya ”  
(TR Bukhari)

## ABSTRAK

**S**alah satu produk yang sering digunakan adalah plat baja karbon rendah hasil penggerolan panas, ini disebabkan karena sifat-sifatnya yang mudah dimesin (machinability) serta mampu bentuk yang baik. Adapun pada penelitian ini tujuannya untuk menganalisa sifat mekanis dan struktur mikro baja pelat tipe API5LX42 dan disesuaikan berdasarkan Steel Grade No. 1K1708 yang dihasilkan dari proses penggerolan panas. Dimana dalam hal ini perbandingannya dititik beratkan pada hubungan antara reduksi penampang dengan sifat mekanis baja pelat tersebut.

Sedangkan pengujian yang dilakukan meliputi : pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian metalografi. Dari hasil pengujian yang dilakukan tampak bahwa Coil No. 416939 dengan ketebalan 9,18 mm, kadar C 0,150% dan reduksi penampang 36,77% mempunyai kuat tarik sebesar  $493,1 \text{ N/mm}^2$ , kekerasan sebesar  $1550,3 \text{ N/mm}^2$  dan keuletan sebesar 40%, dimana struktur mikro ferit dan perlitnya tersebar secara merata hal ini kemungkinan disebabkan pengaruh reduksi penampang yang cukup besar, dibandingkan dengan Coil No. 416924 dengan ketebalan 9,23 mm, kadar C 0,162% dan reduksi penampang 32,15% serta Coil No. 416932 dengan ketebalan 9,23 mm, kadar C 0,167% dan reduksi penampang 34,72%. Jadi terlihat disini bahwa dengan semakin besarnya nilai reduksi penampang dari baja pelat tipe API5LX42 maka nilai kuat tarik dan kekerasannya akan semakin besar tetapi keuletannya menurun.

Sementara berdasarkan standar API5LX42, nilai kuat tarik minimum untuk baja pelat tipe API5LX42 adalah sebesar  $413 \text{ N/mm}^2$ . Dari ketiga nomor coil yang diuji menunjukkan penyimpangan antara 16,1% sampai 19,39%, dimana penyimpangan tersebut melebihi standar, sehingga secara umum dari ketiga nomor coil tersebut layak dan aman digunakan sesuai dengan kebutuhannya.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas Akhir ini diajukan untuk melengkapi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Jurusan Teknik Mesin ITI dengan judul ***Analisa Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Baja Pelat Tipe API5LX42 Hasil Penggerolan Panas***, yang penelitiannya dilakukan di PT. KRAKATAU STEEL Cilegon.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, yaitu :

1. Ir. M. Henkky Sihombing, MM., Ketua Jurusan dan Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Indonesia.
2. Ir. Sasi Kirono, M.Sc, Pembimbing Tugas Akhir, yang telah banyak memberikan bantuan dan bimbingan.
3. Ir. Houtman P. Siregar, M.Sc, Penasehat Akademik Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Indonesia.
4. Ir. Desril Jamal, Pembimbing lapangan yang telah memberikan nasehat dan arahannya.
5. Ir. Sugiharto, M.Eng, Kadiv. Perawatan HSM PT. KRAKATAU STEEL
6. Ir. Istrianto, M.Eng, Kadis perawatan mekanik HSM PT. KRAKATAU STEEL

7. Bapak Sutimin, Training koordinator HSM PT. KRAKATAU STEEL.
8. Seluruh Staff dan karyawan, Laboratorium pengujian mekanik dan bagian perawatan mekanik HSM PT. KRAKATAU STEEL.
9. Seluruh Staff dan karyawan Jurusan Teknik Mesin ITI, yang telah banyak membantu dan memberikan pelayanan yang baik.
10. Ibu dan Bapak serta saudara-saudaraku tercinta : Mumun Maemunah, Nuranah, Dede Suherdi, yang telah memberikan dukungan moril dan materil.
11. Surwana, Budi Sophan, Edi Tamera, Naimi AFB, Adi Suwardi, Syamsul Rizal, dan Edwin R. Mesin '95 serta seluruh rekan-rekan Mesin '92, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini memiliki banyak kekurangan sehingga sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tulisan ini.

Akhir kata semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua, dan semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi yang membacanya.

Serpong, Januari 1998

Penulis

## DAFTAR ISI

	Hal.
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>NOMENKLATUR</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	2
1.3. Ruang Lingkup .....	2
1.4. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II STUDI LITERATUR</b> .....	4
2.1. Besi dan Baja .....	4
2.2. Baja Karbon .....	5
2.2.1. Karbon Dalam Baja .....	5
2.2.2. Pengelompokan Baja Karbon .....	7
2.2.3. Penggunaan Baja Karbon .....	7
2.3. Struktur Logam dan Sifat Mekanis .....	10
2.3.1. Struktur Kristal .....	10
2.3.2. Struktur Mikro .....	14

2.3.3. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Struktur Logam ..	16
2.3.4. Hubungan Antara Struktur Mikro dan Sifat Mekanis ..	29
2.4. Pengerolan Logam .....	30
2.4.1. Klasifikasi Proses-Proses Pengerolan .....	30
2.4.2 Pengerolan Logam (Rolling Mill) .....	31
2.4.3. Pengerolan Panas .....	33
2.4.4. Pengerolan Dingin .....	36
2.5. Proses Pembuatan Baja Pelat .....	40
2.5.1. Slab Yard .....	40
2.5.2. Reheating Furnace .....	40
2.5.3. Water Descaler .....	41
2.5.4. Sizing Press .....	42
2.5.5. Roughing Mill .....	43
2.5.6. Thermo Panel .....	44
2.5.7. Finishing Mill .....	44
2.5.8. Laminar Cooling .....	45
2.5.9. Down Coiler .....	46
 BAB III METODE PENGUJIAN .....	48
3.1. Data Benda Uji .....	48
3.2. Pengambilan Sampel .....	50
3.3. Peralatan Pengujian .....	51
3.4. Uji Tarik .....	52
3.5. Uji Kekerasan .....	54
3.6. Metalografi .....	56

<b>BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1. Hasil Uji Tarik .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. Hasil Uji Kekerasan .....</b>	<b>60</b>
<b>4.3. Hasil Metalografi .....</b>	<b>63</b>
<b>4.4. Analisa Data .....</b>	<b>68</b>
<b>4.4.1. Analisa Hasil Uji Tarik .....</b>	<b>68</b>
<b>4.4.2. Analisa Hasil Uji Kekerasan .....</b>	<b>71</b>
<b>4.4.3. Analisa Hasil Metalografi .....</b>	<b>72</b>
<b>4.5. Pembahasan .....</b>	<b>72</b>
 <b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	 <b>74</b>
 <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	 <b>75</b>
 <b>LAMPIRAN</b>	

## NOMENKLATUR

A = Luas penampang	(mm <sup>2</sup> )
$\epsilon$ = Regangan / elongation	(%)
$F_u$ = Beban maksimum	(KN)
$F_y$ = Beban luluh	(KN)
$F_y$ = Beban luluh	(KN)
$h_0$ = Tebal pelat awal	(mm)
$h_f$ = Tebal pelat setelah melewati finishing mill I	(mm)
HV = Hardness Vickers	(N/mm <sup>2</sup> )
$L_0$ = Panjang mula-mula	(mm)
$L_1$ = Panjang setelah ditarik	(mm)
P = Parallel Length	(mm)
q = Reduksi penampang	(%)
R = Radius of fillet	(mm)
$\sigma_u$ = Tegangan maksimum	(N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_y$ = Tegangan luluh	(N/mm <sup>2</sup> )
t = Tebal pelat	(mm)
W = Lebar penampang	(mm)

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	2.1 Pengaruh kandungan karbon terhadap kekuatan dan keuletan .....	7
Gambar	2.2 Kristal BCC dari besi/baja pada suhu kamar .....	11
Gambar	2.3 Kristal FCC dari besi/baja pada suhu tinggi .....	12
Gambar	2.4 Perubahan struktur atom ketika terjadi dislokasi .....	13
Gambar	2.5 Sketsa susunan atom dalam kristal .....	15
Gambar	2.6 Struktur mikro baja karbon rendah (0,02%) dengan pembesaran 100 X .....	16
Gambar	2.7 Diagram fasa sistem besi-karbon ( $Fe_3C$ ) .....	19
Gambar	2.8 Diagram TTT untuk baja karbon hipoeutektoid ( $C < 0,8\%$ ) .....	27
Gambar	2.9 Diagram TTT untuk baja karbon eutektoid ( $C \approx 0,8\%$ ) .....	27
Gambar	3.1 Susunan rol untuk penggerak logam. (a) searah dua tingkat; (b) dua - tingkat, bolak - balik; (c) tiga - tingkat; (d) empat tingkat; (e) Tandem (cluster) .....	32
Gambar	3.2 Gambar skematis penggerolan strip, dengan rol empat tingkat yang kontinu .....	33
Gambar	3.3 Proses penggerolan pada logam. (a) penggerolan panas; (b) penggerolan dingin .....	39
Gambar	3.4 Diagram alir pengujian .....	49
Gambar	3.5 Cara pengambilan sampel .....	50
Gambar	3.6 Kurva tegangan-regangan .....	53

Gambar	3.7 Specimen uji tarik .....	54
Gambar	3.8 Indentor piramida intan Vickers .....	55
Gambar	3.9 Arah pemotongan sampel untuk metalografi .....	56
Gambar	4.1 Struktur mikro Coil No. 416924 .....	64
Gambar	4.2 Struktur mikro Coil No. 416932 .....	66
Gambar	4.3 Struktur mikro Coil No. 416939 .....	67
Gambar	4.4 Grafik nilai kuat tarik terhadap tebal pelat .....	68
Gambar	4.5 Grafik nilai regangan terhadap tebal pelat .....	69
Gambar	4.6 Hubungan antara nilai kuat tarik dengan reduksi penampang .....	70
Gambar	4.8 Hubungan antara nilai keuletan dengan reduksi penampang .....	71
Gambar	4.9 Grafik nilai kekerasan terhadap tebal pelat .....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel	3.1 Data baja pelat tipe API5LX42 untuk masing-masing coil	50
Tabel	4.1 Data hasil uji tarik baja pelat tipe API5LX42 .....	59
Tabel	4.2 Data hasil uji kekerasan Coil No. 416924 .....	60
Tabel	4.3 Data hasil uji kekerasan Coil No. 416932 .....	61
Tabel	4.4 Data hasil uji kekerasan Coil No. 416939 .....	62
Tabel	4.5 Nilai tegangan maksimum, tegangan luluh dan regangan baja pelat tipe API5LX42 .....	68
Tabel	4.6 Reduksi penampang yang terjadi di finishing mill I untuk masing-masing nomor coil .....	70

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam era industri maju dewasa ini, pembangunan di semua sektor membutuhkan sarana dan prasarana yang memadai mulai dari industri perlengkapan rumah tangga hingga industri yang membutuhkan penerapan teknologi tinggi. Salah satu material yang paling banyak dipakai sebagai bahan industri adalah baja yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian ditentukan oleh nilai ekonomisnya, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi.

Klasifikasi baja dapat digolongkan dalam beberapa pembagian antara lain baja campuran dan baja tanpa campuran atau bisa disebut baja paduan, sedangkan menurut cara pemakaianya baja dapat digolongkan dalam tiga golongan yaitu baja konstruksi, baja permesinan dan baja perkakas.

Khusus baja konstruksi penggunaannya dewasa ini sudah semakin luas, untuk itu dibutuhkan kekuatan dan keuletan yang memadai serta sifat mudah dimesin (machined). Adapun dalam hal ini jenis baja konstruksi yang paling banyak digunakan adalah baja pelat yang dihasilkan melalui proses penggerolan panas.

Proses penggerolan panas yang dilakukan akan mempengaruhi sifat-sifat dari baja pelat yang dihasilkan, untuk itu perlu dilakukan suatu penelitian guna mengetahui sejauh mana pengaruh proses penggerolan panas tersebut terhadap kualitas baja pelat yang dihasilkan guna mencapai standar yang diharapkan untuk baja-baja konstruksi.

### **1.2. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanis dan struktur mikro baja pelat tipe API5LX42 hasil proses penggerolan panas serta membandingkan antara hasil yang aktual dengan standar yang ada.

### **1.3. Ruang Lingkup**

Pada penelitian ini digunakan baja pelat tipe API5LX42 hasil proses penggerolan panas. Bahan utamanya adalah besi yang merupakan paduan besi kasar yang dihasilkan dalam tanur tinggi. Bijih besi (Spons) dan dicampur dengan besi bekas (Skrap) serta batu kapur dilebur dalam tanur tinggi, yang kemudian dimasukan kedalam coran (Continous casting) sampai dihasilkan berupa Billet atau Slab. Sedangkan bijih besi yang paling banyak dimanfaatkan adalah Hematit ( $Fe_2O_3$ ) karena kadar besinya tinggi (75%). Adapun proses yang di gunakan adalah proses reduksi langsung dimana bijih besi (berupa pelet) bereaksi dengan gas alam (gas reduksi) membentuk besi spons. Di sini bijih besi spons (pelet) direaksikan dengan gas alam dalam unit pembuatan besi spons. Baja pelat tersebut

dibagi menjadi tiga nomor coil dengan ketebalan yang berbeda dan temperatur antara 600 - 610 °C (temperatur down coiler).

Pengujian yang dilakukan terdiri dari :

- Pengujian tarik
- Pengujian kekerasan
- Pengujian metalografi

#### **1.4. Sistematika Penulisan**

BAB	I	PENDAHULUAN
BAB	II	STUDI LITERATUR
BAB	III	METODE PENGUJIAN
BAB	VI	HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA
BAB	V	KESIMPULAN

## BAB II

### STUDI LITERATUR

#### 2.1. Besi dan Baja<sup>[8]</sup>

Besi dan besi paduan adalah logam yang paling baik digunakan. Besi paduan selain mengandung karbon (C), mengandung unsur-unsur lain seperti mangan (Mn), silikon (Si), fosfor (P), sulfur (S), dan sebagainya.

Karbon, mangan dan silikon adalah unsur-unsur yang berguna untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis dan teknologis dari logam tersebut. Sebaliknya fosfor dan sulfur adalah unsur-unsur yang dapat mengakibatkan sifat-sifat yang tidak diinginkan. Baja yang mengandung kadar fosfor terlalu tinggi akan bersifat getas dingin (getas pada suhu ruang atau suhu rendah), sedangkan sulfur mengakibatkan getas panas (getas pada suhu tempa).

Besi paduan dapat dibagi dalam dua golongan ialah baja dan besi tuang. Baja adalah besi paduan yang dapat dilakukan pengubahan bentuk dalam keadaan panas (ditempa), mengandung karbon sampai 1,7%. Besi tuang mengandung karbon lebih dari 1,75%. Pada umumnya dengan kadar karbon 2,5 sampai 4%, besi tuang kelabu dan besi tuang putih tidak dapat ditempa.

Titik cair dari besi murni adalah  $1530^{\circ}\text{C}$ , sedangkan titik cair besi yang mengandung karbon 4,3% adalah  $1150^{\circ}\text{C}$ . Secara kasar dapat diperkirakan untuk tiap-tiap satu persen kenaikan kadar karbon akan menurunkan titik cair kira-kira  $90^{\circ}\text{C}$ .

## 2.2. Baja Karbon

Baja karbon mengandung karbon (C) 0 sampai 1,7%. Makin tinggi kadar C-nya makin tinggi pula kuat tarik dan batas ulurnya, sedangkan keuletannya akan turun.

Karbon merupakan unsur pengeras besi yang efektif dan murah oleh karena itu umumnya sebagian besar baja komersial hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lain.

### 2.2.1. Karbon Dalam Baja [6]

Hubungan yang cukup rumit antara karbon dan besi sebagian besar tergantung pada dua faktor utama yaitu walaupun karbon dan besi secara kimiawi membentuk lapisan semen (sementit), tetapi ini akan keluar sebagai bahan yang terpisah diantara struktur dan dikenal sebagai satu fasa, yang sedikit berbeda dari fasa besi dan besi adalah elemen *allotropik*, yaitu bisa keluar lebih dari satu bentuk kristal.

Walaupun karbon merupakan solusi pada baja lebur, tetapi masalah dalam baja yang padat, timbul dalam struktur pengkristalan bukan sebagai karbon tetapi merupakan campuran kimia yang sangat

keras, sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dan hal ini bisa dilihat di mikroskop. Ini adalah fasa kedua dalam baja.

Sementit bisa tampak dalam baja dalam dua bentuk yaitu campuran yang baik dengan ferit dan membentuk perlit yang mengandung kira-kira 13% sementit dan 87% ferit atau tampil tersendiri (sementit).

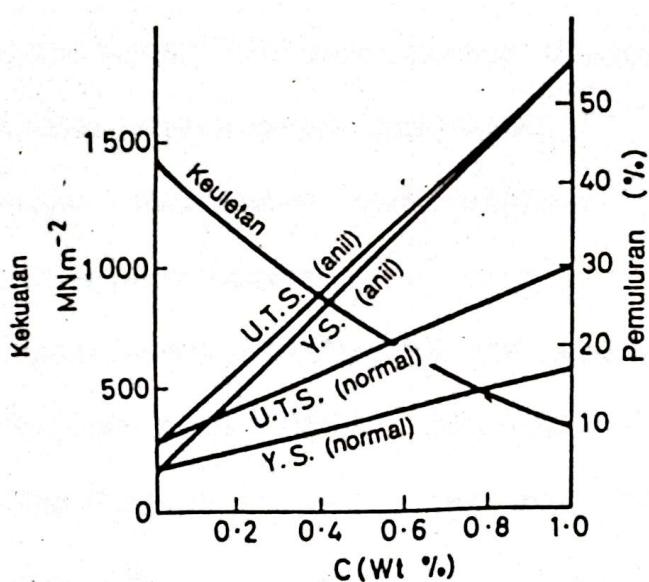
Kehadiran sementit bebas akan tergantung pada jumlah karbon di dalam baja dan kita sekarang bisa melihat bagaimana pengaruh karbon terhadap unsur-unsur pokok, pertama kita melihat pada baja karbon rendah; sebagai contoh, baja lunak dengan 0,3% C. Kandungan ini, karbon tidak akan cukup untuk mengubah semua ferit menjadi perlit dan akibatnya baja akan terdiri dari keduanya, ferit dan perlit. Perlit ini sangat keras sebab adanya unsur pokok sementit, tetapi adanya ferit akan menyebabkan kekenyalan (ductility), tergantung pada perbandingan antara ferit dan perlit, yaitu bila perlitnya lebih sedikit, maka baja tersebut akan lebih lunak. Sebaliknya, bila kandungan karbon naik, kita temukan lebih banyak perlit dan bila sampai 0,85% C baja tersebut hampir terdiri dari perlit semuanya. Bila kandungan karbon tersebut mendekati tingkat ini, kekerasan dari logam akan naik dan diimbangi dengan berkurangnya kekenyalan dan kekuatannya (ketahanan terhadap beban-beban kejut). Bila karbon lebih dari 0,85% dan sampai maksimum 1.3%, baja tersebut akan terdiri dari perlit dan bebas sementit yang akan menyebabkan kekerasan dan kerapuhan.

## 2.2.2. Pengelompokan Baja Karbon [7]

Baja karbon dapat dibagi dalam kelompok :

- Baja karbon rendah :  $C < 0,3\%$
- Baja karbon sedang :  $0,3 < C < 0,7\%$
- Baja karbon tinggi :  $0,7 < C < 1,7\%$

Pada Gambar 2.1 tampak pengaruh karbon terhadap kekuatan dan keuletan.



Gambar 2.1 Pengaruh kandungan karbon terhadap kekuatan dan keuletan baja. [7]

## 2.2.3. Penggunaan Baja Karbon [8]

Baja Karbon berdasarkan penggunaanya secara garis besar dibagi dalam 5 golongan sebagai berikut :

### 1. Baja Konstruksi (0 - 0,3% C)

Jenis baja konstruksi terdapat dalam bentuk-bentuk batang, profil, pelat, pipa dan sebagainya. Jenis baja ini dapat dilakukan pengubahan bentuk dalam keadaan dingin maupun dalam keadaan panas dan mudah dilas. Jenis baja ini mudah pula dikerjakan dengan cara dimesin (machined).

### 2. Baja Mesin (0,3 - 0,6% C)

Kuat tarik dari baja mesin lebih tinggi daripada baja konstruksi, akan tetapi keuletannya kurang. Sifat dapat ditempa, terutama sifat dapat diubah bentuk dalam keadaan dingin adalah kurang.

Pada pengelasan baja mesin perlu dilakukan "post-heating" adakalanya diperlukan "pre-heating".

Baja dengan kadar karbon (C) 0,3% atau lebih, apabila dipanaskan pada suhu pengerasan termal (hardening temperature)  $\pm 900^{\circ}\text{C}$  yang selanjutnya dikejutkan dalam cairan (air atau minyak) maka kekerasannya akan naik.

Poros atau poros engkol biasanya dalam keadaan dikeraskan pada permukaan (surface hardened).

Biasanya setelah dikeraskan, supaya tidak getas, baja dipanaskan lagi pada suhu "temper"  $150^{\circ}\text{C}$  sampai  $500^{\circ}\text{C}$ . Dengan demikian akan mendapatkan sifat keras akan tetapi masih cukup ulet.

### 3. Baja untuk Perkakas Pukul (0,6 - 0,9% C)

Baja dengan kadar C 0,6% atau lebih pada umumnya digunakan dalam keadaan dikeraskan atau dalam keadaan dikeraskan dan ditemper. Jenis baja ini digunakan untuk palu, pahat tangan dan sebagainya, yang harus keras tetapi cukup ulet.

Selain untuk perkakas pukul, jenis baja ini digunakan pula untuk perkakas sayat dengan ujung yang runcing bersudut kecil seperti perkakas-perkakas kayu.

Perkakas-perkakas dari baja karbon ini tidak tahan panas. Untuk perkakas yang tahan panas digunakan baja paduan.

### 4. Baja untuk Perkakas Sayat (0,9 - 1,2% C)

Jenis baja ini digunakan dalam keadaan dikeraskan dan ditemper. Digunakan untuk perkakas sayat seperti pahat bubut, pahat ketam dan sebagainya. Perkakas sayat dari baja ini tidak tahan panas, sehingga pahat bubut dari jenis baja ini daya potong dan kecepatan potongnya kurang. Untuk perkakas sayat yang harus tahan panas harus beralih ke baja paduan.

### 5. Baja untuk Perkakas Ukur (1,2 - 1,5% C)

Perkakas ukur harus mempunyai sifat utama ialah tahan aus, jadi harus keras. Sebagai contoh adalah mistar ingsut, mikrometer dan sebagainya. Perkakas ukur tidak akan mengalami beban berat atau beban pukul, sehingga sifat ulet tidak diutamakan.

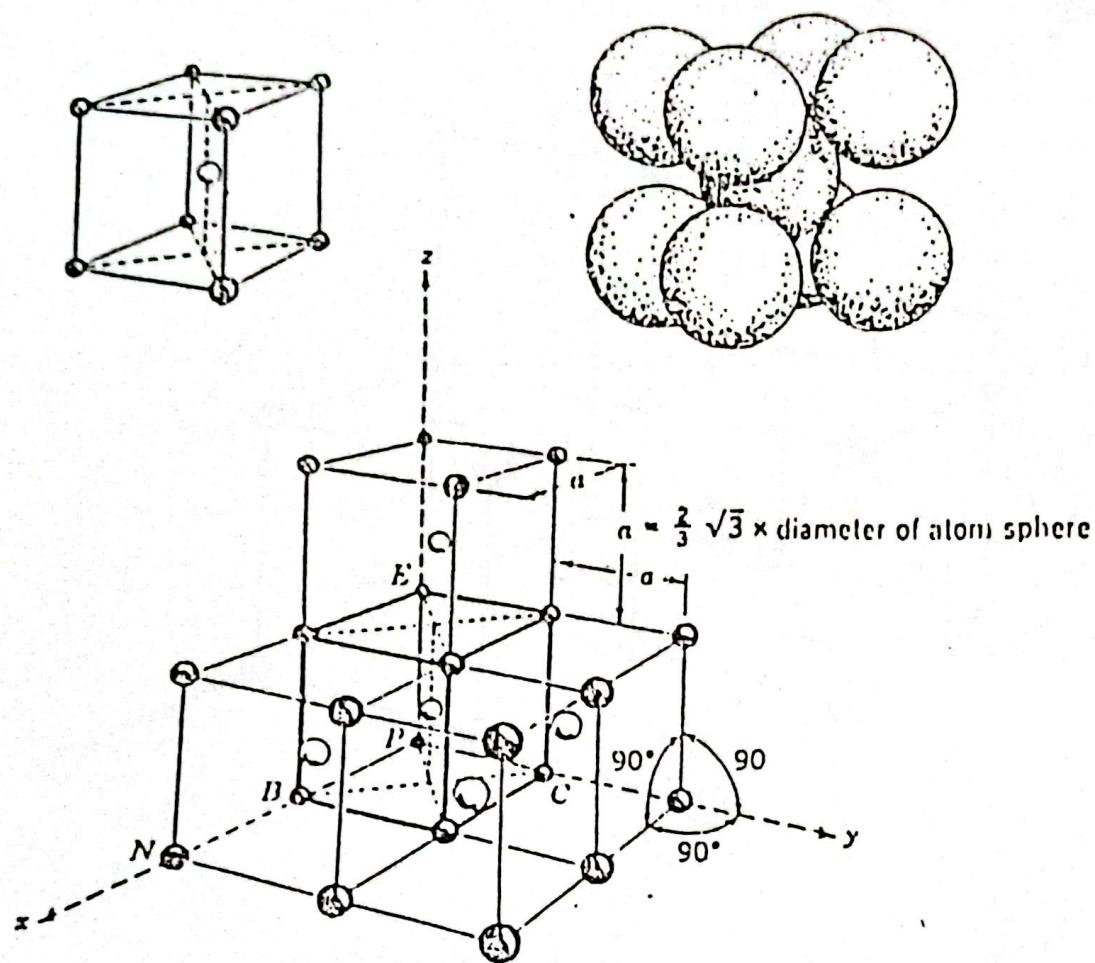
## 2.3. Struktur Logam dan Sifat Mekanis [1]

### 2.3.1. Struktur Kristal

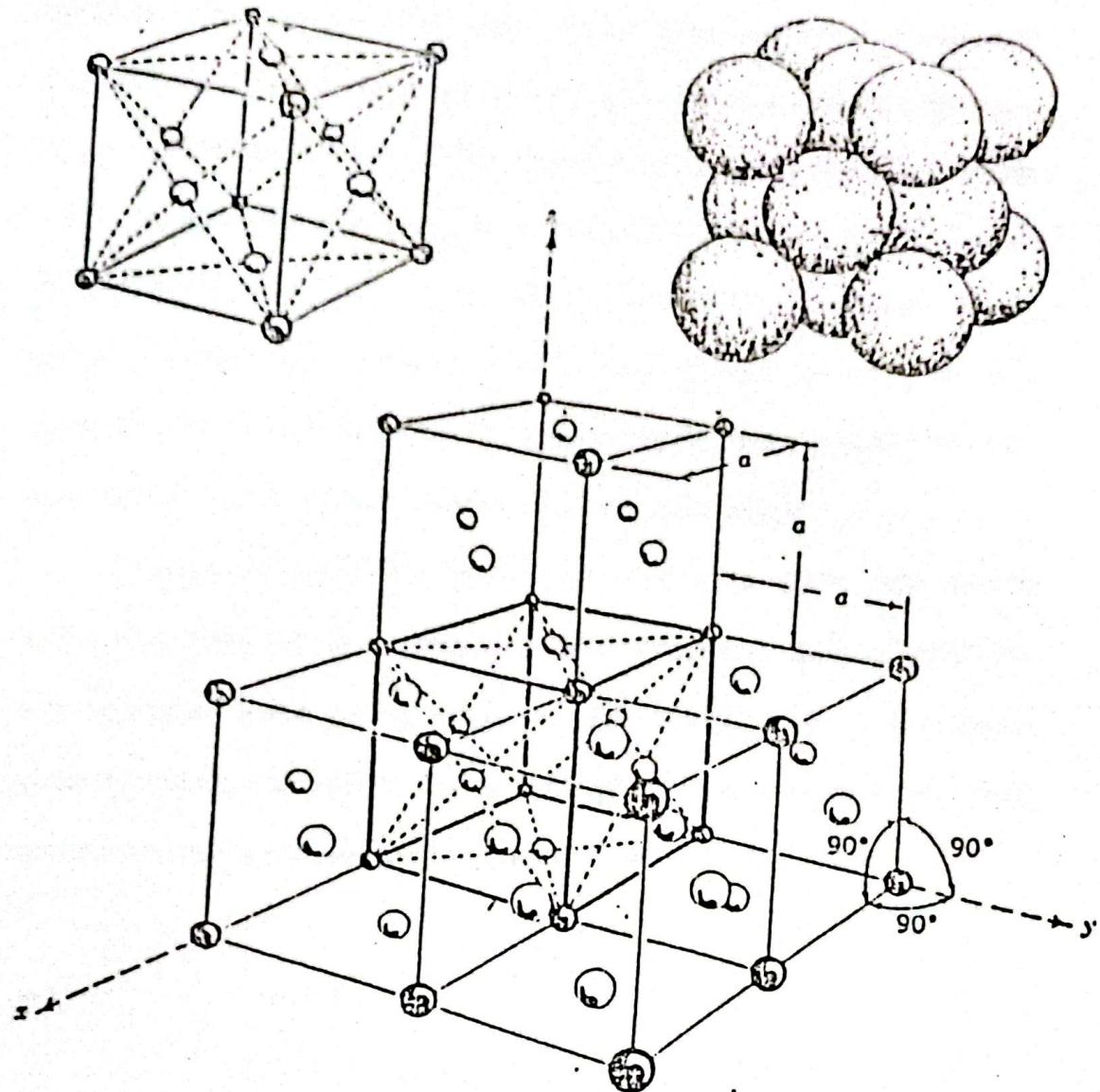
Logam seperti bahan lainnya, terdiri dari susunan atom-atom. Untuk lebih memudahkan pengertian maka dapat dikatakan bahwa atom-atom dalam kristal logam tersusun secara teratur dan susunan atom-atom tersebut menentukan struktur kristal dari logam. Susunan (tumpukan) terkecil dari atom-atom tersebut disebut cell unit. Cell-cell unit tersebut tersusun bentuk balok (tumpukan kubus atau lainnya) sebagai penyusun dasar dari kristal. Ada berbagai bentuk dari cell unit yang mungkin terjadi dalam logam, tetapi dalam pembahasan berikut ini hanya diberikan dua bentuk yang umum terjadi pada baja. Pada suhu kamar, besi dan kebanyakan baja memiliki bentuk struktur BCC (Body Centered Cubic). Dalam hal ini cell unit dari atom-atom disusun sebagai sebuah kubus dengan atom-atom menempati kedelapan dari sudut kubus dan satu atom berada di pusat kubus (lihat Gambar 2.2). Pada temperatur yang tinggi, besi dan kebanyakan baja membentuk struktur FCC (Face Centered Cubic). Dalam struktur ini, cell unit adalah sebuah kubus dengan atom-atom menempati kedelapan sudut kubus dan atom lainnya berada pada pusat masing-masing dari keenam bidang kubus (lihat Gambar 2.3).

Susunan atom dalam struktur kristal sangat menentukan sifat-sifat logamnya. Logam dengan struktur BCC mempunyai kerapatan atom yang lebih rendah jika dibandingkan logam struktur FCC. Kerapatan disini dimaksudkan sebagai bagian dari volume kubus yang terisi oleh atom

dalam persen. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa kerapatan atom dalam FCC mencapai 74,1%, sedangkan dalam BCC kerapatannya lebih rendah yaitu 68,0% dari volume kubus.



Gambar 2.2 Kristal BCC dari besi/baja pada suhu kamar <sup>[1]</sup>.

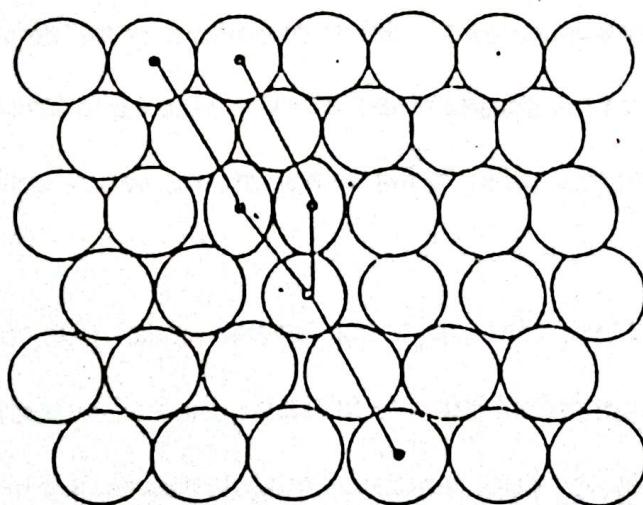


Gambar 2.3 Kristal FCC dari besi/baja pada suhu tinggi.<sup>[1]</sup>

Perbedaan kerapatan atom itu dapat dilihat pula dari jumlah bidang-bidang geser (slip planes) yang terdapat kedua struktur kristal tersebut. Pada struktur kristal BCC jumlah bidang gesernya lebih sedikit sehingga kemampuan atom-atom untuk bergeser atau mengalami

sehingga kemampuan atom-atom untuk bergeser atau mengalami dislokasi akibat deformasi akan menjadi lebih terbatas. Dengan demikian logam dengan struktur kristal BCC membutuhkan energi yang lebih besar untuk menggerakkan dislokasi jika dibandingkan dengan logam dengan struktur kristal FCC. Hal inilah yang menyebabkan mengapa logam dengan kristal BCC biasanya lebih kuat (tetapi kurang liat) jika dibandingkan dengan logam FCC yang biasanya menunjukkan kekuatan yang rendah tetapi memiliki keliatan (ductility) yang tinggi.

Dislokasi merupakan cacat kristal berbentuk garis yang terjadi ketika deformasi memasuki daerah plastis. Dislokasi terjadi akibat atom-atom bergeser pada bidang gesernya (yaitu bidang dalam kristal logam yang mempunyai kerapatan atom yang tinggi). Contoh terjadinya dislokasi ditunjukkan secara sketsa dalam Gambar 2.4.



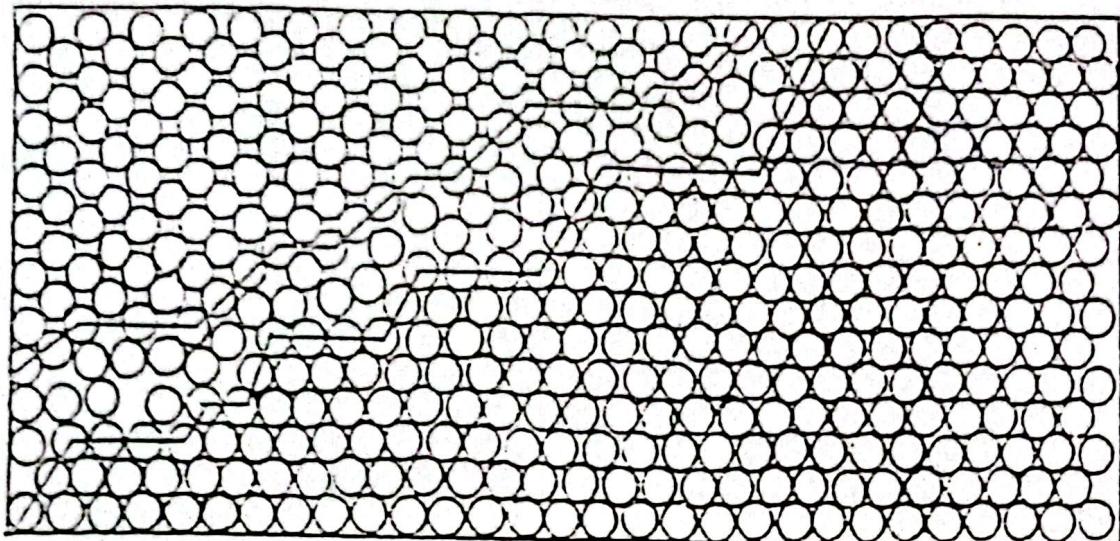
Gambar 2.4 Perubahan susunan atom ketika terjadi dislokasi.<sup>[1]</sup>

### 2.3.2. Struktur Mikro

Struktur logam merupakan penggabungan dari satu atau lebih struktur kristal. Pada umumnya logam terdiri dari banyak kristal (kristal majemuk), walupun ada diantaranya (untuk keperluan khusus) hanya terdiri dari satu kristal saja (kristal tunggal). Tetapi logam dengan kristal majemuk memungkinkan pengembangan berbagai sifat-sifat yang dapat memperluas ruang lingkup pemakaiannya.

Dalam logam, pengertian kristal sering pula disebut sebagai butiran. Batas pemisah antara dua kristal disebut batas butir (grain boundry). Gambar 2.5 menunjukkan susunan atom secara sketsa membentuk butiran logam dan batas kristal atau batas butir. Terlihat dalam Gambar 2.5 bahwa susunan atom di daerah batas kristal menjadi tidak beraturan sehingga atom-atom di daerah tersebut mempunyai mobilitas atau tingkat energi yang lebih tinggi jika dibandingkan atom-atom di dalam kristal yang susunannya lebih teratur. Karena itu bila terjadi perubahan-perubahan dalam kristal logam seperti terjadinya dislokasi atau perubahan fasa maka perubahan tersebut pada umumnya berawal dari batas butir.

Struktur dari logam murni biasanya terdiri dari kristal dengan cell unit yang sama dan ini sering disebut sebagai logam dengan fasa tunggal. Sedangkan untuk logam-logam paduan disamping memiliki kristal majemuk juga seringkali terdiri dari kristal dengan cell unit yang berbeda.



Gambar 2.5 Sketsa susunan atom dalam kristal.  
Daerah pemisah antara dua kristal disebut batas kristal atau batas butir (grain boundry).<sup>[1]</sup>

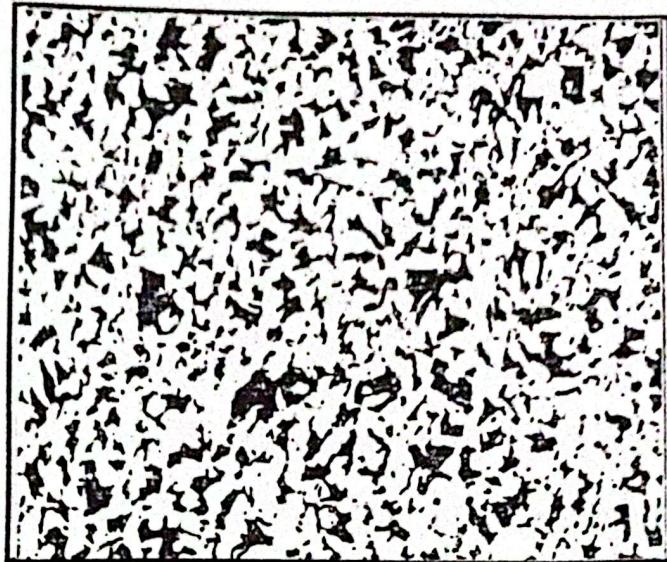
Tergantung dari jumlahnya, logam tersebut sering disebut logam dengan fasa majemuk. Contoh dalam Gambar 2.6 menunjukkan struktur mikro dari

sebuah baja karbon rendah yang terdiri dari kristal dan fasa majemuk.

Bagian terang dari struktur mikro adalah fasa ferit sedangkan daerah

gelap adalah fasa perlit yang merupakan gabungan fasa ferit dan sementit

( $\text{Fe}_3\text{C}$ ).



Gambar 2.6 Struktur mikro baja karbon rendah (0,2% C) dengan pembesaran 100 X.<sup>[3]</sup>

### 2.3.3. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Struktur Logam

Ada tiga faktor utama yang mempengaruhi struktur logam yaitu :

1. Komposisi Kimia.
2. Proses pembuatan/pengerjaan atau fabrikasi.
3. Proses perlakuan panas (heat treatment).

#### Ad. 1. Komposisi Kimia

Dua struktur kristal BCC dan FCC adalah struktur kristal dari besi murni. Tetapi, pada pemakaian teknik logam itu umumnya paduan.

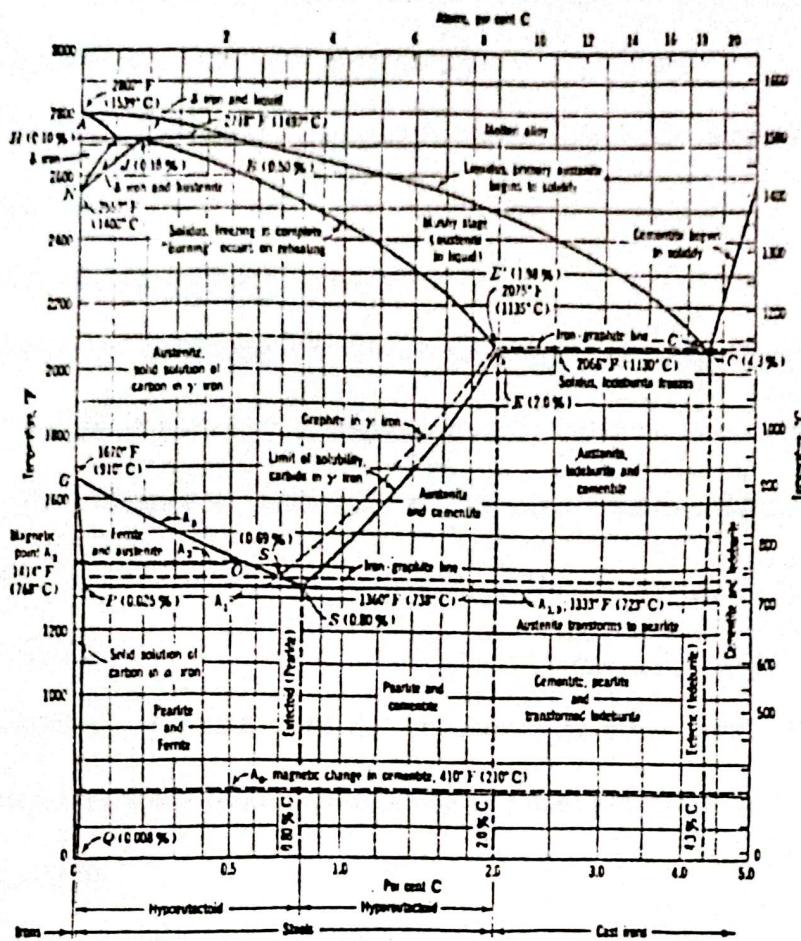
Bila karbon (C) ditambahkan ke dalam besi, karena atom karbon sangat kecil dibandingkan atom besi, maka atom-atom karbon akan terdistribusi pada ruang yang kosong disela-sela antara atom-atom besi. Kelarutan karbon dalam besi seperti itu disebut : larutan padat intertisi. Elemen-elemen lain yang juga dapat membentuk larutan padat intertisi dengan besi adalah boron, hidrogen, nitrogen dan oksigen. Elemen-elemen ini biasanya menunjukkan kelarutan yang terbatas di dalam besi atau logam lainnya. Tetapi kelarutan akan menjadi lebih tinggi bila berada pada suhu yang tinggi. Seperti pada baja, larutan karbon di dalam besi mencapai harga maksimum 0,02% pada suhu  $723^{\circ}\text{C}$  dan kemudian meningkat menjadi 2,06% maksimum pada suhu  $1147^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan kelarutan karbon di dalam besi pada suhu kamar hampir mendekati nol.

Selama kelarutan suatu unsur di dalam unsur utama yang berfungsi sebagai pelarut masih berlangsung secara sempurna maka fasa yang terbentuk adalah fasa tunggal dengan struktur kristal masih mengikuti fasa dari struktur kristal logam induk (logam pelarut). Bila kadar unsur yang dilarutkan melebihi batasan maksimum pada suatu suhu tertentu, maka akan terbentuk fasa lain dengan struktur kristal yang berbeda. Artinya struktur mikro dari paduan tersebut kini memiliki dua fasa. Untuk lebih memudahkan mengetahui pengaruh komposisi kimia terhadap fasa-fasa yang terbentuk maka diperlukan suatu diagaram fasa seperti yang ditunjukkan dalam sistem besi-karbon dalam Gambar 2.7.

Dengan diagram fasa ini akan dapat diketahui jenis-jenis fasa seimbang yang akan terjadi pada suatu temperatur dan komposisi tertentu. Diagram fasa tersebut juga menunjukkan titik cair dan daerah transformasi fasa, dapat digunakan untuk memperkirakan komposisi kimia dan fasa-fasa yang terbentuk dan dapat digunakan untuk memperkirakan persentase jumlah fasa yang ada dalam suatu daerah dua fasa. Disamping itu diagram fasa dapat menunjukkan tingkat kelarutan antara satu logam/unsur dengan unsur lainnya. Bila terjadi pembatasan kelarutan maka diagram fasa akan menunjukkan daerah-daerah fasa.

Dari diagram besi karbon seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7 dapat diuraikan hal-hal sebagai berikut :

Besi murni pada suhu dibawah  $910^{\circ}\text{C}$  mempunyai struktur kristal BCC. Besi BCC tersebut dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat rendah yaitu sekitar 0,02% maksimum pada suhu  $723^{\circ}\text{C}$ . Larutan padat interisi dari karbon di dalam besi ini disebut besi alfa atau fasa ferit. Pada suhu diantara  $910^{\circ}\text{C}$  dan  $1390^{\circ}\text{C}$  atom-atom besi menyusun diri menjadi bentuk kristal FCC yang disebut besi gamma atau fasa austenit. Besi gamma ini dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang besar yaitu sekitar 2,06% maksimum pada suhu sekitar  $1147^{\circ}\text{C}$ . Penambahan karbon ke dalam besi FCC juga menekan temperatur pada saat mana besi FCC ditransformasikan ke dalam struktur BCC dari  $910^{\circ}\text{C}$  menjadi  $723^{\circ}\text{C}$  pada kadar karbon sekitar 0,3%. Diantara  $1390^{\circ}\text{C}$  dan suhu cair  $1534^{\circ}\text{C}$ , besi gamma berubah kembali menjadi susunan BCC yang disebut besi delta.



Gambar 2.7 Diagram fasa sistem besi-karbon ( $Fe_3C$ ).<sup>[3]</sup>

Diagram fasa besi-karbon dalam Gambar 2.7 merupakan dasar-dasar dari baja karbon. Sampai dengan 1,7% karbon, sistem besi karbon masih termasuk dalam baja karbon. Diatas 1,7% karbon sistem bersih karbon sudah termasuk dalam daerah besi tuang. Kadar karbon mempengaruhi kekerasan/kekuatan serta keuletan logam. Makin tinggi kadar karbon kekuatan/kekerasannya makin tinggi tetapi keuletannya

semakin rendah. Pada besi tuang sebagian besar kandungan karbonnya membentuk grafit yang menyebabkan mengapa besi tuang itu pada umumnya menunjukkan sifat yang rapuh.

Berikut ini diberikan pengaruh elemen-elemen pemanas terhadap sifat-sifat baja.

#### Pengaruh Elemen-elemen Pemanas

Maksud penambahan elemen-elemen pemanas kedalam baja karbon adalah untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis pada produk akhir seperti yang diinginkan yang tidak dimiliki oleh baja bila diproses secara standar.

##### 1. Karbon (C)

Sampai dengan 1,2%, karbon dalam besi menaikkan kekuatan/kekerasan dari baja tetapi menurunkan keuletannya.

##### 2. Silisium (Si)

Unsur ini ditambahkan kesemua baja sebagai elemen deoksidasi. Dapat menaikkan kekuatan baja tanpa mengakibatkan penurunan terhadap keuletan (berfungsi sebagai penyebab sementit).

##### 3. Mangan (Mn)

Unsur ini dapat berfungsi sebagai deoksidasi dari baja, unsur ini dapat mengikat sulfur dengan membentuk senyawa MnS yang titik cairnya lebih tinggi dari titik cair baja. Dengan demikian akan dapat mencegah pembentukan FeS yang titik cairnya lebih rendah dari titik cair baja. Akibatnya unsur Mn dapat mencegah terjadinya hot shortness (kegetasan

pada suhu tinggi) terutama pada proses pengerasan panas. Disamping itu Mn menguatkan fasa ferit.

#### 4. Molibdenum (Mo)

Unsur ini dapat menguatkan fasa ferit dan menaikkan kekuatan baja tanpa kehilangan keuletan. Dapat berfungsi sebagai penyetabil karbida sehingga mencegah pembentukan grafit pada pemanasan yang lama. Karena itu penambahan Mo kedalam baja dapat menaikkan kekuatan dan ketahanan creep pada suhu tinggi.

#### 5. Chrom (Cr)

Unsur ini dapat menaikkan ketahanan korosi dan oksidasi, disamping meningkatkan kekuatan suhu tinggi dan sifat-sifat creep.

#### 6. Nikel (Ni)

Unsur ini dapat menaikkan ketangguhan atau ketahanan terhadap beban benturan (impact).

#### 7. Wolfram (W)

Unsur ini dapat membentuk karbida yang stabil dan sangat keras sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan creep dari baja pada suhu tinggi.

#### 8. Vanadium (V)

Bekerja sebagai deoksidasi terhadap baja seperti halnya aluminium. Dapat membentuk karbida yang keras, sehingga dapat menaikkan kekuatan tarik creep dari baja pada suhu tinggi.

Disamping elemen-elemen pemanas tersebut diatas yang diperlukan untuk memperbaiki sifat-sifat baja, ada beberapa jenis impuritas yang umumnya tidak diinginkan karena dapat menurunkan kekuatan, keuletan dan sifat-sifat lainnya dari baja. Unsur-unsur tersebut adalah :

### 1. Sulfur (S)

Dapat menjadikan baja getas pada suhu tinggi (hot shortness). Karena itu dapat merugikan baja yang dipakai pada suhu tinggi, disamping menyulitkan penggeraan seperti dalam penggerolan panas atau proses lainnya. Kebanyakan kadar S harus dibuat serendah-rendahnya yaitu lebih rendah dari 0,05%.

### 2. Phosphor (P)

Membuat baja mudah mengalami retak dingin (cold shortness) atau getas pada suhu rendah, sehingga tidak baik untuk baja yang diberi beban benturan pada suhu rendah. Tetapi efek baiknya adalah menaikkan fluiditas membuat baja mudah dirol panas. Kadar P dalam baja biasanya kurang dari 0,05%.

### 3. Oksigen (O)

Dalam keadaan cair, logam cair mudah melarutkan oksigen sehingga membentuk oksida besi.

Oksida ini akan membentuk inklusi dalam baja yang dapat menaikkan kegetasan dari pada baja.

#### 4. Hidrogen (H<sub>2</sub>)

Dapat larut dalam baja cair yang kemudian berusaha keluar ketika logam cair dituang dan membeku. Tetapi sebagian hidrogen tetap terperangkap dalam logam beku yang membentuk rongga-rongga udara (porositas). Disamping itu hidrogen dapat masuk kedalam produk melalui mekanisme difusi yang menimbulkan sifat getas dari baja.

#### 5. Nitrogen (N)

memiliki efek pengerasan dan penggetasan terhadap baja. Karena itu dalam beberapa hal mungkin menguntungkan dan dalam beberapa hal mungkin merugikan.

### Ad. 2. Pengaruh Proses Pembuatan/Pengerjaan atau Fabrikasi

Untuk membuat produk logam, pertama-tama biasanya dilakukan proses pengecoran. Logam dengan komposisi tertentu dilebur dalam sebuah tungku dan kemudian dituang kedalam cetakan. Untuk produk coran, cetakan yang dipakai sudah mendekati bentuk akhir sehingga hanya memerlukan beberapa tahapan proses pengerjaan akhir untuk mencapai dimensi akhir.

Sedangkan untuk produk bukan coran (produk mill), seperti misalnya pada pembuatan pelat atau batang (rod), logam cair biasanya dituang secara kontinu atau semi kontinu kedalam cetakan sehingga diperoleh bentuk kasar berupa billet atau slab. Kedua produk dasar ini masih merupakan produk coran yang umumnya mempunyai distribusi

komposisi dan struktur yang belum merata dan belum setimbang. Disamping itu kemungkinan masih mengandung banyak cacat seperti rongga-rongga udara.

Untuk menghilangkan cacat atau kekurangan-kekurangan seperti disebutkan diatas, billet atau slab dipanaskan dahulu untuk beberapa lama sehingga dicapai kondisi yang lebih homogen. Suhu pemanasan tersebut adalah pada daerah austenit. Setelah itu dalam keadaan panas billet atau slab tersebut diberi proses pembentukan yaitu penggerolan untuk membuat pelat atau rod. Pada proses penggerolan panas akan terjadi perubahan fasa dan struktur logam yang ditentukan oleh faktor-faktor seperti : elemen pemandu , besarnya perubahan bentuk (reduksi), suhu dan kecepatan penggeraan. Pada proses penggeraan panas, kekuatan logam biasanya masih rendah. Untuk meningkatkan kekuatan logam yang dihasilkan setelah proses penggeraan tersebut diperlukan untuk memberikan proses penggeraan dingin. Efek peningkatan kekuatan logam akibat proses penggeraan dingin dikenal sebagai pengerasan regangan (strain hardening). Kombinasi antara proses penggeraan panas, penggeraan dingin dan disertai proses perlakuan panas dapat menghasilkan struktur logam dengan butiran halus yang dapat memperbaiki sifat-sifat mekanis dari logam.

### Ad.3. Proses Perlakuan Panas (Heat Treatment)

Dari diagram fasa Gambar 2.7 terlihat bahwa suhu sekitar  $723^{\circ}\text{C}$  merupakan suhu transformasi austenit menjadi fasa perlit (yang merupakan gabungan fasa ferit dan perlit). Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi eutektoid dan merupakan dasar proses perlakuan panas dari baja.

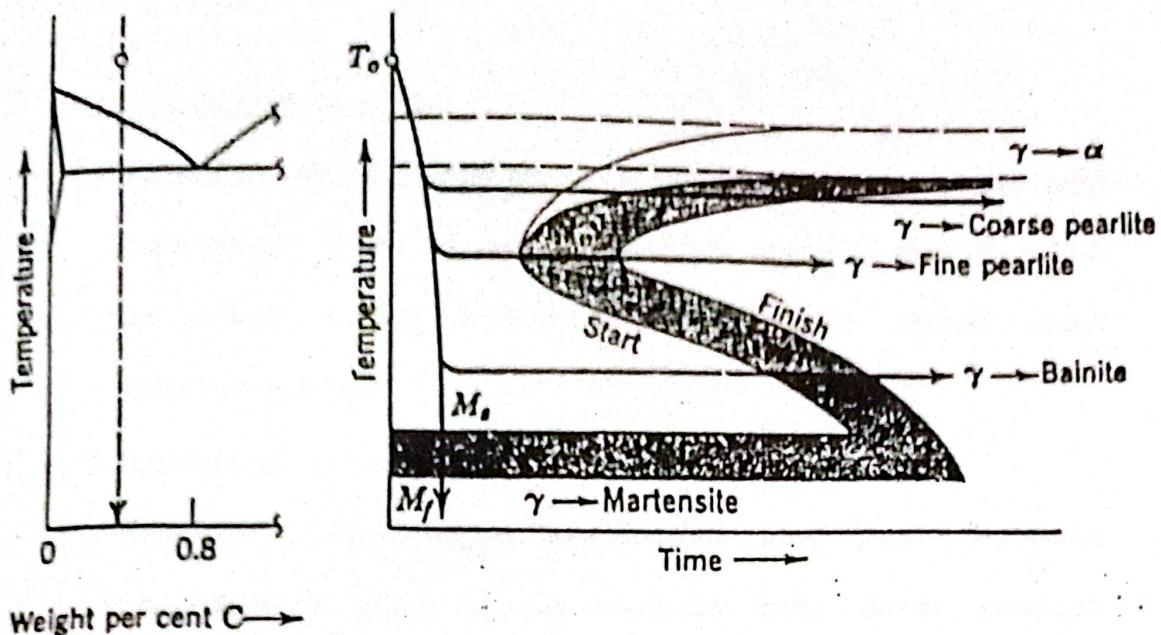
Bila baja dipanaskan hingga mencapai suhu austenit dan kemudian didinginkan perlahan-lahan selama beberapa jam untuk mencapai suhu kamar, maka struktur (fasa) yang dihasilkan adalah campuran dari ferit dan sementit atau karbida besi ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Ferit yang terbentuk diatas suhu  $723^{\circ}\text{C}$  disebut ferit pro-eutektoid, sedangkan ferit yang terbentuk dibawah suhu  $723^{\circ}\text{C}$  bergabung dalam perlit. Fraksi volume dari kedua fasa serta morfologi dari campurannya tergantung pada kadar karbon dan laju (kecepatan) pendinginan. Bila austenit didinginkan dengan cepat, maka transformasi sementit (karbida besi) tidak terjadi dan produk transformasi austenit akan berubah menjadi fasa baru yang dikenal sebagai : bainit dan /atau martensit.

- Bainit mungkin terbentuk bila austenit didinginkan dengan cepat hingga mencapai temperatur tertentu (sekitar  $200 - 400^{\circ}\text{C}$ ). Transformasi bainit ini disebabkan sebagian karena proses difusi dan sebagian lagi karena proses tanpa difusi.
- Martensit dapat terjadi bila austenit didinginkan dengan cepat sekali (dicelup) hingga temperatur dibawah temperatur pembentukan bainit.

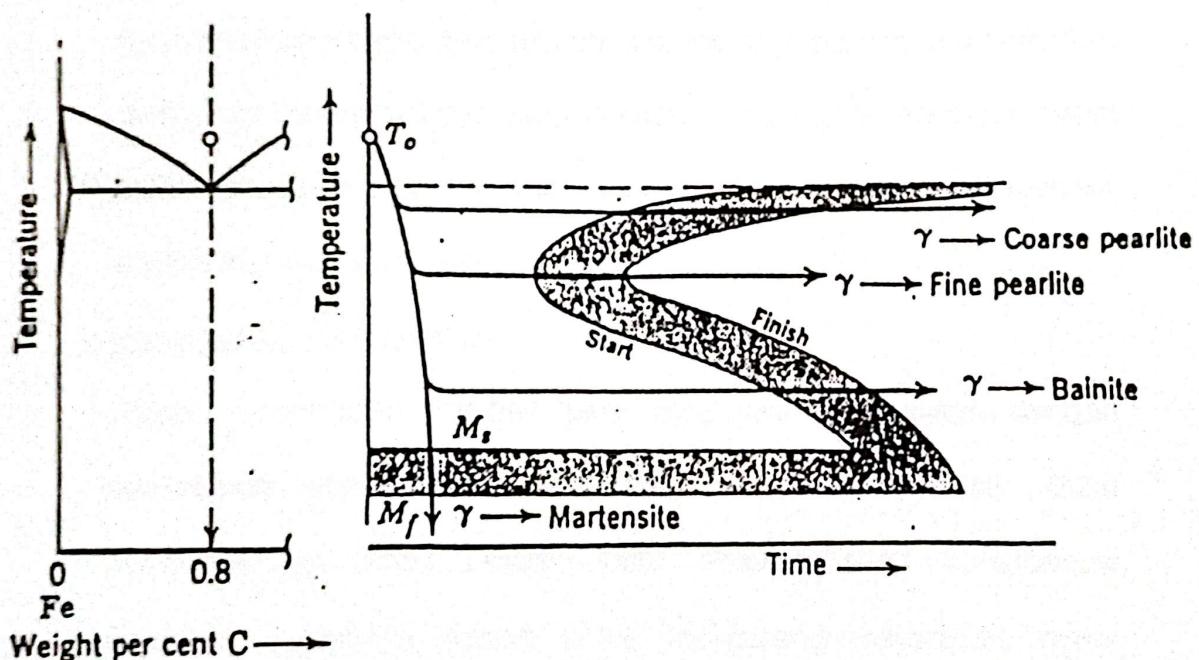
Martensit terbentuk karena transformasi tanpa difusi sehingga atom-atom karbon seluruhnya terperangkap dalam larutan super jenuh dan memberikan kekerasan yang sangat tinggi.

Keadaan ini yang menimbulkan distorsi pada struktur kristal sehingga kristal martensit membentuk BCT (Body Centered Tetragonal). Tingkat distorsi sangat tergantung kadar karbon dan menentukan kekerasan martensit.

Dari penjelasan diatas dapat dilihat bahwa diagram fasa tidak dapat lagi digunakan untuk menentukan transformasi fasa yang tergantung pada waktu (kecepatan) pendinginan. Untuk menentukan laju reaksi perubahan fasa yang terjadi dapat diperoleh dari diagram TTT (Time-Temperature-Transformation). Diagram TTT untuk baja karbon dengan C lebih kecil 0,8% (hipoeutektoid) ditunjukkan dalam Gambar 2.8 sedangkan diagram TTT untuk baja eutektoid ( $C \approx 0,8\%$ ) diberikan dalam Gambar 2.9. Seperti terlihat dalam Gambar 2.8 dan 2.9 ,diagram TTT menunjukkan bentuk hidung (nose) sebagai batasan minimum dimana sebelum waktu tersebut transformasi austenit ke perlite tidak akan terjadi. Posisi hidung dari diagram TTT dapat bergeser menurut kadar karbon, posisi hidung bergeser makin ke kanan yang berarti baja karbon itu makin mudah untuk membentuk bainit/martensit atau makin mudah untuk dikeraskan.



Gambar 2.8 Diagram TTT untuk baja karbon hipoeutektoid ( $C < 0,8\%$ ).<sup>[1]</sup>



Gambar 2.9 Diagram TTT untuk baja karbon eutektoid ( $C \approx 0,8\%$ ).<sup>[1]</sup>

Berikut ini diberikan beberapa jenis perlakuan panas yang umum dilakukan.

1. Proses anil (annealing):

Proses ini dilakukan dengan memanaskan baja hingga diatas suhu transformasi ( $723^{\circ}$  C) yaitu seluruhnya austenit, dan kemudian didinginkan secara perlahan-lahan. Tujuannya adalah untuk melunakkan baja.

2. Normalisasi:

Memanaskan baja hingga fasa menjadi austenit dan kemudian didinginkan di udara sampai mencapai suhu kamar, sehingga dihasilkan struktur normal dari ferit dan perlit.

3. Pengerasan (Hardening):

Memanaskan hingga baja seluruh fasa menjadi austenit dan kemudian didinginkan secara cepat yaitu dengan mencelupkan kedalam media pendingin seperti air, oli atau media pendingin lainnya. Tujuannya adalah mengeraskan baja.

4. Penemperan (Tempering):

Proses pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan dengan pencelupan atau yang telah diberi proses normalisasi. Suhu pemanasannya relatif rendah yaitu dibawah suhu transformasi eutektoid. Tujuannya adalah untuk mengurangi kekarasan logam sehingga keuletan (ketangguhan) logam akan naik.

5. Pembulatan Karbida (Spherodizing):

Proses pemanasan untuk menghasilkan karbida yang bulat menyerupai bola (globular) di dalam baja melalui :

- Pemanasan yang lama pada suhu di bawah eutektoid.
- Pemanasan dan pendinginan yang silih berganti di atas dan di bawah suhu eutektoid.
- Pendinginan yang sangat lambat dari suhu dengan fasa seluruhnya austenit atau dari campuran austenit dan ferit.

#### **6. Pembebasan Tegangan (Stress Relieving):**

Proses untuk menghilangkan tegangan sisa di dalam logam yaitu dengan pemanasan sampai suhu yang mendekati suhu transformasi, ditahan untuk beberapa lama dan kemudian didinginkan di udara. Proses ini dipakai untuk menghilangkan tegangan dalam produk coran, las, hasil proses pembentukan dingin, dan lain-lain.

#### **Proses Rekristalisasi**

Pada waktu proses pengelasan atau pada perlakuan panas, akibat panas yang tinggi dapat menimbulkan proses rekristalisasi yaitu proses pembentukan kristal baru yang kemudian diikuti oleh proses pertumbuhan butiran. Temperatur rekristalisasi antara 0,4 - 0,6 T<sub>m</sub> (T<sub>m</sub> = titik cair logam dalam Kelvin), tergantung pada jenis logam dan kondisi logam tersebut.

#### **2.3.4. Hubungan Antara Struktur Mikro dengan Sifat Mekanis**

Struktur ferit dan perlit dalam baja karbon seperti yang ditunjukkan dalam diagram fasa Fe<sub>3</sub>C, Gambar 2.7, merupakan fasa-fasa yang setimbang yang dicapai melalui proses pendinginan secara perlahan-

lahan. Struktur ferit mempunyai kekuatan dan keuletan yang cukup, sedangkan struktur perlit mempunyai sifat keras dan kurang ulet. Perbedaan sifat mekanis tersebut disebabkan karena kadar karbon dalam fasa ferit lebih rendah jika dibandingkan kadar karbon dalam fasa perlit.

Dalam baja karbon kedua struktur ferit dan perlit biasanya terjadi bersama-sama. Dalam hal ini, sifat mekanis baja karbon akan ditentukan oleh volume fraksi dari masing-masing fasa tersebut.

## 2.4. Pengerolan Logam [5]

### 2.4.1. Klasifikasi Proses-Proses Pengerolan

Proses pengubahan bentuk logam secara plastik dengan melewatkannya di antara rol dinamakan pengerolan. Pengerjaan ini banyak digunakan pada proses pengerjaan logam, karena memberikan kemungkinan untuk memproduksi produk akhir yang berkualitas tinggi dan mudah dikontrol. Pada pengubahan bentuk logam diantara rol-rol, benda kerja dikenai tegangan kompresi yang tinggi yang berasal dari gerakan jepit rol dan tegangan geser gesek permukaan sebagai akibat gesekan antara rol dan logam. Gaya gesek juga mempunyai pengaruh terhadap penarikan logam diantara rol.

Pembentukan awal ingot menjadi balok-balok kasar dan bilet, biasanya dilakukan dengan pengerolan panas. Kemudian dilanjutkan dengan pengerolan panas menjadi pelat, lembaran, batang, balok, pipa, rel, atau bentuk-bentuk struktur. Pengerolan dingin logam telah mencapai

kedudukan penting dalam industri. Penggerolan dingin menghasilkan lembaran, strip, dan lembaran tipis dengan penyelesaian permukaan yang baik dan bertambahnya kekuatan mekanis.

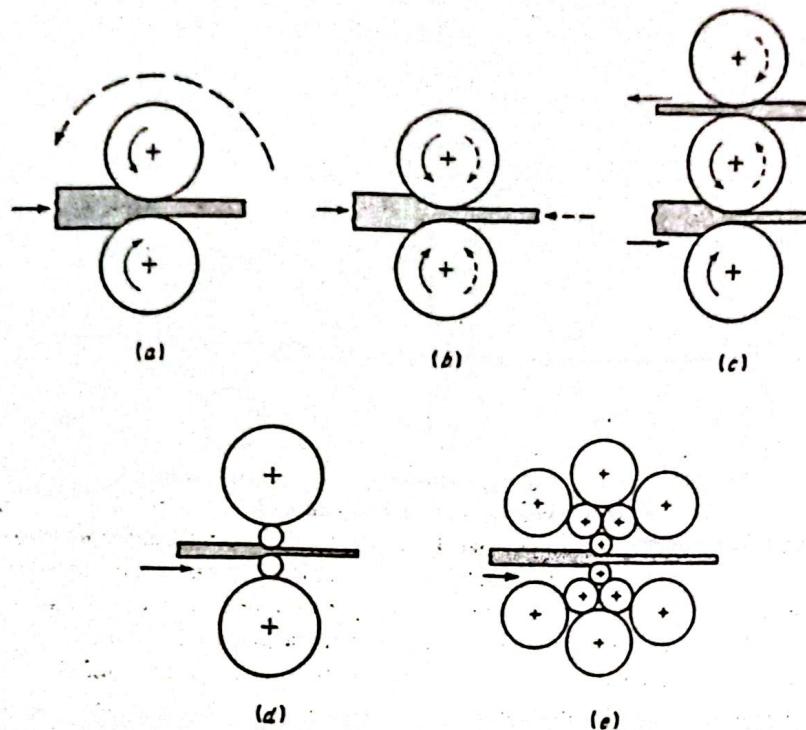
Tujuan utama penggerolan panas atau dingin konvensional adalah memperkecil tebal logam. Biasanya terjadi sedikit perubahan lebar, karena itu penurunan tebal mengakibatkan pertambahan panjang.

#### 2.4.2. Penggerolan Logam (Rolling Mill)

Penggerolan logam pada umumnya dapat digolongkan berdasarkan jumlah dan susunan rol (Gambar 2.10). Tipe penggerolan logam yang paling sederhana dan paling banyak digunakan adalah penggerolan logam dua-tingkat (Gambar 2.10a). Rol dengan ukuran yang sama diputar hanya pada satu arah. Hasil yang diperoleh dimasukkan kembali ke rol (belakang) untuk proses penggerolan berikutnya. Untuk meningkatkan kecepatan digunakan rol bolak-balik dua-tingkat, dimana benda kerja dapat digerakkan maju dan mundur melalui rol-rol yang arah putarannya dapat dibalik (Gambar 2.10b). Cara lain adalah menggunakan rol tiga-tingkat (Gambar 2.10c), terdiri atas rol atas dan rol bawah sebagai sumber gerak dan rol tengah yang bergerak akibat gesekan.

Tipe penggerol logam yang paling sederhana adalah rol empat tingkat (Gambar 2.10d). Lembaran yang sangat tipis dapat dirol menjadi lebih tipis lagi pada penggerolan dengan diameter rol yang kecil. Rol

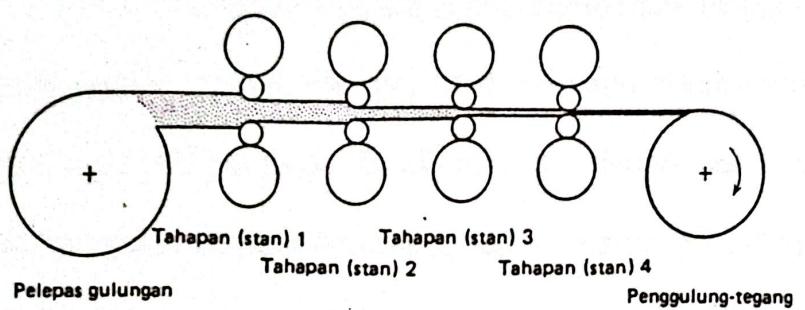
tandan (Gambar 2.10e), dimana setiap pengrolan benda kerja didukung oleh dua rol lainnya adalah tipe yang mampu melakukan hal demikian.



Gambar 2.10 Susunan rol untuk pengrol logam. (a) Searah, dua tingkat; (b) dua-tingkat, bolak-balik; (c) tiga-tingkat; (d) empat-tingkat; (e) tandem (cluster).<sup>[5]</sup>

Untuk meningkatkan hasil yang berkualitas tinggi, biasanya disusun rangkaian mesin rol logam secara seri (Gambar 2.11). Setiap pasang rol dinamakan tahapan (stan). Karena pada setiap tahap terdapat reduksi yang berbeda-beda, maka lembaran akan bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda setiap tahapnya. Kecepatan pada setiap pasang rol saling disesuaikan sedemikian hingga kecepatan masukan pada tiap

tahap sama dengan kecepatan luaran pada tahap sebelumnya. Pelepas gulungan dan penggulung produk akhir tidak hanya berfungsi sebagai pengumpulan ke pengrol dan pengumpul hasil penggerolan, tetapi juga dapat digunakan sebagai penegang balik dan penegang depan strip.



Gambar 2.11 Gambaran skematis penggerolan strip, dengan rol empat tingkat yang kontinu.<sup>[5]</sup>

#### 2.4.3. Pengerolan Panas

Proses pengerjaan panas pertama untuk sebagian besar baja dilakukan pada mesin rol kasar primer (primary roughing mill) (kadang-kadang mesin rol bloom, mesin slab atau mesin rol.cog). Mesin-mesin ini biasanya berupa mesin bolak-balik dua tingkat yang mempunyai rol berdiameter antara 24 hingga 54 inci. Mesin-mesin tersebut digolong-golongkan berdasarkan ukuran rol, misalnya mesin slab 45 inci. Proses yang terjadi adalah mengubah ingot cor menjadi bentuk bloom atau slab

untuk tahap penggeraan berikutnya, hingga pada akhirnya diperoleh bentuk batang, pelat atau lembaran. Pengubahan awal, seringkali hanya melibatkan reduksi yang kecil. Mula-mula ingot dirol pinggirannya untuk menghilangkan kerak, kemudian direduksi dengan rol, setelah ingot dibalik  $90^\circ$  sehingga letaknya datar. Pada penggerolan panas ingot terdapat ragam kelebaran yang cukup banyak. Untuk menjaga ukuran lebar yang diinginkan dan bentuk pinggirannya, ingot dibalik  $90^\circ$  pada tahapan antara dan dilewatkan melalui alur pembentuk pinggiran pada rol. Mesin balik primer mempunyai laju produksi yang relatif rendah, karena benda kerja dapat bergerak bolak-balik ke depan dan ke belakang sebanyak 10 hingga 20 kali. Apabila tujuan utamanya adalah laju produksi yang tinggi, maka tahapan pembentukan pinggiran dapat digantikan oleh mesin rol universal. Bagian utam tipe mesin ini terdiri dari dua buah mesin rol, satu mempunyai dua buah rol berdiameter besar dan yang lain adalah rol vertikal yang mengontrol lebar pada saat tebalnya direduksi. Produksi slab dari ingot cor dengan cara penggerolan panas dapat diganti dengan pemakaian pengecoran kontinu untuk menghasilkan slab langsung dari baja cair. Metode lain untuk menghasilkan slab adalah dengan menggunakan pengecoran tekanan-dasar (bottom-pressure casting).

Pelat-pelat diproduksi dengan cara penggerolan panas, baik dengan pemanasan kembali slab maupun langsung dari ingot. Pelat terpotong diproduksi dengan cara penggerolan antara rol horizontal lurus dan kemudian seluruh sisinya dipangkas. Tepian rol (mill edge) adalah tepian

yang lazim dihasilkan oleh proses penggerolan panas antara dua buah rol akhir. Pelat-pelat tepi rol dua buah tepian rol dan dua buah tepian pangkas. Pelat-pelat mesin rol-universal adalah pelat yang dirol pada mesin universal dan dipangkas hanya pada ujung-ujungnya saja.

Perbedaan umum antara strip dan lembaran (sheet) adalah bahwa lebar lembaran lebih kecil dari 24 inci. Akan tetapi, tanpa memperhatikan berapa lebarnya, maka peralatan untuk menghasilkan produk-produk dikenal sebagai mesin strip-panas kontinu (continues hot-strip mill). Pada peralatan-peralatan proses strip panas yang baru pertama slab pemanasan ulang melalui pemecah kerak (calebreaker), kemudian masuk kerangkaian rol kasar yang terdiri dari empat buah mesin empat tingkat. Jika lembaran yang akan diproduksi lebih besar dibanding lebar slab, maka tahap pertama pada rangkaian pengantar adalah mesin pemerluas, dimana lebar slab biasanya dilengkapi rol pembentuk-tepi vertikal untuk mengontrol lebar kupasan. Semburan jet bertekanan tinggi dipergunakan menghilangkan kerak. Tahapan penyelesaian akhir terdiri atas pemotong geser untuk memperoleh panjang yang diinginkan atau penggulung untuk menghasilkan produk yang panjang. Pada penggerolan panas baja, slab mula-mula dipanasi pada suhu 2000 hingga  $2400^{\circ}$  F. Suhu pada tahap akhir bervariasi antara 1300 hingga  $1600^{\circ}$  F, tetapi harus lebih tinggi dari suhu kritis atas untuk menghasilkan butiran-butiran ferit sesumbu (equiaxed) yang seragam.

Karena industri-industri logam bukan besi melibatkan produk-produk yang beraneka ragam, maka peralatan yang digunakan untuk penggerolan panas bahan-bahan tersebut biasanya kurang bersifat khusus dibanding peralatan yang digunakan untuk baja. Ukuran ingot yang lebih kecil serta tegangan-tegangan alir yang lebih rendah yang dijumpai pada sebagian besar paduan-paduan bukan besi, memungkinkan pemakaian mesin rol yang lebih kecil. Mesin bertingkat dua atau tiga adalah tipe yang lazim digunakan untuk sebagian penggerolan panas paduan-paduan bukan besi, walaupun untuk paduan aluamunium digunakan mesin bertingkat empat.

#### 2.4.4. Penggerolan Dingin

Penggerolan dingin dipergunakan untuk meghasilkan lembaran dan strip yang memiliki kualitas permukaan akhir yang lebih baik serta kesalahan dimensional yang lebih kecil dibanding hasil proses penggerolan panas. Selain itu, pengerasan regang yang diperoleh dari reduksi dingin dapat digunakan untuk menaikkan kekuatan. Sebagian besar logam-logam bukan besi lebih banyak menggunakan proses akhir penggeraan dingin dibanding penggeraan panas untuk baja. Bahan baku untuk penggerolan dingin lembaran baja adalah koil hasil penggerolan panas yang dibersihkan dengan asam hasil mesin strip-panas kontinu. Lembaran logam bukan besi rol-dingin dapat diproduksi dari strip rol-biasa panas, atau pada kasus tertentu, misalnya pada paduan-paduan tembaga,

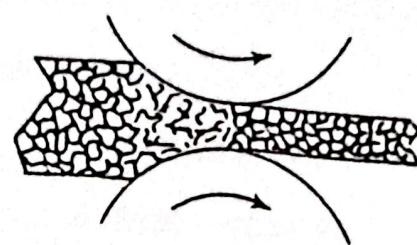
lembaran diperoleh dengan cara pengrolan langsung dari logam tuangnya.

Mesin tandem empat tingkat kecepatan tinggi yang mempunyai tiga hingga lima stan adalah jenis yang digunakan untuk pengrolan dingin lembaran baja, alumunium dan paduan-paduan tembaga. Biasanya jenis mesin ini dirancang untuk menghasilkan tegangan tarik ke depan dan ke belakang. Di mesin kontinu mempunyai kapasitas yang tinggi dan biaya tenaga produksi yang rendah. Sebagai contoh, kecepatan pengeluaran mesin kontinu lima stan dapat mencapai 3048 cm/dt. Akan tetapi peralatan tersebut memerlukan modal yang besar dan kurang serba guna. Mesin pembalik stan tinggal empat tingkat dengan penegang dibagian depan dan belakang adalah instalasi yang lebih serba guna. Tipe ini sering dipergunakan untuk menghasilkan jenis produk khusus dengan dimensi yang sangat beragam. Akan tetapi, jenis ini tidak dapat bersaing dengan mesin tandem kontinu yang melibatkan kemampuan tonase yang besar. Reduksi total yang dicapai dengan pengrolan dingin, biasanya beragam dari 50 hingga 90%. Dalam menentukan besarnya reduksi pada pas atau tiap stan, sedapat mungkin persentasi reduksinya diseragamkan, sehingga tidak terdapat stan tertentu yang mereduksi jauh lebih besar dibanding yang lain. Pada umumnya reduksi terkecil terdapat pada tahap akhir agar diperoleh pengrolan yang lebih baik terhadap ukuran, keretakan dan kondisi akhir permukaan. Salah satu prosedur yang rasional untuk menyusun tahapan pengrolan dingin adalah melakukan

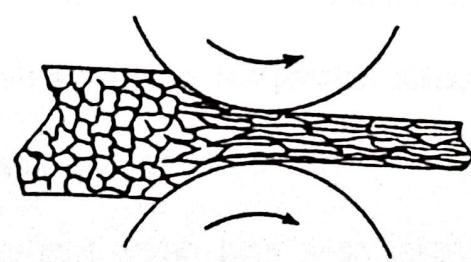
38

pengaturan pada setiap tahapan sedemikian hingga menghasilkan beban pengrolan yang konstan.

Penghilangan titik luluh dari lembaran baja yang dilunakkan (dianil) adalah suatu persoalan praktis yang penting, karena adanya perpanjangan titik luluh akan mengakibatkan ketidak homogenan cacat permukaan deformasi (regangan akibat penarikan) selama penarikan dalam atau pembentukan. Blasanya pada baja anil diterapkan cara-cara reduksi dingin rendah, pengrolan temper atau " skin pass " untuk menghilangkan perpanjangan titik luluh. Pengrolan temper juga akan menghasilkan perbaikan permukaan dan kerataan. Metode-metode lain yang dapat digunakan untuk mempertinggi kerataan lembaran yang dirol adalah pendataran rol (roller leveling) dan pendataran penarikan (stretcher leveling). Suatu pendatar rol terdiri dari dua pasang rol berdiameter kecil yang disusun sedemikian hingga barisan puncak dan dasar tidak sebaris. Apabila lembaran logam dimasukkan ke dalam pendatar (leveler), maka lembaran ini dibengkokkan ke atas dan ke bawah, dan lembaran lurus pada saat keluar dari rol. Pendatar tarik terdiri atas dua buah rahang yang memegang pinggiran lembaran dan menegangkannya dengan gaya tegangan tarik murni.



(a)



(b)

**Gambar 2.12** Proses penggerolan pada logam. (a) penggerolan panas; (b) penggerolan dingin.<sup>[3]</sup>

## 2.5. Proses Pembuatan Baja Plat

### 2.5.1. Slab Yard

Slab yard merupakan area dimana slab-slab yang akan diproses disimpan. Area slab yard berada dekat dengan unit furnace. Slab yang berada di slab yard berasal dari Slab Steel Plant (SSP). Adapun dimensi dari slab tersebut adalah:

Lebar	=	600 - 2080 mm
Panjang	=	6000 - 12000 mm
Tebal	=	200 - 250 mm
Berat	=	maks. 30 ton

### 2.5.2. Reheating Furnace

Slab yang telah disusun berdasarkan program rolling dimasukkan ke dalam furnace secara berurutan. Proses pemanasan ulang dari slab baja di Furnace dimaksudkan untuk mendapatkan temperatur slab antara  $1250 - 1300^{\circ}\text{C}$ . Dengan range temperatur sekian diharapkan proses rolling akan berlangsung dengan efektif.

Dari dalam Furnace inilah slab akan dikeluarkan dengan alat , Pusher (Reheating Furnace I) dan Extractor (Reheating Furnace II) untuk diletakan di atas Hot Roller Table yang akan membawa slab ke proses berikutnya.

### Sfesifikasi furnace I

Pabrik pembuat	: OFU, Jerman Barat
Tipe	: Double Pusher
Ukuran	: 13 x 39 M
Kapasitas	: 300 Ton/Jam
Bahan bakar	: Residu dan Gas Alam
Temperatur kerja	: 1250 – 1300 <sup>0</sup> C
Zona pembakaran	: 7 Zona
Efisiensi	: 40 %

### Sfesifikasi Furnace II

Pabrik pembuat	: Stein Heurtey, Prancis
Tipe	: Walking Beam
Ukuran	: 13 x 39 M
Kapasitas	: 300 Ton/Jam
Temperatur kerja	: 1250 – 1300 <sup>0</sup> C
Zona pembakaran	: 8 Zona
Efisiensi	: ± 52 %

### 2.5.3. Water Descaler

Efek dari pemanasan ulang pada permukaan slab akan timbul scale sebagai akibat dari reaksi (Fe) dengan udara (Oksigen) kelebihan sisa pembakaran. Pada proses ini scale dibersihkan dengan semprotan air

yang bertekanan 180 - 200 bar, dengan arah  $15^\circ$  terhadap garis horizontal, sedangkan letak nozel berada dibagian atas dan bawah dari unit water descaler.

#### **2.5.4. Sizing Press**

Slab yang sudah dipanaskan oleh reheating furnace, dikirim melalui roll table melalui water descaler ke alat sizing press. Sizing press berfungsi untuk mereduksi lebar slab. Prinsip kerja alat ini ialah slab dipukul-pukul dari samping. Untuk mencegah pertambahan tebal maka di dekat dies dipasang roll atas dan roll bawah. Walaupun telah dipasang roll tersebut, pertambahan tebal masih tetap ada hanya tidak terlalu besar. Reduksi maksimum yang dapat dilakukan oleh alat ini sebesar 350 mm.

#### **Spesifikasi Sizing Press**

Pabrik pembuat / Negara	: IHI / Jepang
Motor utama	: AC 2800 KW x 200 rpm
Dimensi	: 200 x 1270 x 10000 mm
Reduksi tebal	: 0 - 350 mm
Arah reduksi	: Bolak-balik (reverse) atau searah
Temperatur proses	: $1200^\circ\text{C}$
Gaya press	: 2000 ton
Lebar slab minimal	: 600 mm (setelah dipress)

### **2.5.5. Roughing Mill**

Proses penggerolan di roughing mill hanya menghasilkan rollan yang kasar bila dilihat dari surface finishnya. Suhu slab memasuki unit roughing mill sekitar  $1000 - 1100^{\circ}\text{C}$ . Mode operasi untuk proses ini merupakan penggerolan yang berulang-ulang secara bolak-balik (reverse). Istilah Vorband / transferband dipakai untuk slab yang telah mengalami proses penggerolan pada unit roughing mill. Penggerolan ini dapat dilakukan 5 sampai 9 kali tergantung ketebalan vorband yang diminta oleh unit finishing atau berdasarkan press schedule.

#### **Sfesifikasi Rouhging Mill**

Pabrik pembuat / Negara : Schloeman Siemag / Jerman

Tipe mill : 4 High

Rolling speed : 4,5 m/detik

Temperatur proses :  $1000 - 1100^{\circ}\text{C}$

Motor penggerak : Twin DC  $2 \times 4700\text{ KW}$

Mode operasi : Reversing 5 - 9 phase, tebal slab 200 mm direduksi sampai 22 - 38 mm

Diameter Back Up Roll : 1600 - 1440 mm

Diameter Work Roll : 1200 - 1000 mm

### **2.5.6. Thermo Panel**

Unit thermo panel dimaksudkan untuk mencegah terjadinya penurunan temperatur vorband dalam perjalanan dari roughing mill menuju unit finishing karena jarak antara unit roughing mill dengan finishing mill adalah relatif jauh. Cara kerja dari thermo panel adalah menyelubungi vorband diatas delay roll table dengan semacam alat selubung yang bersifat isolator.

### **2.5.7. Finishing Mill**

Vorband/trnsferband setelah keluar dari roughing mill dan melewati unit thermo panel akan direduksi kembali di keenam finishing stand, dari ketebalan 28 - 38 mm menjadi 1,8 mm (min) - 25 mm (maks). Sebelum mencapai finishing mill, vorband akan melewati dahulu suatu alat pemotong yang dinamakan Crop Shear. Fungsi crop shear untuk memotong Head vorband dan End vorband agar tidak terjadi Coble (kegagalan vorband).

Vorband setelah mengalami proses pemotongan dilanjutkan dengan penyemprotan air yang bertekanan  $\pm$  200 bar yang berasal dari nozel. Hal ini dilakukan untuk meghilangkan secondary scale saat perjalanan menuju finishing mill. Penyemprotan air yang bertekanan tinggi terjadi pada stand I sampai stand III. Temperatur vorband/transferband masuk ke unit finishing mill pada range  $850 - 900^{\circ}\text{C}$ .

### **Sfesifikasi Finishing Mill**

Pabrik pembuat / Negara	: F1 - F5 (Schloemann / Jerman)
	: F6 (Hitachi / Jepang)
Tipe mill	: 4 High, 6 stand tandem mill
Pengerak utama	: F1 - F3 (Motor DC 6 x 4100 KW)
	: F4 - F6 (Motor DC 3 x 4410 KW)
Ukuran Work Roll	: - Diameter : 735 mm (maks) - Panjang : 2240 mm (F1 - F3)  2690 mm (F4 - F6)
Ukuran Back Up Roll	: - Diameter : 1600 mm (maks) - Panjang : 2240 mm
Mode operasi	: Pengerolan kontinu
Ketebalan masuk (entry)	: 28 - 38 mm
Ketebalan hasil (finishing)	: 1,8 - 25 mm
Temperatur proses	: 850 - 900°C

### **2.5.8. Laminar Cooling**

Strip yang baru selesai diproses harus dilakukan heat treatment agar strip tersebut memiliki sifat yang diinginkan. Heat treatment ini dilakukan dengan cara menyiram air . Aliran air harus bersifat laminar.

#### **Sfesifikasi Laminar Cooling**

Jumlah Zona Kasar	:	16 Zona
Jumlah Zona Halus	:	8 Zona
Debit air zona kasar atas dan bawah	:	231 m/jam
Debit air zona halus atas dan bawah	:	115 m/jam

#### **2.5.9. Down Coiler**

Down coiler berfungsi sebagai penggulung strip hasil proses penggerolan di finishing mill. Strip baja yang keluar dari finishing mill dibawa ke down coiler melewati laminar cooling. Agar strip berada di tengah-tengah roll table maka posisi strip diatur terlebih dahulu oleh side guide. Strip masuk kedalam down coiler dengan panduan pinch roll unit.

#### **Sfesifikasi Down Coiler**

Pabrik pembuat / Negara	:	Schloemann Siemag (Jerman)
Diameter mandrel	:	765 mm (ketika membuka maksimum)
Motor penggerak	:	Motor DC 800 KW
Wrapper roll	:	3 buah
Diameter wrapper roll	:	380 mm
Main drille motor	:	3 x 49 W DC
Tempertur coil	:	600°C
Kecepatan strip	:	23 m/detik (maks)

### **Ukuran coil**

- : - Tebal : 1,8 - 25 mm**
- Lebar : 600 - 2080 mm**
- Berat : 30 ton (maks)**

### BAB III

## METODE PENGUJIAN

### 3.1. Data Benda Uji

Baja pelat yang akan digunakan dalam pengujian ini adalah baja pelat tipe API5LX42 yang diproduksi oleh PT. Krakatau Steel, Cilegon. Pada umumnya digunakan untuk bahan konstruksi pipa air dan pipa minyak yang memerlukan sifat mekanis dan tahan terhadap perubahan temperatur.

Adapun komposisi kimia dari baja pelat tipe API5LX42 disesuaikan berdasarkan Steel Grade No. 1K1708 adalah Sbb. :

C = 0,15 - 0,17 %                          Al = 0,030 - 0,060 %

Mn = 0,60 - 0,80 %                          P = Max. 0,020 %

Si = 0,15 - 0,30 %                          S = Max. 0,007 %

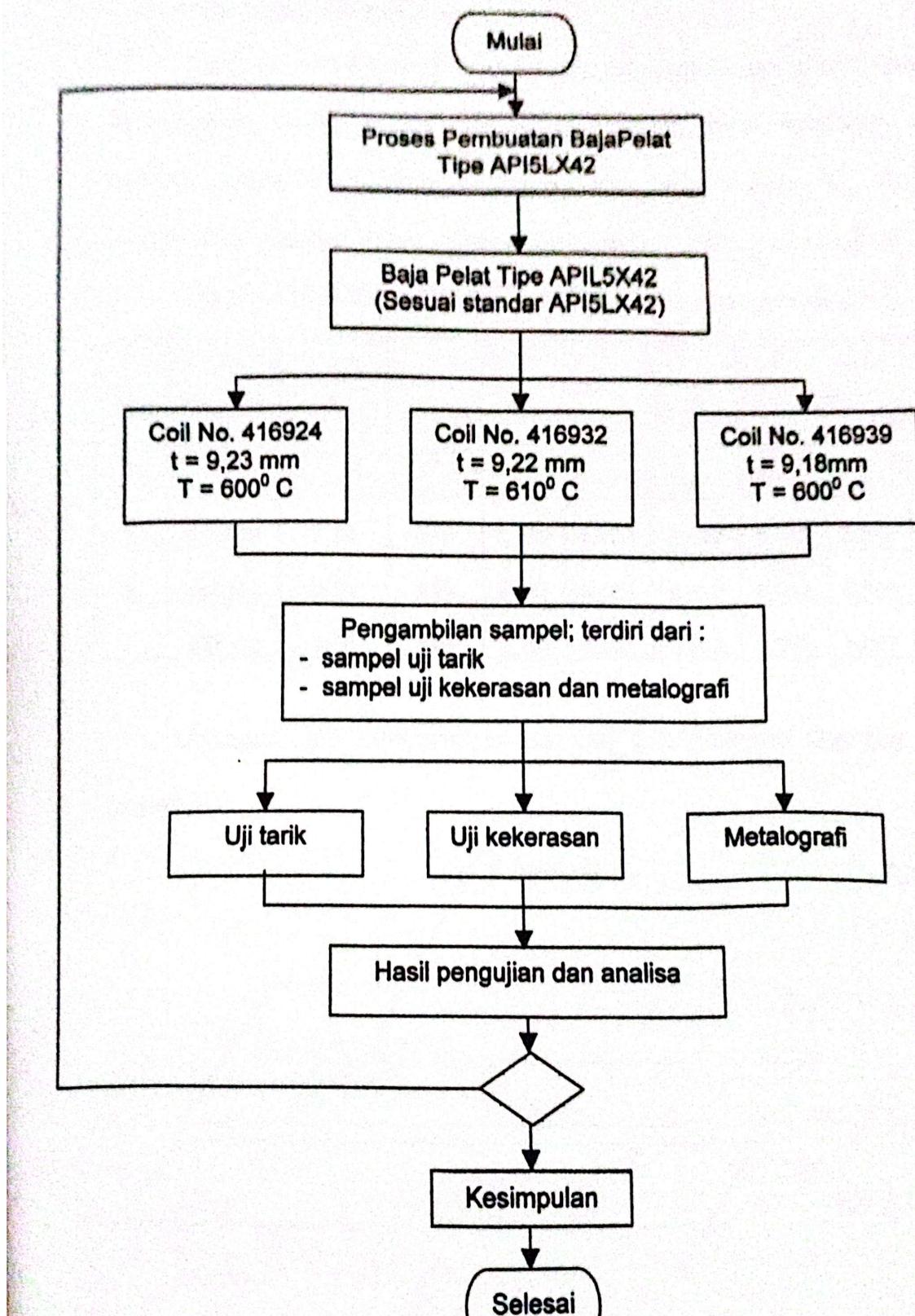
Sedangkan sifat mekanis untuk baja pelat tipe API5LX42 disesuaikan berdasarkan standar API5L X42 adalah sebagai berikut :

$\sigma_y$  (Tegangan luluh) = Min. 289 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_u$  (Tegangan max.) = Min. 413 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon$  (Regangan) = Min. 29,5 %

Adapun langkah pengujian yang dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

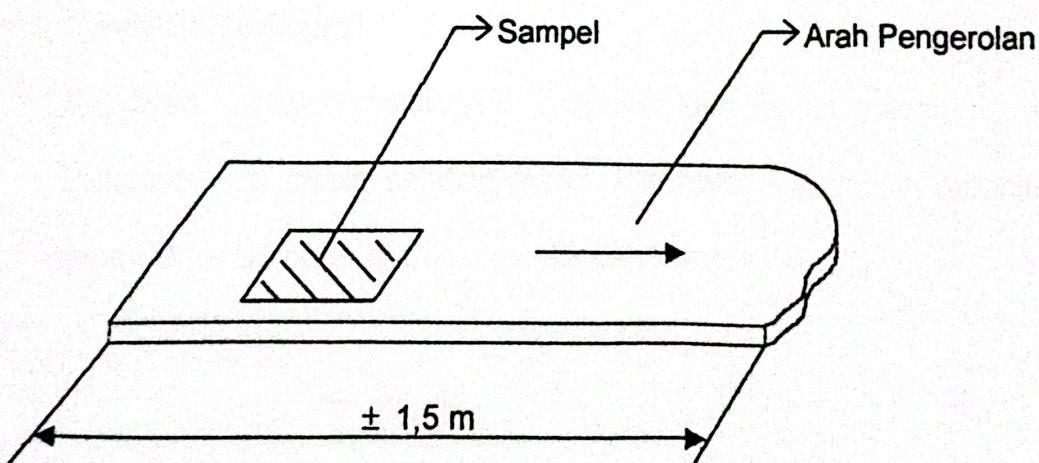
### 3.2. Pengambilan Sampel

Sampel " API 5 L X 42 " diambil dari hasil proses penggerolan panas, berdasarkan urutan nomor coil yang berbeda serta ketebalan yang berbeda pada temperatur range antara 600 - 610 °C. Adapun pengambilan sampel dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut dibawah ini :

Tabel 3.1 Data baja pelat tipe API5LX42 untuk masing-masing coil

No.	No. Coil	t (mm)	T (°C)	KOMPOSISI KIMIA (%)					
				C	Si	Mn	P	S	Al
1.	416924	9,23	600	0,162	0,203	0,699	0,013	0,010	0,036
2.	416932	9,22	610	0,167	0,159	0,695	0,015	0,005	0,034
3.	416939	9,18	600	0,150	0,261	0,612	0,020	0,007	0,031

Adapun cara pengambilan sampel sebagaimana Gambar 3.5 di bawah ini



Gambar 3.5 Cara pengambilan sampel.

### 3.3. Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Mesin pengujian tarik

Merek : Schenck Trebel (Jerman)  
Tipe : 3962  
Beban Maksimum : 1000 KN

#### 2. Mesin pengujian kekerasan

Merek : Schenck Trebel (Jerman)  
Metoda uji : Hardenes Vickers  
Sudut intan :  $136^0$   
Beban maksimum : 250 Kg  $\approx$  2451,75 N

#### 3. Peralatan Metalografi

Peralatan untuk metalografi terdiri dari mesin potong merek Discotom – 2, mesin grinding merek Plankopol – 2, mesin polishing merek DP – U3 serta mikroskop optik dan kamera.

### 3.4. Uji Tarik

Uji tarik dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji.

Tegangan diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas awal penampang lintang benda uji.

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

$\sigma$  = Tegangan tarik ( $\text{N/mm}^2$ )

P = Beban tarik (N)

$A_0$  = Luas awal ( $\text{mm}^2$ )

Regangan diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur (gage length) benda uji,  $\Delta L$ , dengan panjang awal.

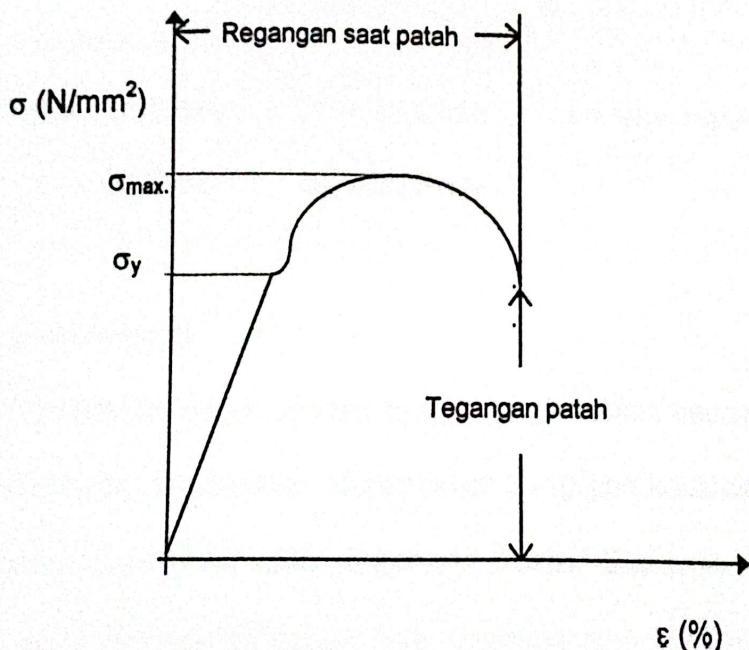
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$\epsilon$  = Regangan (%)

$L_0$  = Panjang awal (mm)

$L_1$  = Panjang setelah ditarik (mm)

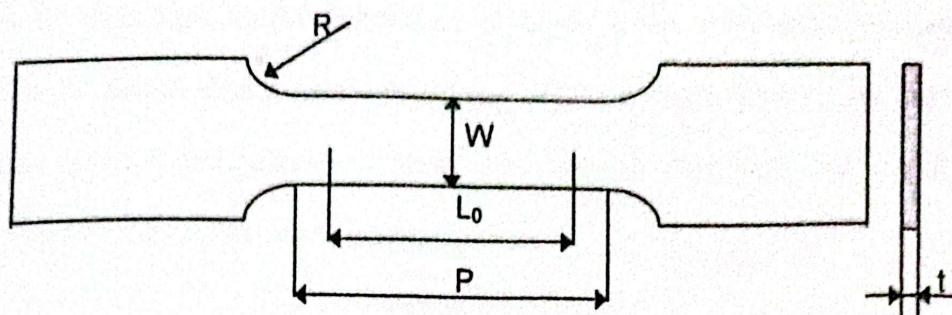
Bentuk dan besaran pada kurva tegangan-regangan suatu logam tergantung pada komposisi, perlakuan panas, deformaasi plastik yang pernah dialami, laju regangan, suhu, dan keadaan tegangan yang menentukan selama pengujian. Parameter-parameter yang digunakan untuk menggambaran kurva tegangan-regangan logam adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh atau titik luluh, persen perpanjangan, dan pengurangan luas. Dan parameter pertama adalah parameter kekuatan; sedangkan dua yang terakhir menyatakan keliatan bahan.



Gambar 3.6 Kurva tegangan-regangan.

Dalam pengujian ini, sampel untuk uji tarik dipotong dengan arah memanjang (longitudinal). Beban maksimum yang digunakan adalah

500 KN. Sedangkan dimensi untuk specimen uji tarik dibuat berdasarkan standar API dengan ketentuan sebagaimana Gambar 3.7 berikut ini :



Gambar 3.7 Specimen uji tarik.

Keterangan :

$$R = 25,4 \text{ mm} \quad P = 57,2 \text{ mm} \quad t = \text{tebal material}$$

$$W = 38,1 \text{ mm} \quad L_0 = 50,8 \text{ mm}$$

### 3.5. Uji Kekerasan

Kekerasan dapat dengan mudah didefinisikan sebagai ketahanan logam terhadap penekanan. Kebanyakan pengujian kekerasan mengukur ketahanan logam terhadap deformasi plastis. Biasanya indentor (alat tekan) yang dipakai berbentuk bola, viramida atau konis (kerucut) yang ditekan ke permukaan logam dan kemudian luas bekas penekanan (indentasi) diukur. Ada beberapa metoda pengukuran kekerasan, tetapi yang umum dipakai adalah cara Brinell, Rockwell, dan Vickers.

Pada pengujian ini, metoda uji kekerasan yang digunakan adalah metoda Vickers, yang menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Beban maksimum yang digunakan adalah 0,3 Kg. Angka kekerasan piramida intan (HV) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya luas dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal. HV dapat ditentukan dari persamaan sebagai berikut :

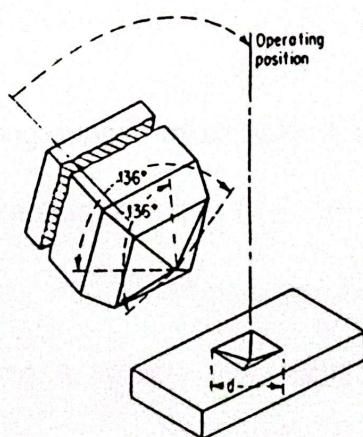
$$HV = \frac{1,854P}{d^2}$$

dimana :

$P$  = Beban yang diberikan, kg

$d$  = Diagonal rata-rata, mm

Sedangkan sampel untuk uji kekerasan, adalah sampel untuk metalografi, dengan pengukuran kekerasan searah tebal pelat.

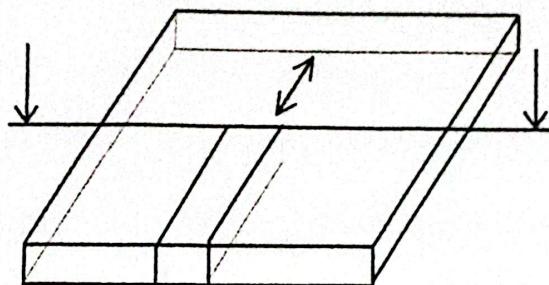


Gambar 3.8 Indentor piramid intan Vickers.<sup>[2]</sup>

### 3.6. Metalografi

Metalografi adalah pengetahuan mengenai karakteristik struktural dari logam dan paduan yang bersifat mikroskopis. Tujuannya dalam hal adalah untuk mengetahui struktur mikro dari baja pelat API5LX42

Pada pengujian ini, sampel untuk metalografi diambil searah proses penggerolan dan berdasarkan ketebalan pelat seperti terlihat pada Gambar 3.9 di bawah ini :



Gambar 3.9 Arah pemotongan sampel untuk Metalografi.

#### Prosedur pengujian :

Sampel dipotong dengan mesin potong Discotom – 2 dengan arah melintang, selama pemotongan harus dihindari perubahan struktur akibat panas yang timbul saat pemotongan berlangsung.

Setelah pemotongan, sampel dimounting dalam cetakan platik yang dicor dengan suatu resin dan hardener. Tujuan dari proses mounting ini adalah untuk menjamin permukaan sampel rata setelah dipreparasi, serta mudah dipegang selama proses preparasi (grinding dan polishing).

Sampel yang sudah dimounting tadi lalu digrinding dengan mesin grinding putar dengan menggunakan amplas silikon karbid dengan tingkat kekerasan yaitu mulai dari 180 ccw, 240 ccw, 600 ccw, dan 1200 ccw atau mulai dari 180 ccw, 320 ccw, 800 ccw, dan 1000 ccw.

Pada saat sampel digrinding, kertas amplas harus selalu dialiri air bersih secara terus menerus. Hal ini bertujuan untuk menghindari timbulnya panas pada permukaan sampel.

Mula-mula sampel diamplas dengan kertas amplas yang paling kasar (180 ccw) hingga yang paling halus (1200 ccw). Setiap penggantian amplas, sampel diputar  $90^{\circ}$  sehingga diperoleh goresan baru yang tegak lurus dan relatif lebih halus dari goresan sebelumnya.

Kemudian dilakukan proses pencucian dengan menggunakan air bersih, diberi etanol/metanol dan dikeringkan dengan alat pengering (hair dryer). Setelah itu sampel dioles dengan pasta Alumina dengan menggunakan mesin poles.

Pemolesan dilakukan dengan pasta Alumina dari tingkat kehalusan  $6 \mu\text{m}$ ,  $1 \mu\text{m}$ , dan  $0,25 \mu\text{m}$  dengan medium pendingin air. Sampel dipegang dengan kuat dan diberi sedikit tegangan dengan perputaran 150 rpm dan diputar searah jarum jam sekitar  $10^{\circ}$  dan digeser sampai bekas goresan hasil grinding maupun tingkat kehalusan  $6 \mu\text{m}$  hilang, seperti cermin dan bebas dari flek atau cacat lainnya.

Setelah itu sampel dietsa , dengan mencelupkannya ke larutan Nital 3 -4% dengan waktu kurang lebih 2 - 4 menit, kemudian langsung dibilas dengan air dan dikeringkan dengan alat pengering.

Akhirnya sampel siap diamati dengan mikroskop optik, dan setelah terlihat struktur mikronya dengan jelas dilakukan pemotretan dengan perbesaran 100, 200, dan 500 X.

## BAB IV

### HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

#### 4.1. Hasil Uji Tarik

Data hasil uji tarik untuk baja pelat tipe API5LX42 dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1 Data hasil uji tarik baja pelat tipe API5LX42

No. Coil	t (mm)	W (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	L <sub>0</sub> (mm)	L <sub>1</sub> (mm)	F <sub>y</sub> (KN)	F <sub>u</sub> (KN)	σ <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	ε (%)
416924	9,23	38,0	350,74	50,8	72	125	170	356,4	481,7	42
416932	9,22	38,0	350,36	50,8	71	119	168	339,6	479,5	40
416939	9,18	38,0	348,84	50,8	71	129	172	369,8	493,1	40

Keterangan :

t = tebal pelat (mm)

F<sub>y</sub> = beban luluh (KN)

W = lebar penampang (mm)

F<sub>u</sub> = beban maksimum (KN)

A = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

σ<sub>y</sub> = tegangan luluh (N/mm<sup>2</sup>)

L<sub>0</sub> = panjang mula-mula (mm)

σ<sub>u</sub> = tegangan maksimum (N/mm<sup>2</sup>)

L<sub>1</sub> = panjang setelah ditarik (mm) ε = regangan / elongation (%)

#### 4.2. Hasil Uji Kekerasan

Data hasil uji kekerasan untuk baja pelat tipe API5LX42 dapat dilihat pada Tabel di bawah ini :

Tabel 4.2 Data hasil uji kekerasan Coil No. 416924

No. Coil	Titik Penekanan	HV (N/mm <sup>2</sup> )	HVRata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
416924	1	1635,8	1483,9
	2	1567,2	
	3	1430,8	
	4	1430,8	
	5	1442,6	
	6	1454,4	
	7	1442,6	
	8	1442,6	
	9	1454,4	
	10	1515,2	
	11	1454,4	
	12	1477,9	
	13	1580,8	
	14	1515,2	
	15	1383,7	
	16	1515,2	

Tabel 4.3 Data hasil uji kekerasan Coil No. 416932

No. Coil	Titik Penekanan	HV (N/mm <sup>2</sup> )	HVRata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
416932	1	1590,7	1452,4
	2	1503,4	
	3	1554,4	
	4	1594,6	
	5	1419	
	6	1430,8	
	7	1364,2	
	8	1262,2	
	9	1374,9	
	10	1408,3	
	11	1430,8	
	12	1477,9	
	13	1396,5	
	14	1396,5	
	15	1505,4	
	16	1527,9	

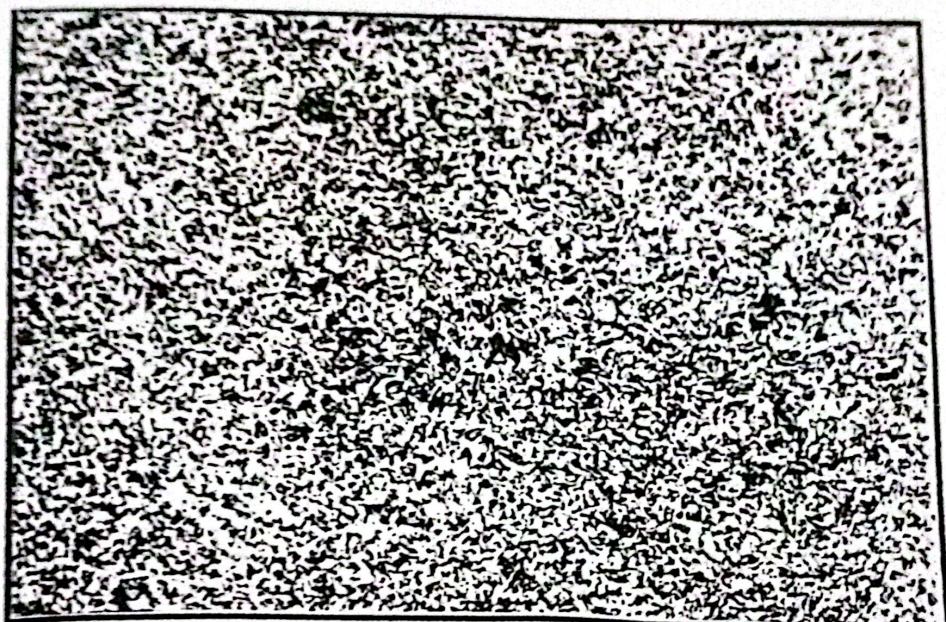
Tabel 4.4 Data hasil uji kekerasan Coil No. 416939

No. Coil	Titik Penekanan	HV (N/mm <sup>2</sup> )	HVRata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
416939	1	1635,8	1550,3
	2	1527,9	
	3	1505,4	
	4	1567,2	
	5	1466,2	
	6	1527,9	
	7	1430,8	
	8	1490,6	
	9	1503,4	
	10	1396,5	
	11	1442,6	
	12	1515,2	
	13	1607,4	
	14	1739,7	
	15	1724,1	
	16	1724,1	

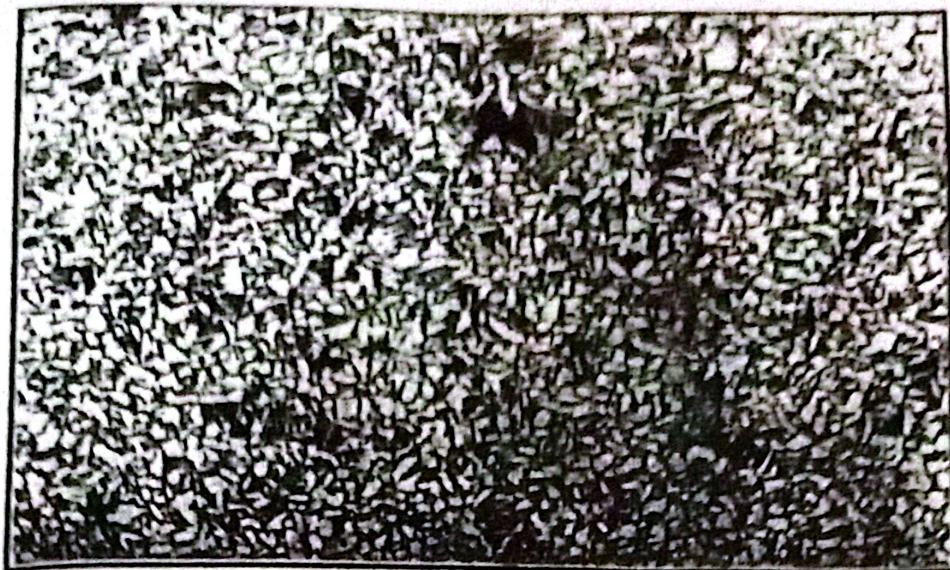
#### 4.3. Hasil Metalografi

Pengamatan struktur mikro pada foto hasil metalografi baja pelat tipe API5LX42 untuk masing-masing nomor coil menunjukkan bahwa fasa yang terjadi adalah ferrit dan perlit yang dapat dilihat pada gambar berikut ini :

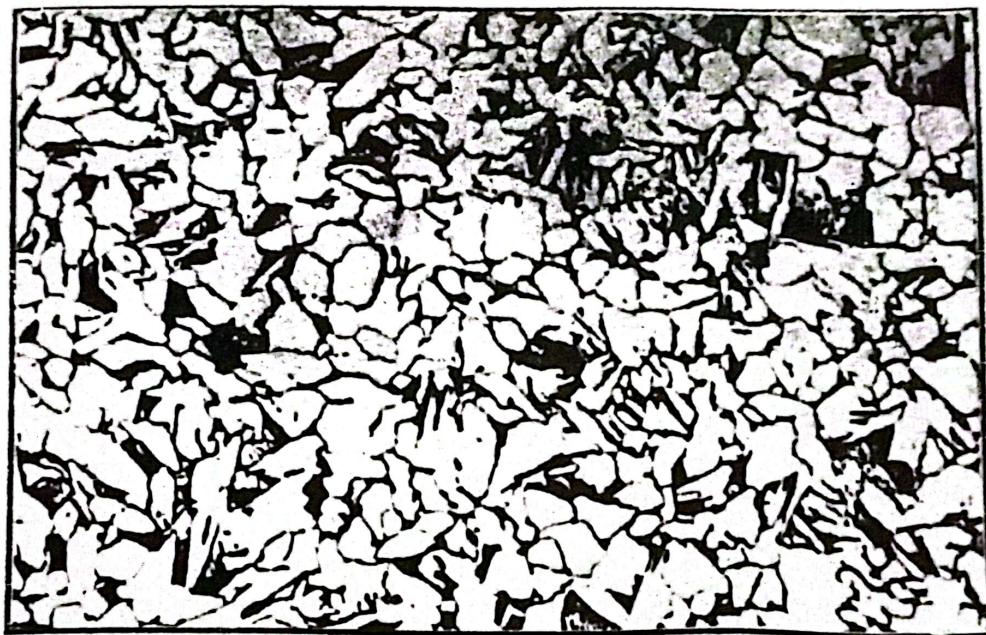
1. Coil No. 416924;  $q = 32.15\%$ ;  $t = 9.23 \text{ mm}$ ;  $T = 600^\circ\text{C}$



Perbesaran 100 X



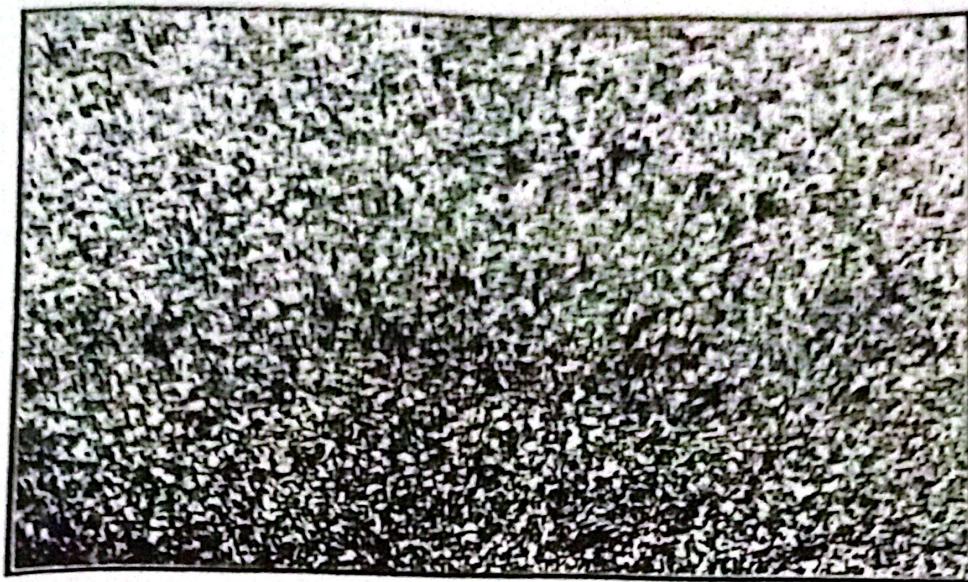
Perbesaran 200 X



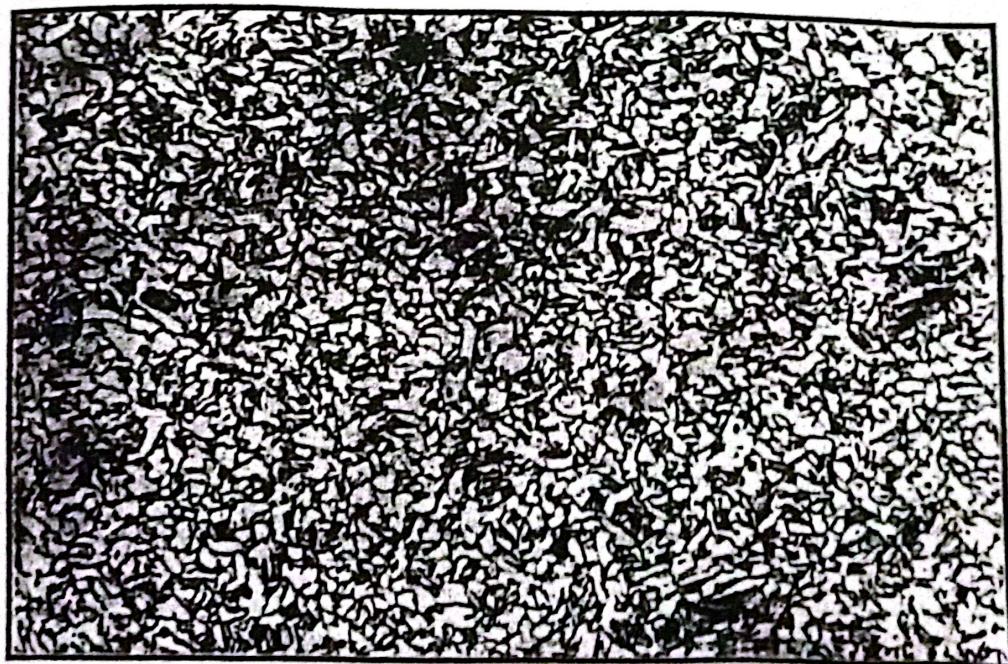
Perbesaran 500 X

Gambar 4.1 Struktur mikro Coil No. 416924

2. Coil No. 416932;  $t = 9.22 \text{ mm}$ ,  $g = 34.72\%$ ,  $T = 510^\circ\text{C}$



Perbesaran 100 X



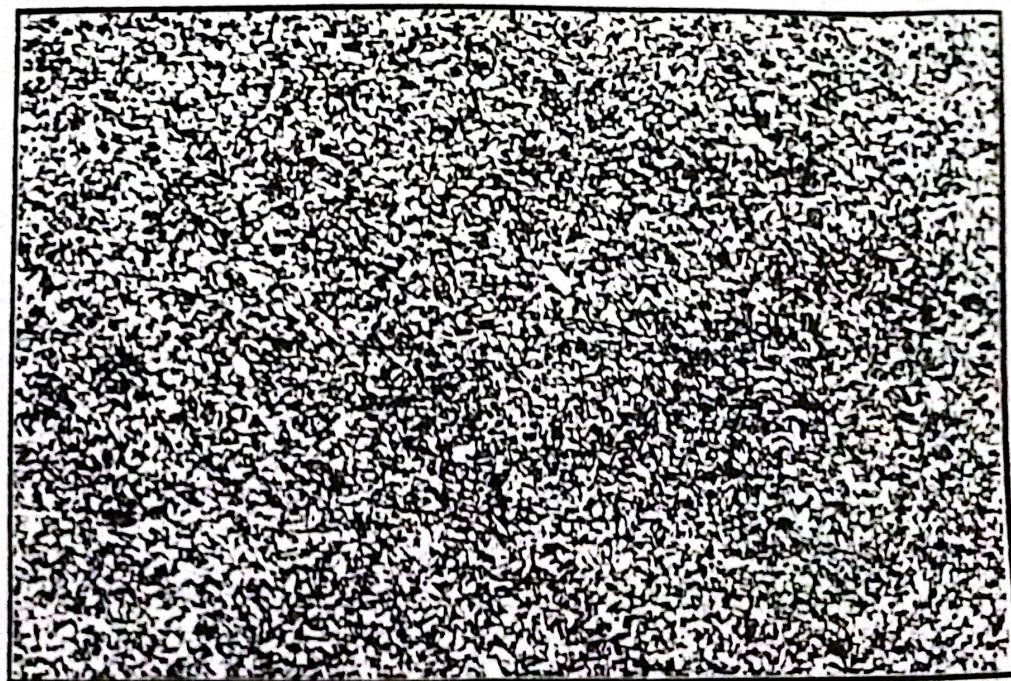
Perbesaran 200 X



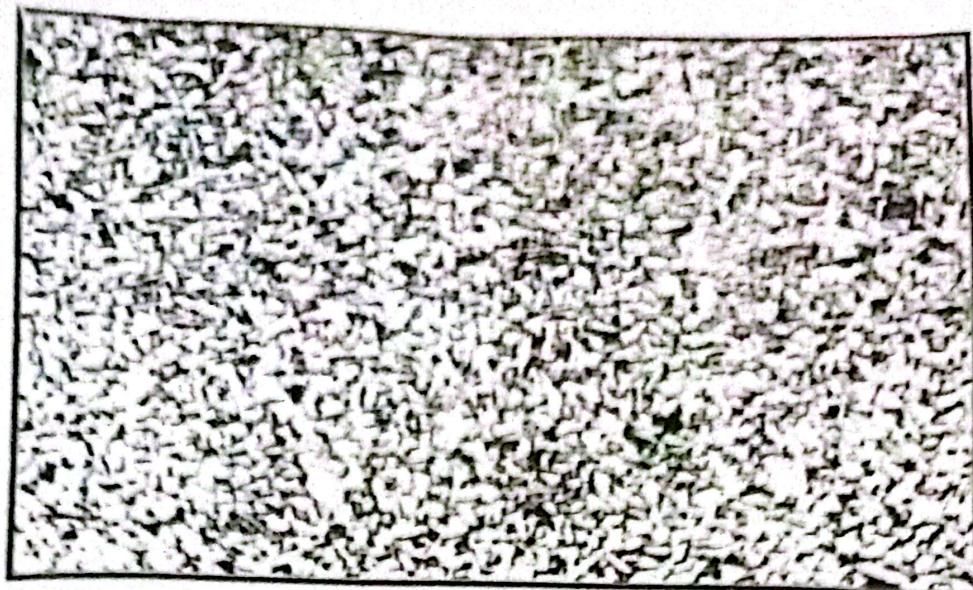
Perbesaran 500 X

Gambar 4.2 Struktur mikro Coil No. 416932

3. Coil No. 416939; t = 9,18; q = 36,77%; T = 600 °C



Perbesaran 100 X



Perbesaran 200 X



Perbesaran 500 X

Gambar 4.3 Struktur mikro Coil No. 416939

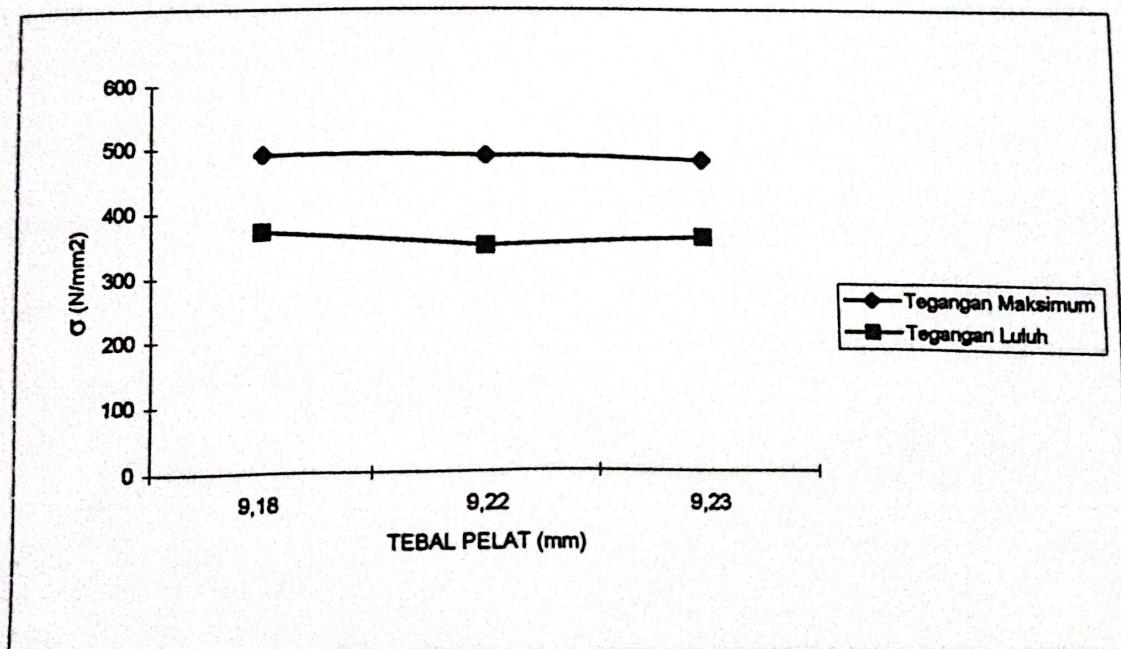
#### 4.4. Analisa Data

##### 4.4.1. Analisa Data Hasil Uji Tarik

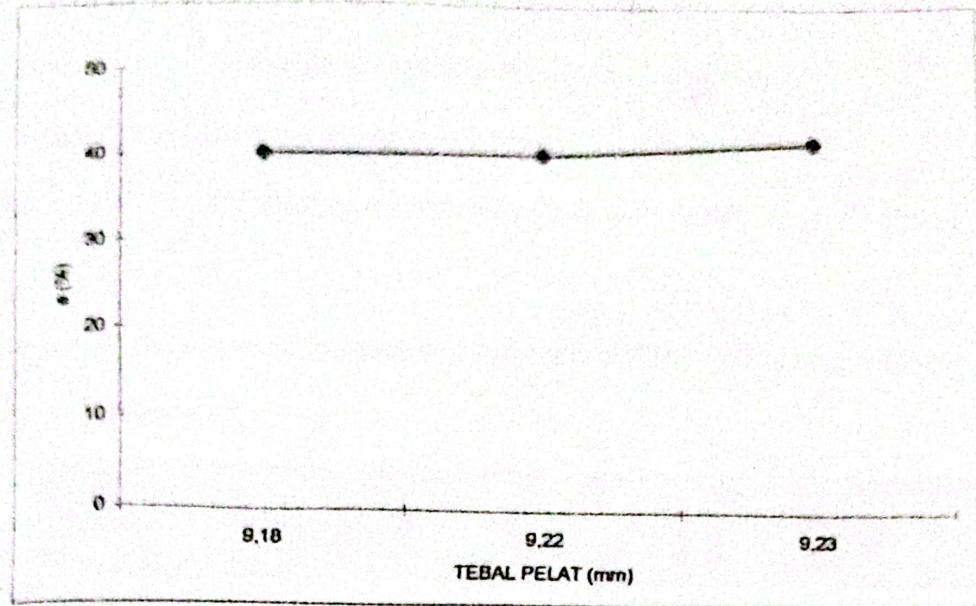
Dari data hasil uji tarik dapat diketahui nilai tegangan maksimum, tegangan luluh dan regangan (elongation) dari baja pelat tipe API5LX42 untuk masing-masing nomor coil, seperti terlihat pada tabel dan gambar di bawah ini :

Tabel 4.5 Nilai Tegangan maksimum, tegangan luluh dan regangan baja pelat API5LX42

No.	No. Coil	Tegangan Luluh (N/mm <sup>2</sup> )	Tegangan Maksimum (N/mm <sup>2</sup> )	Regangan (%)
1.	416924	356,4	484,7	42
2.	416932	339,6	479,5	40
3.	416939	369,8	493,1	40



Gambar 4.4 Grafik nilai kuat tarik terhadap tebal pelat.



Gambar 4.5 Grafik nilai regangan terhadap tebal pelat.

Setelah dianalisa dari Tabel 4.5 serta Gambar 4.4 dan 4.5, diketahui bahwa nilai tegangan tarik maksimum dan tegangan luluh terbesar terdapat pada Coil No. 416939 dengan ketebalan 9,18 mm dan temperatur  $600^{\circ}\text{C}$  (temperatur di Down Coiler), sedangkan nilai keuletan terbesar terdapat pada Coil No. 416924 dengan ketebalan 9,23 mm dengan temperatur  $600^{\circ}\text{C}$  (temperatur di Down Coiler).

Sedangkan nilai reduksi penampang yang terjadi di finishing mill I untuk masing-masing nomor coil dapat dilihat pada Tabel 4.6 dimana nilai reduksi penampang tersebut dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$q = \frac{h_0 - h_f}{h_0} \times 100\%$$

dimana :

$q$  = Reduksi penampang di finishing Mill I (%)

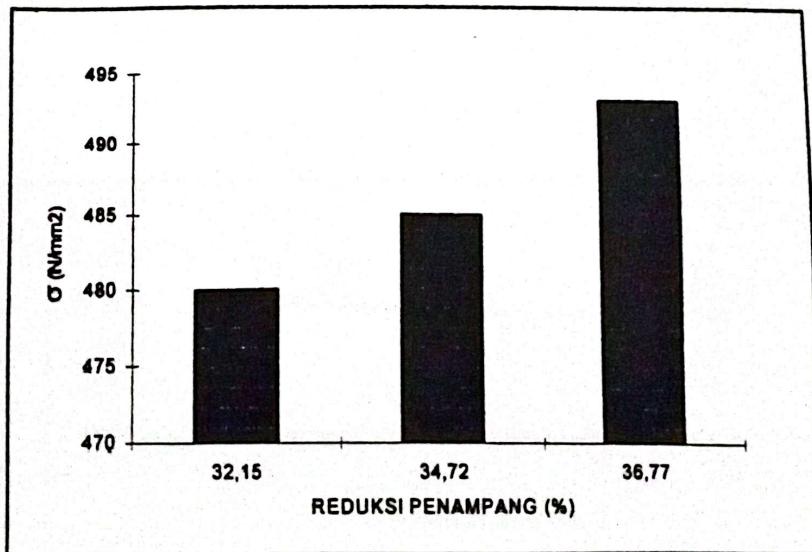
$h_0$  = Tebal pelat awal (mm)

$h_f$  = Tebal pelat setelah melewati finishing mill I (mm)

Tabel 4.6 Reduksi penampang yang terjadi di fishing mill I untuk masing-masing nomor coil.

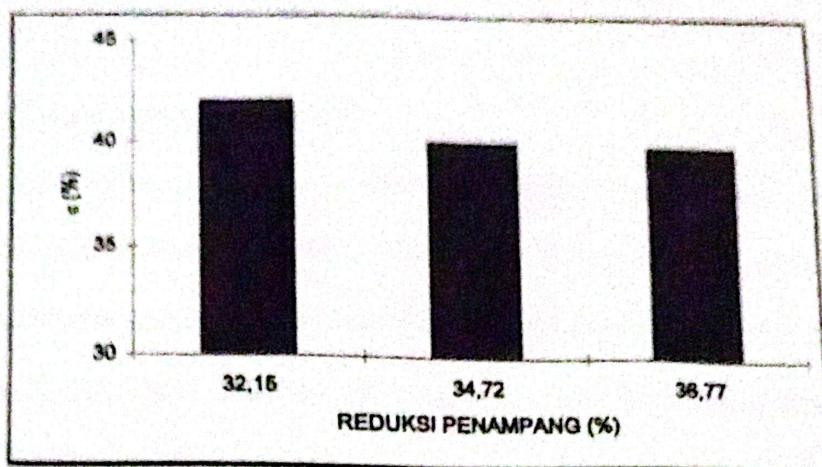
No.	No. Coil	$h_0$ (mm)	$h_f$ (mm)	$q$ (%)
1.	416924	38,8	28,33	34,72
2.	416932	37,5	26,44	32,15
3.	416939	38,0	24,03	36,77

Hubungan antara kekuatan tarik terhadap reduksi penampang dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini :



Gambar 4.6 Hubungan antara nilai kuat tarik dengan reduksi penampang.

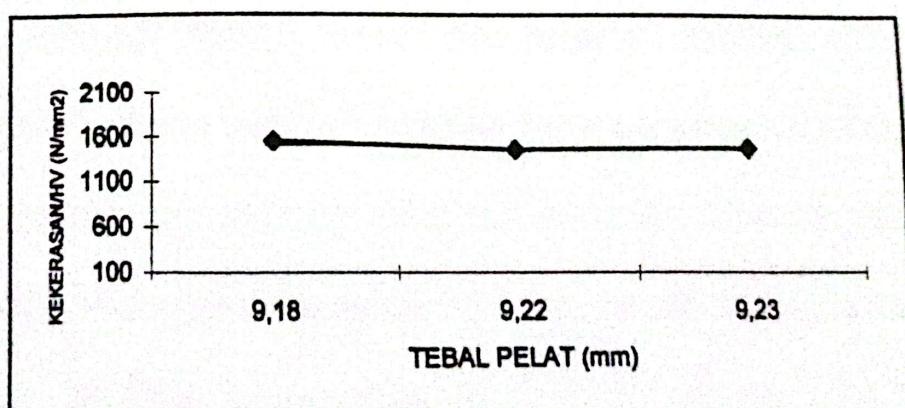
Sedangkan hubungan antara keuletan terhadap reduksi penampang dapat dilihat pada Gambar 4.7 di bawah ini :



Gambar 4.7 Hubungan antara nilai keuletan dengan reduksi penampang.

#### 4.4.2. Analisa Hasil Uji Kekerasan

Dari tabel hasil uji kekerasan dapat diketahui nilai kekerasan rata-rata untuk masing-masing coll seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.8 Grafik nilai kekerasan terhadap tebal pelat.

Setelah dianalisa dari Gambar 4.B, diketahui bahwa nilai kekerasan (HV) terbesar terdapat pada Coil No. 416939 dengan ketebalan 9,18 mm dan reduksi penampang 36,77%.

#### 4.4.3 Analisa Hasil Metalografi

Dari analisa foto hasil metalografi terlihat bahwa fasa yang terjadi umumnya adalah ferit dan perlit, dimana ferit memberikan sifat kuat pada baja tetapi kurang tangguh sedangkan perlit memberikan sifat keras.

Pada Coil No. 416939, struktur mikronya terdiri dari fasa ferit dan perlit yang tersebar secara merata, sedangkan pada kedua nomor coil yang lainnya terlihat bahwa struktur mikro dari fasa ferit dan perlitnya tidak tersebar secara merata.

#### 4.5. Pembahasan

Dari seluruh pengujian yang telah dilakukan, tampak bahwa Coil No. 416939 dengan ketebalan 9,18 mm, kadar C 0,150% dan reduksi penampang 36,77% mempunyai kuat tarik sebesar  $493,1 \text{ N/mm}^2$ , kekerasan sebesar  $1550,3 \text{ N/mm}^2$  dan keuletan sebesar 40%, dimana struktur mikro ferit dan perlitnya tersebar secara merata hal ini disebabkan pengaruh reduksi penampang yang cukup besar, dibandingkan dengan Coil No. 416924 dengan ketebalan 9,23 mm, kadar C 0,162% dan reduksi penampang 34,72% mempunyai kuat tarik sebesar  $484,7 \text{ N/mm}^2$ , kekerasan sebesar  $1483,9 \text{ N/mm}^2$  dan keuletan sebesar 42% serta Coil

No. 416932 dengan ketebalan 9,22 mm, kadar C 0,167% dan reduksi penampang 32,15%, kekerasan sebesar  $1452,4 \text{ N/mm}^2$  dan keuletan sebesar 40%. Jadi terlihat disini bahwa dengan semakin besarnya nilai reduksi penampang dari baja pelat tipe API5LX42 maka nilai kuat tarik dan kekerasannya akan semakin besar tetapi keuletannya menurun. Sementara berdasarkan standar API5LX42, nilai kuat tarik minimum untuk baja pelat tipe API5LX42 adalah sebesar  $413 \text{ N/mm}^2$ . Untuk Coil No. 416939 dengan nilai kuat tarik sebesar  $493,1 \text{ N/mm}^2$ , nilai penyimpangan sebesar 19,39% melebihi dari nilai standar yang ada. Begitu pula untuk Coil No. 416924 dan Coil No. 416932 dengan nilai kuat tarik masing-masing sebesar  $484,7 \text{ N/mm}^2$  dan  $479,5 \text{ N/mm}^2$ , nilai penyimpangannya adalah 17,36% dan 16,1% yang juga melebihi dari nilai standar yang ada. Sehingga secara umum dari ketiga nomor coil tersebut layak dan aman untuk digunakan sesuai dengan kebutuhannya.

**BAB VI**  
**KESIMPULAN**

Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap baja pelat tipe API5LX42 hasil proses penggerolan panas, dimana digunakan tiga jenis nomor coil dengan ketebalan yang berbeda, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kekuatan tarik ( $\sigma_{maks}$ ) terbesar terdapat pada Coil No. 416939 dengan ketebalan 9,18 mm yaitu sebesar  $369,8 \text{ N/mm}^2$ .
2. Keuletan ( $\epsilon$ ) terbesar terdapat pada Coil No. 416924 dengan ketebalan 9,22 mm yaitu sebesar 42%.
3. Kekerasan (HV) terbesar terdapat pada Coil No. 416939 dengan ketebalan 9,18 mm yaitu sebesar  $1550,1 \text{ N/mm}^2$ .
4. Reduksi penampang terbesar terdapat pada Coil No. 416939 yaitu sebesar 36,77%. Dimana hal tersebut mengakibatkan kuat tarik dan kekerasannya juga menjadi lebih besar tetapi keuletannya rendah.
5. Secara umum sifat mekanis dari baja pelat tipe API5LX42 ini memenuhi standar yang diijinkan (standar API5LX42) yaitu sebesar  $413 \text{ N/mm}^2$ , sehingga layak digunakan sebagai bahan untuk konstruksi pipa.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Adnyana, D.N. *Tinjauan Tentang Proses Pengolahan dan Hubungan Antara Struktur dengan Sifat-sifat Mekanis*. Bahan Kuliah /Kursus untuk Perguruan Tinggi Teknik, Politeknik dan Industri, 1989
2. Avner, Sidney H., *Introduction to Physical Metallurgy*. Second Edition. Mc Graw-Hill International Edition, 1974.
3. Burton, Malcom S., *Applied Metallurgy for Engineers*. Mc Graw-Hill Book Company, Inc, 1956.
4. Dieter, G.E., *Metalurgi Mekanik*. Edisi III. Jilid I. Erlangga, Jakarta, 1987
5. Dieter, G.E., *Metalurgi Mekanik*. Edisi III. Jilid II. Erlangga, Jakarta, 1988.
6. Love, George., A.R., Harun., *Teori dan Praktek Kerja Logam*. Edisi III. Erlangga, 1986.
7. Smalman, R.E., *Metalurgi Fisik Modern*. Edisi IV. Gramedia, 1991.
8. Trisno, *Pengetahuan Logam*. Pendidikan dan Latihan Inspektur Kepastian Mutu. Departemen Perindustrian, Bandung.

# L A M P I R A N

卷之三

*Felidae* *Murinae* *Leopardus tigrinus* *Leopardus tigrinus* *Leopardus tigrinus*

三

九

May 19

卷之三

*F. D. Murphy*

Mr. T. H. C.

## Lampiran 2

Tabel kuat tank baja pelat tipe API5LX42 menurut standar API5LGr.X42

TEST NO.	TEST DATE	TENSILE TEST RESULTS				ELONGATION A (%)	TEST PIECE	END USE	REMARK	
		RE. Min	AM. Max	RE. Max	AM. Min					
1001	1.1.1 - 1.1.2	0.83	0.83	-	172 Min	310 Min	Lo = 50.00 mm AREA : 3.075 → 34.5 Min (See Appendix C ) pg. 43	LONG TAKEN FROM TUBE	PIPES	
1002	1.1.1 - 1.1.2	0.83	0.83	-	187 Min	331 Min	Lo = 50.00 mm AREA : 3.075 → 34.0 Min (See Appendix C ) pg. 43	LONG TAKEN FROM TUBE	PIPES	
1003	1.1.1 - 1.1.2	0.83	0.83	-	241 Min	413 Min	Lo = 50.00 mm AREA : 3.075 → 29.5 Min (See Appendix C ) pg. 43	LONG TAKEN FROM TUBE	PIPES	C, V, T OR COMBINATIONS MAY BE USED BY AGREEMENT BETWEEN PURCHASER AND MANUFACTURER
1004	1.1.1 - 1.1.2	0.83	0.83	-	289 Min	413 Min	Lo = 50.00 mm AREA : 3.075 → 29.5 Min (See Appendix C ) pg. 43	LONG TAKEN FROM TUBE	PIPES	C, V, T OR COMBINATIONS MAY BE USED AT THE DISCRE- TION OF THE MANUFACTURER
1005	1.1.1 - 1.1.2	0.83	0.83	-	317 Min	434 Min	Lo = 50.00 mm AREA : 3.075 → 28.5 Min (See Appendix C ) pg. 43	LONG TAKEN FROM TUBE	PIPES	C, V, T OR COMBINATIONS MAY BE USED AT THE DISCRE- TION OF THE MANUFACTURER

API WELD

### Lampiran 3

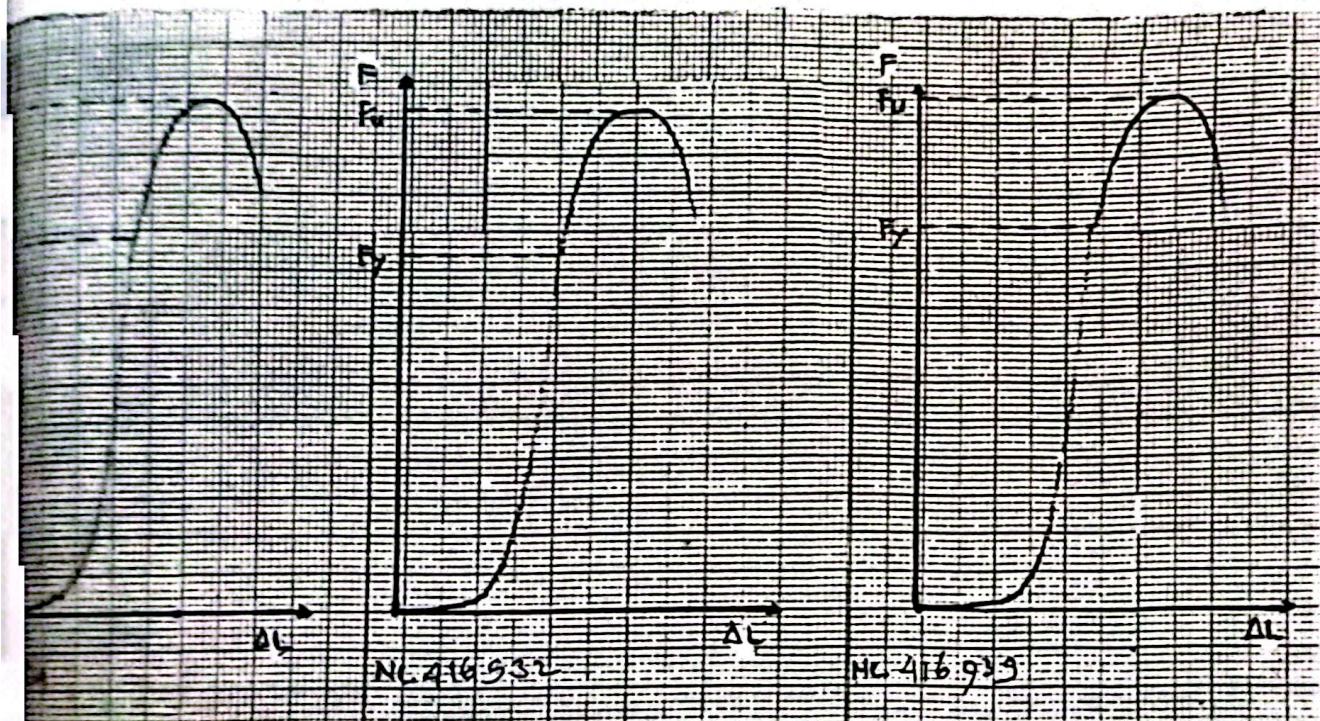
Tabel data hasil uji tank baja pelat tipe API5LX42 untuk masing-masing nomor coil

Oregon, 23 September 1997

NB. *[Signature]*

#### Lampiran 4

Grafik uji tanik baja pelat tipe API5LX42 untuk masing-masing nomor coil



$$F_{max} = 500 \text{ KN}$$

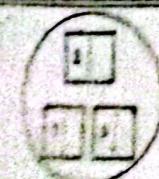
Skala pada grafik :

Sumbu x : 1mm skala = 0,5 mm

Sumbu y : 1mm skala = 2,5 KN

## Lampiran 5

Tabel data hasil uji kekerasan baja pelat tipe API5LX42 untuk masing-masing nomor coil

LABORATORIUM MEKANIK HSM PT. KRAKATAU STEEL	
HARDNESS TEST	
KIND OF MATERIAL	PLATE PRODUCT HSM
TEST METHOD	MARSHES VICKERS
STEEL QUALITY	API5LX42
WELDING METHOD	-
SHAPE OF WELD	-
COIL NO.	416924, 416932, 416939
HEAT NO.	542048L, 63363L, 63366L
LOCATION	TENGAH
Coil No. 416924	
1.	1635,8 N/mm <sup>2</sup>
2.	1567,2 N/mm <sup>2</sup>
3.	1430,8 N/mm <sup>2</sup>
4.	1430,6 N/mm <sup>2</sup>
5.	1442,6 N/mm <sup>2</sup>
6.	1454,4 N/mm <sup>2</sup>
7.	1342,6 N/mm <sup>2</sup>
8.	1442,6 N/mm <sup>2</sup>
9.	1454,4 N/mm <sup>2</sup>
10.	1519,2 N/mm <sup>2</sup>
11.	1454,4 N/mm <sup>2</sup>
12.	1477,9 N/mm <sup>2</sup>
13.	1500,8 N/mm <sup>2</sup>
14.	1515,2 N/mm <sup>2</sup>
15.	1363,7 N/mm <sup>2</sup>
16.	1519,2 N/mm <sup>2</sup>
$HV_{max-min} = 1403,9 \text{ N/mm}^2$	
Coil No. 416932	
1.	1590,7 N/mm <sup>2</sup>
2.	1503,4 N/mm <sup>2</sup>
3.	1554,4 N/mm <sup>2</sup>
4.	1594,6 N/mm <sup>2</sup>
5.	1419 N/mm <sup>2</sup>
6.	1420,8 N/mm <sup>2</sup>
7.	1369,2 N/mm <sup>2</sup>
8.	1262,2 N/mm <sup>2</sup>
9.	1374,9 N/mm <sup>2</sup>
10.	1408,3 N/mm <sup>2</sup>
11.	1420,8 N/mm <sup>2</sup>
12.	1477 N/mm <sup>2</sup>
13.	1596,5 N/mm <sup>2</sup>
14.	1796,5 N/mm <sup>2</sup>
15.	1505,4 N/mm <sup>2</sup>
16.	1527,9 N/mm <sup>2</sup>
$HV_{max-min} = 1452,4 \text{ N/mm}^2$	
Cilegon, 2 Oktober 1997	
 1. NL. 416924 2. NL. 416932 3. NL. 416939	
 TALFIN MULYATI Supv. Lab. Mekanik	

## Lampiran 5

Tabel data hasil uji kekerasan baja pelat tipe API5LX42 untuk masing-masing nomor coil

LABORATORIUM MEKANIK HSM PT KRAKATAU STEEL	
HARDNESS TEST	
KIND OF MATERIAL	PLATE PRODUCT HSM
TEST METHOD	MARSHES VICKERS
STEEL QUALITY	API5LX42
WELDING METHOD	-
SHAPE OF WELD	-
COIL NO.	416924, 416932, 416939
HEAT NO.	542040L, 63563L, 63366L
LOCATION	TENGAM
TEST	HARDNESS
COIL No. 416924	1. 1635,8 N/mm <sup>2</sup> 2. 1567,2 N/mm <sup>2</sup> 3. 1480,8 N/mm <sup>2</sup> 4. 1430,8 N/mm <sup>2</sup> 5. 1442,6 N/mm <sup>2</sup> 6. 1454,4 N/mm <sup>2</sup> 7. 1442,6 N/mm <sup>2</sup> 8. 1442,6 N/mm <sup>2</sup> 9. 1454,4 N/mm <sup>2</sup> 10. 1515,2 N/mm <sup>2</sup> 11. 1454,4 N/mm <sup>2</sup> 12. 1477,9 N/mm <sup>2</sup> 13. 1580,8 N/mm <sup>2</sup> 14. 1515,2 N/mm <sup>2</sup> 15. 1563,7 N/mm <sup>2</sup> 16. 1515,2 N/mm <sup>2</sup>
$HV_{max-min} = 1483,9 \text{ N/mm}^2$	
AREA	HARDNESS
COIL No. 416932	1. 1590,7 N/mm <sup>2</sup> 2. 1503,4 N/mm <sup>2</sup> 3. 1554,4 N/mm <sup>2</sup> 4. 1594,6 N/mm <sup>2</sup> 5. 1419 N/mm <sup>2</sup> 6. 1420,8 N/mm <sup>2</sup> 7. 1369,2 N/mm <sup>2</sup> 8. 1262,2 N/mm <sup>2</sup> 9. 1374,9 N/mm <sup>2</sup> 10. 1408,3 N/mm <sup>2</sup> 11. 1428,8 N/mm <sup>2</sup> 12. 1477 N/mm <sup>2</sup> 13. 1596,5 N/mm <sup>2</sup> 14. 1786,5 N/mm <sup>2</sup> 15. 1505,4 N/mm <sup>2</sup> 16. 1527,9 N/mm <sup>2</sup>
$HV_{max-min} = 1452,4 \text{ N/mm}^2$	
 1. NL. 416924 2. NL. 416932 3. NL. 416939	
Cilegon, 2 Oktober 1997  TAIFIA MURTAZ Supv. Lab. Metallik	

**LABORATORIUM MEKANIK HSM  
PT. KRAKATAU STEEL**

## HARDNESS TEST

KIND OF MATERIAL	PLATE PRODUCE MSM
TEST METHOD	HARDNESS VICKERS.
STEEL QUALITY	API SL K 42
WELDING METHOD	-
SHAPE OF WELD	-
COIL NO.	916939
HEAT NO.	63366 L
LOCATION	TENGAM

AREA	HARDNESS
COIL NO. 416939	7. 1635,8 N/mm <sup>2</sup>
	2. 1527,9 N/mm <sup>2</sup>
	3. 1505,4 N/mm <sup>2</sup>
	4. 1567,2 N/mm <sup>2</sup>
	5. 1466,2 N/mm <sup>2</sup>
	6. 1527,9 N/mm <sup>2</sup>
	7. 1430,8 N/mm <sup>2</sup>
	8. 1490,6 N/mm <sup>2</sup>
	9. 1503,4 N/mm <sup>2</sup>
	10. 1396,5 N/mm <sup>2</sup>
	11. 1492,6 N/mm <sup>2</sup>
	12. 1515,2 N/mm <sup>2</sup>
	13. 1607,4 N/mm <sup>2</sup>
	14. 1739,7 N/mm <sup>2</sup>
	15. 1729,1 N/mm <sup>2</sup>
	16. 1729,1 N/mm <sup>2</sup>
	HV <sub>0,05</sub> -rata = 1550,3 N/mm <sup>2</sup>

Cilegon, 2 oktober 1997

~~Taufik Hidayat~~  
Supv. Lab. Mekanik

## Lampiran 6

### Karakteristik berbagai pengujian kekerasan

Cara pengujian	Brinell ( $H_B$ )	Rockwell ( $H_R A$ , $H_R C$ etc.)	Rockwell superficial ( $H_{RS} 30T$ , $H_{RS} 30N$ dst)	Vickers ( $H_V$ )	Kekerasan mikro ( $H_V$ )	Shore ( $H_A$ )
Penekan	Bola baja 10 mm ø Karbida	Kerucut intan 120°; Bola baja 1/16"-1/2"	Kerucut intan 120°; Bola baja 1/16"-1/2"	Piramida intan sudut bidang berhadapan 136°	Jenis Vickers Jenis Knoop sudut 130°, 172°	Palu intan 3 g
Beban	500-3,000 kg	Beban mula 10 kg beban total 60,100, 150 kg	Beban mula 3 kg, beban total 15,30 dan 45 kg	1-120 kg	1-500 g	
Kekerasan	Beban Luas penekanan	Dalamnya pene-kanan	Dalamnya penekanan	Beban Luas penekanan	Beban Luas penekanan	Tinggi pantulan 6,5° dari 10° tinggi pantulan asal adalah 100

## Lampiran 7

Data aktual komposisi kimia baja pelat tipe API5LX42 untuk Coil No.  
416924, Coil No. 416932, dan Coil No.416939.

>>> CHEM. COMP BROWSE <<<  
DATE : 16/09/97  
CAT NO : 520401.

C	SI	MN	P	S	AL	CU	NB	V	HO	NI	CR	N	SN	TI
M1	0166	0204	0699	0013	0010	0032	0015	0001	0003	0001	0012	0014	0041	0001
M2	0158	0201	0698	0013	0010	0035	0015	0001	0003	0001	0012	0011	0040	0001
M3														
M4	0142	0203	0699	0013	0010	0036	0015	0001	0003	0001	0012	0013	0041	0001

--INQUIRY SUCCESSFUL !! --> WARNA PUTIH --> KELUAR DARI TARGET  
ENTER : INQUIRY PF7 : BACKWARD PF8 : FORWARD PF12 : MAIN-SCREEN  
>> CHEM. COMP BROWSE <<<

DATE : 16/09/97  
CAT NO : 633661.

C	SI	MN	P	S	AL	CU	NB	V	HO	NI	GR	N	SN	TI
M1	0160	0161	0696	0015	0005	0035	0009	0001	0006	0001	0015	0015	0058	0002
M2	0156	0156	0694	0015	0005	0033	0009	0001	0004	0001	0014	0011	0058	0002
M3	0157	0159	0695	0015	0005	0034	0009	0001	0006	0001	0015	0013	0058	0002

--INQUIRY SUCCESSFUL !! --> WARNA PUTIH --> KELUAR DARI TARGET  
ENTER : INQUIRY PF7 : BACKWARD PF8 : FORWARD PF12 : MAIN-SCREEN  
>> CHEM. COMP BROWSE <<<

DATE : 16/09/97  
CAT NO : 633631.

C	SI	MN	P	S	AL	CU	NB	V	HO	NI	CR	N	SN	TI
M1	0151	0261	0613	0019	0007	0032	0024	0001	0004	0001	0017	0017	0045	0002
M2	0149	0261	0611	0020	0007	0030	0024	0001	0003	0001	0017	0016	0042	0002
M3	0150	0261	0612	0020	0007	0031	0024	0001	0004	0001	0019	0017	0044	0002

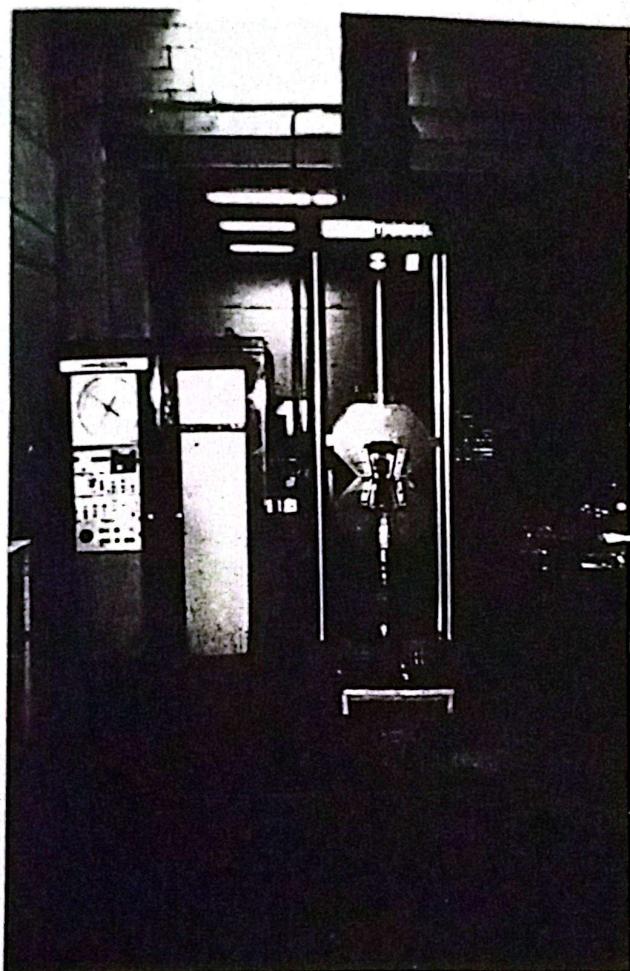
--INQUIRY SUCCESSFUL !! --> WARNA PUTIH --> KELUAR DARI TARGET  
ENTER : INQUIRY PF7 : BACKWARD PF8 : FORWARD PF12 : MAIN-SCREEN

## Lampiran 8

Program rolling baja pelat tipe API5LX42 untuk Coil No. 416924, Coil No. 416932, dan Coil No. 416939.

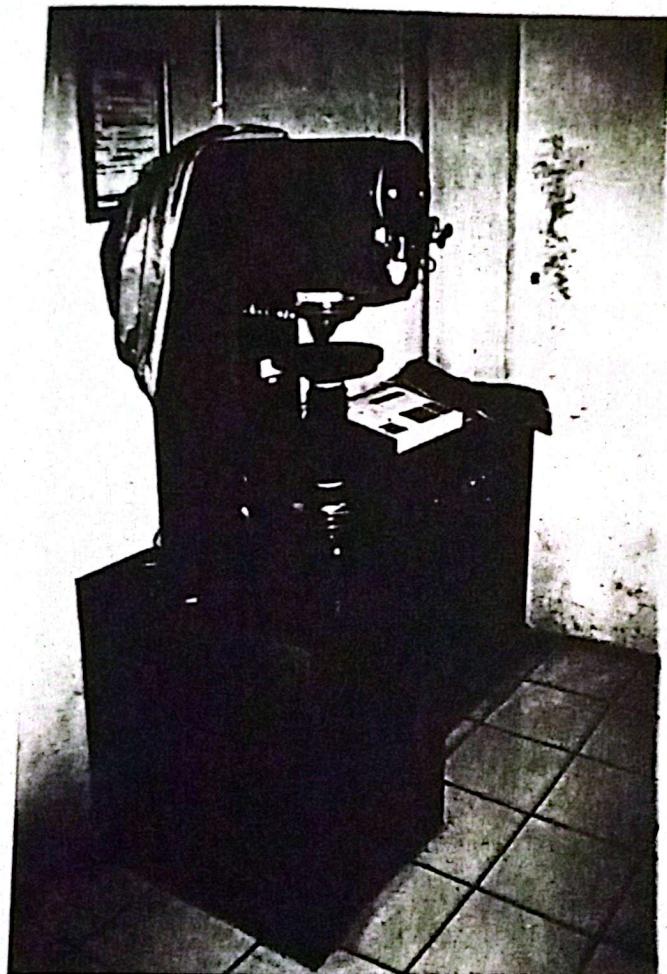
## Lampiran 9

Gambar peralatan yang digunakan untuk pengujian tarik.



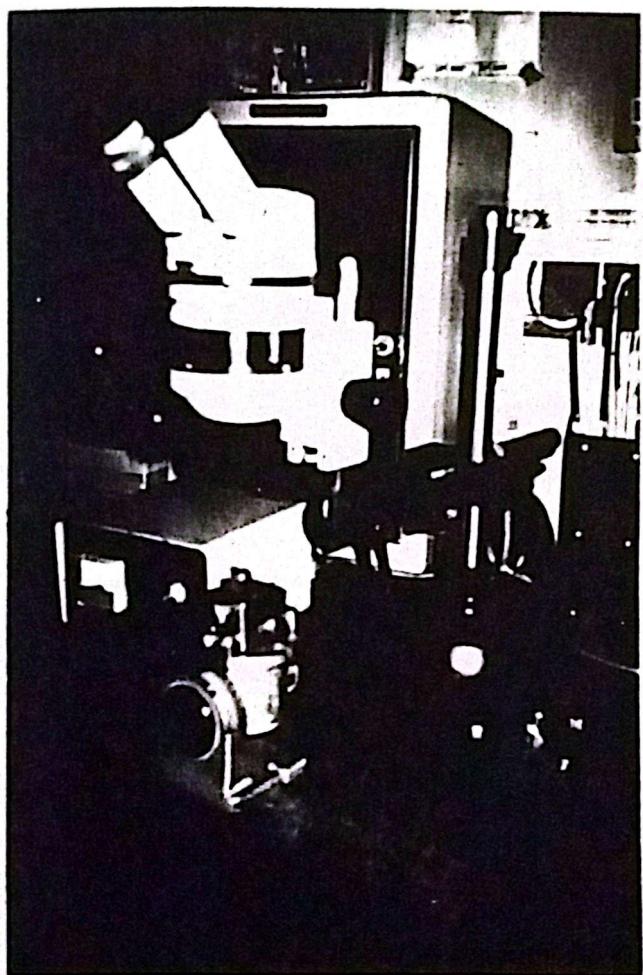
## Lampiran 10

Gambar peralatan yang digunakan untuk pengujian kekerasan.



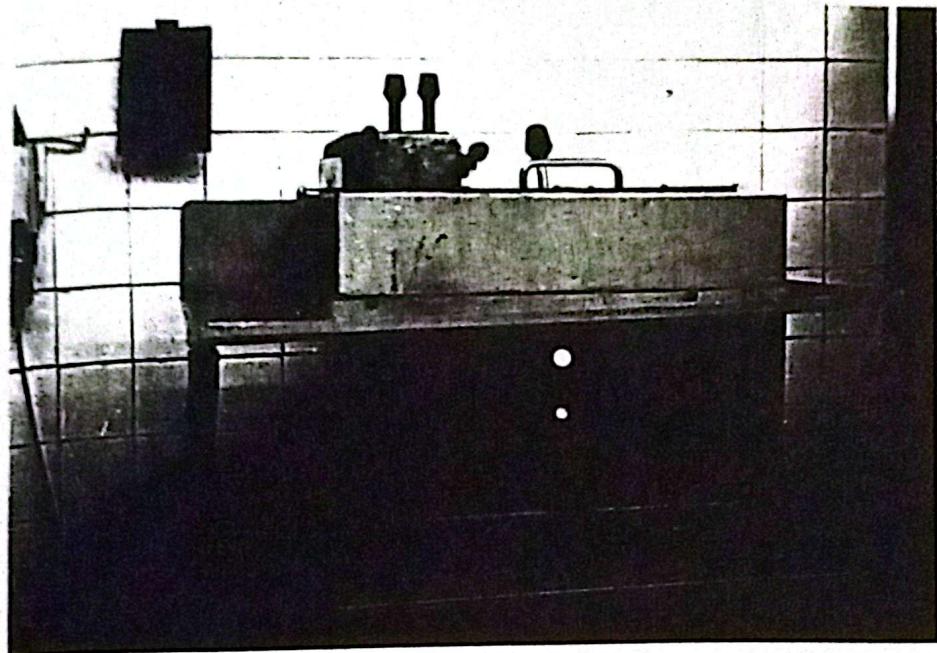
## Lampiran 11

Gambar peralatan untuk pengujian metalografi yaitu mikroskop optik dan kamera



## Lampiran 12

Gambar peralatan mesin potong dan mesin grinding/polishing



### Lampiran 13

Plan Lay Out proses pembuatan baja lembaran panas PT. Krakatau Steel

