

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP STRUKTUR  
MIKRO DAN TINGKAT KEKERASAN PADA RODA KERETA API  
HASIL PENGECORAN LOGAM**

**JURNAL TUGAS AKHIR**

**INDRIANI DIAS FAHRURI**

**123.16.003**



**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI**

**FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN**

**KOTA DELTAMAS**

**2021**

# **PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN TINGKAT KEKERASAN PADA RODA KERETA API HASIL PENGECORAN LOGAM**

**Indriani Dias Fahruri, \*) Prof. Ir. Syoni Soepriyanto M.Sc. Ph.D, \*) Ir. Achmad S,  
Tayibnapis, M.Eng, \*)**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Metalurgi, Institut Teknologi dan Sains Bandung

\*Email: [indrianidiasf@gmail.com](mailto:indrianidiasf@gmail.com)

---

## **ABSTRAK**

Roda kereta api dibuat melalui metode pengecoran logam (*sand casting*). Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kekerasan roda kereta api agar mencapai nilai kekerasan sesuai standar dengan metode perlakuan panas. Roda kereta api diberikan perlakuan panas Normalizing, Hardening dan Tempering dan didinginkan dengan media oli. Roda kereta api hasil pengerasan diberikan perlakuan panas *temper* untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan dengan menurunkan kekerasan. Perlakuan panas temper variasi temperatur dilakukan pada temperatur 500°C, 600°C dan 700°C dengan waktu tahan selama 60 menit, dilanjutkan dengan perlakuan *temper* variasi waktu dengan tempering 500°C dengan waktu tahan 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Uji keras dan pengamatan struktur mikro dilakukan terhadap spesimen roda kereta api hasil pengecoran dan roda kereta api impor sebagai pembandingan. Hasil uji kekerasan rata-rata pada spesimen hasil normalizing sebesar 26 HRC, dan hasil kekerasan maksimal tempering variasi temperatur sebesar 45 HRC pada temperatur 700°C dan dilanjutkan pada tahap tempering variasi waktu menghasilkan kekerasan rata-rata maksimal dengan 35 HRC pada temperatur 500°C dengan waktu tahan 60 menit. Struktur mikro menunjukkan peningkatan fasa martensit dengan meningkatkannya temperatur temper dan waktu tahan. Pada percobaan pengaruh temperatur terhadap kekerasan sangat berpengaruh semakin tinggi temperatur kekerasan yang didapat semakin rendah, pada proses tempering variasi waktu disimpulkan bahwa variasi waktu sangat berpengaruh terhadap hasil kekerasan semakin lama waktu tahan maka semakin rendah kekerasan.

Kata kunci : kekerasan, perlakuan panas temper, roda kereta api

## ABSTRACT

*The wheels of the train have been made by sand casting technique. This research was conducted to increase the hardness of train wheels in order to achieve a standardized hardness value with heat treatment methods. Train wheels are given normalizing, hardening and tempering heat treatment and quenching with oil as media. hardened train wheels are given temper heat treatment to increase tenacity and toughness by lowering hardness. Temperature variation temper heat treatment is performed at 500°C, 600°C and 700°C with a hold time of 60 minutes, followed by temper treatment of time variation with tempering at 500°C tempering with a lasting time of 30 minutes, 45 minutes, and 60 minutes. Hard tests and microstructure observations are carried out against specimens of railway wheels cast and imported railway wheels as comparisons. The average hardness test results in normalizing results of 26 HRC, and maximum tempering hardness result temperatur variation of 45 HRC at temperatur 700°C and continued at tempering stage time variation resulting in maximum average hardness with 35 HRC at temperatur 500°C with holding times of 60 minutes. The microstructure shows an increase in the martensite phase by increasing temper temperature and durability time. in the experiment the effect of temperatur on violence is very influential the higher the tempratur of violence that is didapt the lower, in the process of tempering the variation of time concluded that the variation of time is very influential to the result of violence the longer the time lasts then the lower the violence*

*Keywords : hardness, temper heat treatment, train wheels*

*\*) = Penulis Penanggung Jawab*

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kereta api merupakan kendaraan dengan tenaga gerak baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan kendaraan lainnya, yang akan atau sedang bergerak di jalan rel. Diselenggarakan dengan tujuan untuk memudahkan perpindahan orang dan barang secara masal dengan efisien, cepat, aman dan selamat dari suatu daerah antar kota atau antar wilayah (*UU RI No.23 Tahun 2007*).

Beberapa komponen dari satu unit kereta api merupakan komponen yang cepat habis. Namun belum banyak komponen kereta api yang bisa diproduksi di dalam negeri. Kementerian perindustrian mencatat bahwa tingkat komponen dalam negeri (TKDN) dalam satu unit kereta di Indonesia masih kurang dari 50% (*Aditisari, 2015*). Sebagian besar komponen kereta api masih mengandalkan barang impor. Salah satunya adalah roda kereta api. Roda kereta api merupakan satu-satunya komponen kereta api yang seluruhnya masih diimpor. Negara pengekspor roda kereta api untuk Indonesia beberapa yaitu Rumania, Chekoslovakia dan China. Kebutuhan roda kereta api per tahunnya sekitar 5.910 keping untuk penggantian yang bersifat

periodik seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.1.

**Tabel 1.1** Kebutuhan Roda Kereta Api Per Tahun (Sumber: *Husein Taufiq, 2019*)

no	jenis roda	penggunaan	kebutuhan pertahun
1	Golongan O	Lokomotif DE/GM	200 keping
2	Golongan L	Lokomotif DE/GE	750 keping
3		Lokomotif DH	80 keping
4	Golongan DD	Gerbong KKBW 50 Ton	2000 keping
5	Golongan HH	KRL	500 keping
6		KRD	80 keping
7	Golongan CC	Kereta & gerbong	2200 keping
8	Golongan P	Kereta bogie K9	100 keping
Jumlah total kebutuhan pertahun			5910 keping

Roda kereta api merupakan salah satu komponen dengan tingkat penggantian yang tinggi. Roda kereta api mengalami pengurangan ketebalan sebesar 1 cm akan diganti dengan roda kereta api yang baru. Penambahan ketebalan terhadap roda kereta api yang telah tidak layak pakai dapat dilakukan, namun sifat mekanik permukaan tidak memenuhi syarat.

Pada jenis roda kereta api golongan CC yang paling banyak dibutuhkan di Indonesia, spesifikasi roda kereta api mensyaratkan kekerasan pada bagian *body* sebesar 293 HB dan bagian telapak sebesar 320~341 HB. Sedangkan pada hasil pengujian kekerasan roda kereta api impor belum memenuhi standar Spesifikasi Teknik Roda Solid Kereta dan Gerbong Golongan CC PT. KAI. (PT. KAI 2009).

Dalam rangka untuk mengurangi penggunaan roda kereta api impor, telah dilakukan usaha pembuatan roda kereta api di dalam negeri melalui proses pengecoran dengan menggunakan teknik pengecoran gravitasi (*gravity casting*). Namun, kekerasan permukaan yang didapatkan belum memenuhi standar. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kekerasan roda kereta api agar mencapai nilai kekerasan sesuai standar dengan menggunakan metode perlakuan panas.

Pada penelitian perlakuan panas pada roda kereta api dengan proses pengecoran logam ini mengacu pada standar **JIS E 5402-1**, **SNI 11-1080** dan **AAR M107/M208**. Sebagaimana banyak diterapkan dalam industri roda kereta api.

**Tabel 1.2** Komposisi Standar

Standar	Unsur (%wt)				
	C	Mn	Si	P	S
<b>JIS E 5402-1</b>	0,55-0,65	0,50-0,90	0,15-0,35	maks 0,05	maks 0,05
<b>SNI 11-1080</b>	0,60-0,75	0,50-0,90	0,15-0,35	maks 0,05	maks 0,05
<b>AAR M107/M208</b>	0,57-0,67	0,60-0,90	maks 0,030	0,005-0,040	0,15-1,00

**Tabel 1.3** Nilai Kekerasan Standar

Standar	Kekerasan
<b>JIS E 5402-1</b>	33 HRC
<b>SNI 11-1080</b>	26 - 34 HRC
<b>AAR M107/M208</b>	30 - 37 HRC
<b>PT. KAI</b>	34 - 37 HRC

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan roda kereta api yang diberikan perlakuan panas dengan media *Quenching* dan *Tempering*. Variasi perlakuan panas pada saat *tempering* yang optimal diteliti pada penelitian ini dengan bertujuan untuk mencapai kekerasan yang memenuhi standar **JIS E 5402-1**, **SNI 11-1080** dan **AAR M107/M208** dengan nilai ketangguhan yang lebih baik.

### 1.2 Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanik roda kereta api hasil pengecoran logam.
2. Mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap mikro struktur roda kereta api hasil pengecoran logam.
3. Mendapatkan parameter proses perlakuan panas yang tepat agar dihasilkan sifat mekanik dari roda kereta api hasil pengecoran logam yang sesuai dengan standar.

### **1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah**

Melakukan proses perlakuan panas dengan menggunakan media *quenching* oli dengan diberikan perlakuan *normalizing* pada temperatur 900°C dan kemudian dilakukan *tempering* pada variasi temperatur 500°C, 600°C, dan 700°C dan juga menggunakan variasi waktu tahan 30 menit, 45 menit dan 60 menit

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Pengertian Kereta Api**

Kereta api adalah sarana perkeretaapian dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan sarana perkeretaapian lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di jalan rel yang terkait dengan perjalanan kereta api. Sarana perkeretaapian menurut jenisnya terdiri

dari lokomotif, kereta, gerbong dan peralatan khusus. Yang dimaksud dengan lokomotif adalah sarana perkeretaapian yang memiliki penggerak sendiri yang bergerak dan digunakan untuk menarik dan/atau mendorong kereta, gerbong, dan/atau peralatan khusus. Kereta adalah sarana perkeretaapian yang ditarik lokomotif atau mempunyai penggerak sendiri yang digunakan untuk mengangkut orang. Gerbong adalah sarana perkeretaapian yang ditarik lokomotif digunakan untuk mengangkut barang, antara lain gerbong datar, gerbong tertutup, gerbong terbuka, dan gerbong tangki. Peralatan khusus adalah sarana perkeretaapian yang tidak digunakan untuk angkutan penumpang atau barang, tetapi untuk keperluan khusus, antara lain kereta inspeksi (lori), gerbong penolong, derek (crane), kereta ukur dan kereta pemeliharaan jalan rel (*UU. No. 23, 2007*).

Beberapa komponen pada satu unit kereta api merupakan komponen yang cepat habis. Namun belum banyak kompoen kereta api yang dapat diproduksi di dalam negeri. Kementerian perindustrian mencatat bahwa tingkat komponen dalam negeri (TKDN) dalam satu unit kereta di Indonesia masih kurang dari 50% sebagian besar komponen kereta api masih mengandalkan barang impor (*Aditiasari, 2015*).

Industri perkeretaapian Indonesia memiliki potensi untuk menguasai pasar manufaktur perkeretaapian. Pemerintah mendorong industri dalam negeri agar dapat meningkatkan kapasitasnya agar mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri. Kemampuan manufaktur terhadap komponen-komponen impor terutama pada komponen dengan tingkat penggantian yang tinggi perlu terus dikembangkan (*Djumena, 2018*).

Roda kereta api merupakan salah satu komponen dengan tingkat penggantian yang tinggi. Roda kereta api yang telah mengalami pengurangan ketebalan sebesar 1 cm akan diganti dengan roda yang baru. Penambahan ketebalan terhadap roda kereta api yang telah tidak layak pakai dapat dilakukan namun sifat mekanik permukaan tidak memenuhi syarat. Kemudian dilakukan penelitian dan pengembangan proses pembuatan roda kereta api menggunakan metode pengecoran gravitasi dengan cetakan pasir. Kesimpulan dari penelitian tersebut, hasil perlakuan panas pada roda kereta api dengan metode pengecoran logam sudah memenuhi standar AAR namun pada bagian telapak pada roda kereta api belum memenuhi standar (*Doloksaribu et al.*)

### **2.1.1 Jenis Kereta Api**

Kereta api dibedakan atas dasar kecepatan, tenaga penggerak, jenis rel dan posisinya terhadap tanah. Berdasarkan kecepatannya kereta api dibedakan menjadi kereta api kecepatan normal (kurang dari 200 km/jam) dan kereta api kecepatan tinggi (lebih dari 200 km/jam). Berdasarkan tenaga penggerak kereta api dibedakan menjadi kereta api uap, diesel dan listrik. Berdasarkan jenis relnya kereta api dibedakan menjadi kereta api rel konvensional dan kereta api monorel. Berdasarkan posisinya terhadap tanah kereta api dibedakan menjadi kereta api permukaan dan kereta api bawah tanah (*Esveld, 2001*).

### **2.1.2 Jenis Roda Kereta Api**

Roda kereta api ada dua macam yaitu roda kereta kasut (bandasi/bandase) dan roda kereta monoblok (solid). Roda kasut terdiri dari dua bagian yaitu peleg dan ban baja yang dinamakan kasut roda. Pemasangan kasut roda dengan peleg dilakukan dengan proses penekanan pada temperatur tertentu. Jika terjadi keausan pada roda jenis ini, maka yang diganti cukup kasut rodanya saja (*Kozin, 2012*).

Berdasarkan diameter dan penggunaannya roda kereta api dikelompokkan menjadi beberapa golongan seperti pada Tabel 2.1

No.	Jenis Roda	Diame ter (mm)	Penggunaa n
1.	Golongan O	1.016	Lokomotif DE/GM
2.	Golongan L	914	Lokomotif DE/GE, DH
3.	Golongan DD	850	Gerbong KKBW 50 ton
4.	Golongan HH	860	KRL/KRD
5.	Golongan CC	774	Kereta & gerbong
6.	Golongan P	860	Kereta bogie K9

**Tabel 2.1** Penggolongan Roda  
Kereta Api (*sumber: Kozin, 2012*)

### 2.1.1.1 Klasifikasi Baja Roda Kereta Api

#### a) Baja paduan (*Alloy steel*)

Baja paduan adalah baja karbon yang diberi tambahan unsur lain bisa satu atau lebih unsur-unsur tambahan untuk menghasilkan sifat-sifat yang dikehendaki (tidak dimiliki oleh baja karbon). Unsur tambahan yang umumnya digunakan adalah nikel, mangan dan *chrom*. Berdasarkan kadar paduannya, baja paduan dibagi menjadi tiga macam yaitu :

#### 1.) Baja paduan rendah (*low alloy steel*)

Baja paduan rendah adalah baja paduan yang mempunyai persentase unsur paduan rendah. Baja jenis ini biasanya memiliki paduan kurang dari 10%. Material baja ini sering digunakan sebagai material pada mesin perkakas seperti pahat kayu, poros, dan gergaji.

*Low alloy steel* dengan persentase karbon 0,4-0,55% (yaitu aisi 4140, 4340, 4150, 1552 dan 5150) dan *plain carbon steel* dengan persentase karbon 0,4-0,55% (yaitu, aisi 1045, 1046, dan seterusnya sampai dengan aisi 1050. beberapa jenis baja ini banyak digunakan untuk bahan pembuatan roda gigi dan dilanjutkan dengan proses pengerasan seperti *induction surface hardening* (*rudnev et al., 2003*). selain material diatas juga terdapat material lain yang digunakan untuk bahan membuat roda gigi yaitu baja aisi 1045. baja aisi 1045 sangat banyak digunakan dalam bidang industri otomotif seperti untuk pembuatan roda gigi lurus (*spur gear*).

Baja karbon rendah atau juga disebut *mild steel* memiliki kandungan unsur karbon kurang dari 0,3%. Biasanya baja karbon rendah adalah hasil produk dari pengerjaan dingin dan proses anil. Baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,1% - 0,4% Mn



menyebabkan *formability*-nya rendah jika dibandingkan dengan baja karbon lain. Baja ini dimanfaatkan untuk panel bodi pada mobil, pelat kaleng/tabung dan kabel. Produk baja yang dihasilkan dari proses pengerolan berpenampang pelat dengan kandungan karbon mencapai 0,3% dan kandungan mangan mencapai 1,5% banyak digunakan untuk *stamping*, *forging*, *seamless tubes* dan *boiler plate*.

## 2.) Baja paduan menengah (*medium alloy steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja dengan paduan elemen 2,5 %-10 %. Adapun unsur-unsur yang terdapat pada baja tersebut misalnya seperti unsure Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

Baja karbon sedang pada dasarnya adalah sama dengan baja karbon rendah, hanya persentase kandungan karbon dan mangannya lebih besar yaitu kandungan karbon antara 0,30 - 0,70% dan kandungan mangan antara 0,60 – 1,65%. Peningkatan unsur karbon sekitar 0,5% disertai dengan peningkatan unsur mangan sehingga memungkinkan baja karbon ini bisa digunakan untuk proses *heat-treatment* seperti proses *quenching* dan *tempering*. Baja ini biasa digunakan sebagai material pada komponen mesin seperti *shaft*, *axle*, roda gigi, *crackshaft*, kopling dan

sebagainnya. Baja karbon sedang dengan kandungan karbon 0,4 - 0,60% juga sering digunakan sebagai material untuk rel kereta api, roda kereta api dan poros rel kereta.

## 3.) Baja paduan tinggi (*high alloy steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan lebih dari 10% berat. Adapun unsur-unsur yang terdapat pada baja tersebut misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P . Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon antara 0,60 - 1,00% dan kandungan mangan 0,30-0,90%. Baja karbon tinggi banyak digunakan sebagai material pada pembuatan pegas dan kawat dengan kekuatan tinggi (*Vande Berg*).

## 2.2. Teknik Pembuatan Roda Kereta

### Api

Roda kereta api dapat diproduksi dengan teknik pengecoran maupun dengan teknik penempaan ( JIS E 5402:1998, ASTM A 583:1999). Kedua teknik pembuatan roda kereta api ini sudah banyak diterapkan di industri roda kereta api di seluruh dunia. Berbagai macam penelitian juga sudah dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari roda kereta api yang dibuat melalui proses pengecoran dan penempaan tersebut (*Kozin, 2012*).

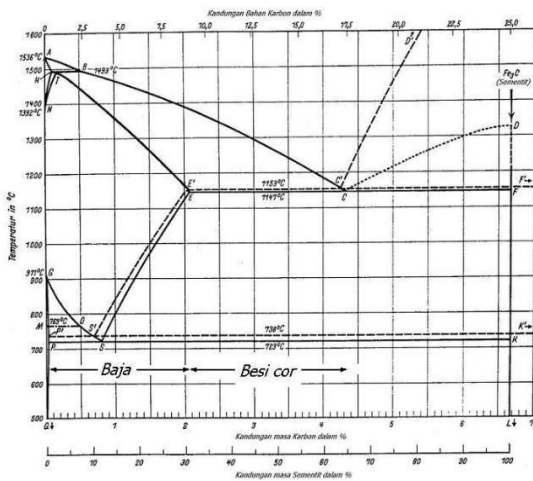
### 2.2.1. Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah proses pembuatan benda dengan mencairkan logam dan menuangkan cairan logam tersebut ke dalam rongga cetakan. Proses ini dapat digunakan untuk membuat benda-benda dengan bentuk rumit. Benda berlubang yang sangat besar dan sangat sulit atau sangat mahal jika dibuat dengan metode lain, dapat diproduksi massal secara ekonomis menggunakan teknik pengecoran yang tepat. Pengecoran logam dapat dilakukan untuk bermacam-macam logam seperti, besi, baja paduan tembaga (perunggu, kuningan, perunggu alumunium dan lain sebagainya), paduan ringan (paduan alumunium, paduan magnesium, dan sebagainya), serta paduan lain, semisal paduan seng, monel (paduan nikel dengan sedikit tembaga), hasteloy (paduan yang mengandung molibdenum, chrom, dan silikon), dan sebagainya. Untuk membuat coran harus melalui proses pembuatan model pencairan logam, penuangan cairan logam ke model, membongkar, membersihkan dan memeriksa coran. Pencairan logam dapat dilakukan dengan bermacam-macam cara, misal dengan tanur induksi (tungku listrik

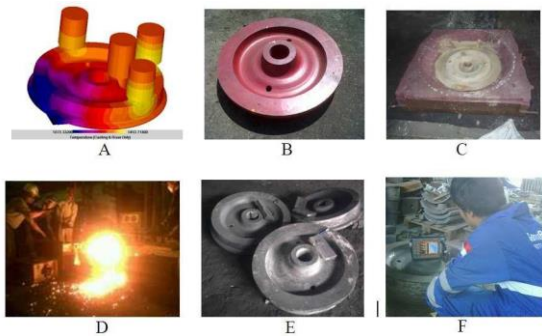
di mana panas diterapkan dengan pemanasan induksi logam), tanur kupola (tanur pelebur dalam pengecoran logam untuk melebur besi tuang kelabu), atau lainnya. Cetakan biasanya dibuat dengan memadatkan pasir yang diperoleh dari alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Cetakan pasir mudah dibuat dan tidak mahal. Cetakan dapat juga terbuat dari logam, biasanya besi dan digunakan untuk mengecor logam-logam yang titik leburnya di bawah titik lebur besi. Pada pengecoran logam, dibutuhkan pola yang merupakan tiruan dari benda yang hendak dibuat dengan pengecoran. Pola dapat terbuat dari logam, kayu, stereo foam, lilin, dan sebagainya.

Secara teknis bahan paduan besi karbon terdiri dari dua kelompok besar. Kelompok pertama adalah kelompok baja dengan kandungan karbon hingga sekitar 2%. Kelompok ini dapat dikenali melalui strukturnya, baik dalam keadaan as cast maupun setelah perlakuan panas, tidak mengandung karbon bebas (grafit). Sedangkan kelompok kedua adalah kelompok besi dengan kandungan karbon lebih dari 2% serta pada umumnya dapat mengandung grafit di dalam strukturnya.

Berdasarkan struktur pembekuannya, paduan ini terdiri dari paduan metastabil (as cast besi cor mampu tempa dan besi cor putih) dan paduan yang pada kondisi as cast telah mengandung grafit (besi cor kelabu dan besi cor nodular) (R. Widodo. 2011)



**Gambar 2. 1** Pembagian kelompok paduan besi karbon (Sumber: Muhamad Kozin, 2001)



**Gambar 2. 2** Proses pengecoran roda kereta api

Keterangan:

A = Simulasi pengecoran logam

B = Pola cetakan

C = Cetakan pasir

D = Proses pengecoran

E = Roda hasil pengecoran

F = Evaluasi kualitas hasil pengecoran dengan UT

Pola mempunyai ukuran sedikit lebih besar dari ukuran benda yang akan dibuat dengan maksud untuk mengantisipasi penyusutan selama pendinginan dan pengerjaan finishing setelah pengecoran. Selain itu, pada pola juga dibuat kemiringan pada sisinya supaya memudahkan pengangkatan pola dari pasir cetak. Cetakan adalah rongga atau ruang di dalam pasir cetak yang akan diisi dengan logam cair. Pembuatan cetakan dari pasir cetak dilakukan pada sebuah rangka cetak. Cetakan terdiri dari kup dan drag. Kup adalah cetakan yang terletak di atas, dan drag cetakan yang terletak di bawah.

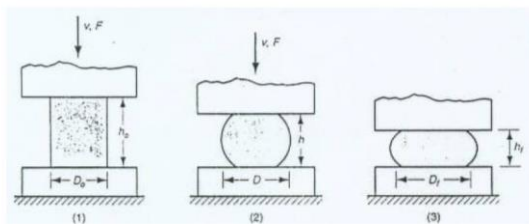
Hal yang perlu diperhatikan pada kup dan drag adalah penentuan permukaan pisah yang tepat. Rangka cetak yang dapat terbuat dari kayu ataupun logam adalah tempat untuk memadatkan pasir cetak yang sebelumnya telah diletakkan pola di dalamnya. Pada proses pengecoran dibutuhkan dua buah rangka cetak yaitu rangka cetak untuk kup dan rangka cetak untuk drag. Proses pembuatan cetakan dari pasir dengan tangan.

### 2.2.2. Penempaan

Penempaan adalah proses deformasi yang dilakukan dengan menekan benda kerja diantara dua cetakan (die), baik menggunakan gaya kejut (impact) atau ditekan secara gradual hingga diperoleh

bentuk akhir benda kerja yang diinginkan. Klasifikasi tempa : Tempa dapat diklasifikasikan dengan berbagai macam cara, diantaranya berdasarkan temperatur kerja :

Tempa panas atau hangat; cara ini paling banyak digunakan bila diperlukan deformasi yang cukup besar; dengan memanaskan kekuatan logam dapat dikurangi dan keuletannya bertambah. Tempa dingin; cara ini juga sering dilakukan untuk pembuatan produk tertentu. Keuntungan dari tempa dingin adalah dapat meningkatkan kekuatan yang dihasilkan dari pengerasan regang.



**Gambar 2. 3** Deformasi sebenarnya benda kerja silinder dalam operasi cetakan terbuka Perangkat Roda Kereta Api (Wheel Set). (Sumber: Muhhamad Kozin, 2001)

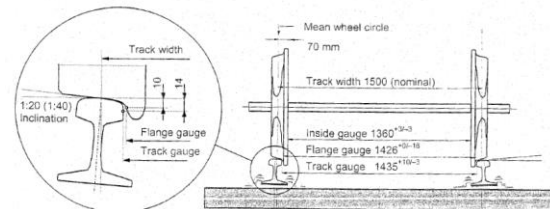
Perangkat roda kereta api terpasang pada bogie dimana biasanya pada satu bogie memiliki dua pasang roda (dua gandar) sehingga pada masing-masing bogie terdiri dari empat buah roda. Sementara itu sebuah gerbong biasanya terdiri dari dua

buah bogie sehingga jumlah total roda pada sebuah gerbong adalah delapan.



**Gambar 2. 4** Bogie dan roda kereta api(Sumber: Muhhamad Kozin, 2001)

Rel dan roda merupakan pasangan yang sangat menentukan dan menjadi ciri khas keunggulan dari kendaraan jalan rel. Sebuah kendaraan jalan rel padadasarnya terdiri atas sebuah badan (body) yang ditopang oleh bogie dengan seperangkat roda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5



**Gambar 2. 5** Bogie dan roda kereta api(Sumber: Muhhamad Kozin, 2001)

### 2.3. Perlakuan Panas

Sifat mekanik tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tetapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang

sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda sehingga sifat mekaniknya juga akan berbeda. Struktur mikro tergantung pada proses pengerjaan yang dialami, terutama proses perlakuan panas yang diterima selama proses pengerjaan. Proses perlakuan panas adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat, untuk memperoleh sifat-sifat tertentu (*ASM Metals Handbook, 1991*).

Roda kereta api yang dihasilkan melalui proses pengecoran memerlukan proses perlakuan panas agar diperoleh sifat mekanik yang sesuai dengan yang dipersyaratkan. Perlakuan panas pada roda kereta api yang dihasilkan dengan proses pengecoran tersebut biasanya terdiri dari *normalizing*, *surface hardening* dan *tempering* (*Poschmann, 2009*). Parameter proses dari masing-masing tahap perlakuan panas yang optimal untuk masing-masing jenis roda kereta berbeda-beda tergantung pada komposisi kimia dan sifat mekanis yang diinginkan. Oleh karena itu setiap jenis roda kereta mempunyai standar parameter proses perlakuan panas masing-masing (*Wang, 2009*).

Secara umum proses perlakuan panas diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu

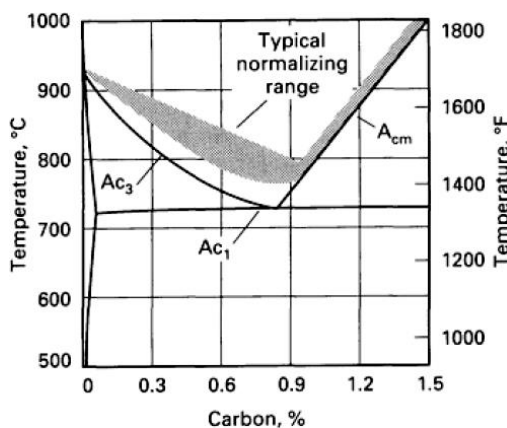
perlakuan panas yang mendekati kesetimbangan (*near equilibrium*) dan perlakuan panas yang tidak setimbang (*non equilibrium*). Perlakuan panas jenis *near equilibrium* secara umum bertujuan untuk untuk melunakkan struktur kristal, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan dalam dan memperbaiki *machineability*. Jenis dari perlakuan ini misalnya *full annealing*, *stress relief annealing*, *spheroidizing annealing* dan *normalizing*. Perlakuan panas jenis *non equilibrium* secara umum bertujuan untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Jenis perlakuan ini misalnya *hardening*, *martempering*, *austempering* dan *surface hardening* (*Krauss, 1990*).

### **2. 3. 1 Mekanisme Normalizing**

Normalizing adalah bagian dari proses *heat treatment*. Normalizing merupakan siklus austenitizing pemanasan diikuti dengan pendinginan di udara. Biasanya dipanaskan sampai suhu sekitar 55°C di atas garis kritis atas dari fase baja karbon.. Pemanasan harus menghasilkan fase austenite homogen sebelum pendinginan (*ASM International*). Gambar diagram fasa karbon di atas dapat dilihat jarak suhu yang digunakan pada proses normalizing. Untuk baja dengan kadar karbon 0,52% suhu yang digunakan kira-kira 820°C - 860°C. Pada penelitian ini mencoba untuk

menggunakan jarak suhu tersebut dan juga menggunakan suhu di bawah dan di atas jarak tersebut. (Nugroho et al.).

Proses ini diberlakukan terhadap baja cor polos (plain carbon cast steel) hipo hingga eutektoid, akibat terjadinya struktur yang tidak homogen (Widmanstatten) pasca pengecoran. Struktur Widmanstatten merupakan struktur berupa jarum-jarum tebal dengan orientasi tertentu yang terjadi akibat dari hambatan proses pendinginan oleh pasir cetak yang menyimpan panas dari produk cor (Nugroho et al., 2014).



**Gambar 2. 6** Diagram Normalizing (Sumber: Nugroho et al., 2014)

### 2. 3. 2 Hardening

*Hardening* adalah proses perlakuan panas dimana permukaan baja yang akan dikeraskan dipanaskan dengan nyala api hingga mencapai temperatur austenite dan didinginkan dengan cepat sehingga pada permukaan terbentuk martensit sedangkan

pada bagian intinya tetap seperti kondisi semula. Nyala api dengan dengan temperatur tinggi diperoleh.

Dari hasil pembakaran bahan bakar dengan oksigen. Kedalaman kekerasan yang dapat diperoleh dari proses ini berkisar antara 1/32 – 1/4 inci atau dapat lebih tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan, temperatur nyala api maksimum yang dihasilkan bahan bakar, desain pemanas waktu pemanasan, kemampukerasan material dan metode serta media pendingin (*quenching*) yang digunakan. Sebagai contoh baja karbon dengan kadar karbon di atas 0.37% dapat dikeraskan sampai 1/2 inch (13 mm) (ASM:1991).

### 2. 3. 3 Mekanisme Pendinginan Cepat (*Quenching*)

Dalam proses pendinginan cepat, baja mengalami pendinginan cepat dari Temperatur tinggi yang umumnya dilakukan dengan mencelupkan kedalam air atau minyak. hasilnya diperoleh produk yang memiliki mikro struktur yang dikeraskan (*as-quenched*) pada daerah kritis dan sifat mekanis yang memenuhi spesifikasi setelah proses *temper*. Keefektifan *quenching* tergantung pada sifat pendinginan dari media *quench* dan juga kemampukerasan dari baja.

Beberapa faktor yang terlibat dalam mekanisme pendinginan cepat:

- a) Kondisi internal bahan yang mempengaruhi proses perpindahan panas
- b) Kondisi permukaan yang mempengaruhi pelepasan panas
- c) Kemampuan penyerapan panas dari media quench dalam kondisi fluida tak mengalir pada temperatur dan tekanan fluida normal (kondisi standar)
- d) Perubahan kemampuan penyerapan panas dari fluida yang disebabkan oleh kondisi non-standar dari agitasi, temperatur, dan tekanan.

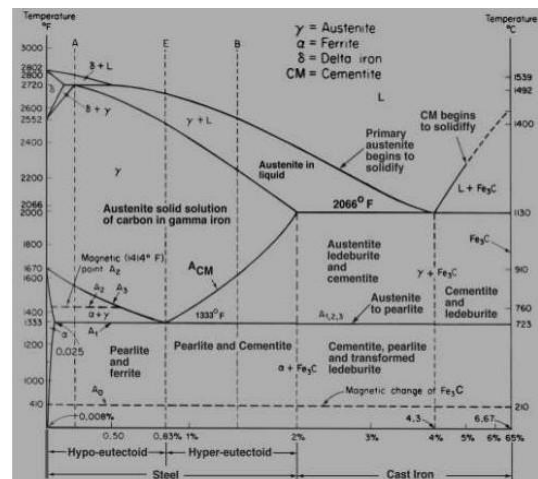
### Diagram Fe3C

Diagram keseimbangan fasa besi-besi karbida dapat dilihat pada Gambar

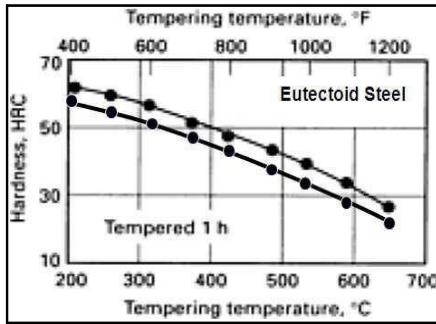
Diagram ini dihasilkan pada proses pendinginan lambat. Baja dan besi tuang yang ada kebanyakan berupa paduan besi dengan karbon, dimana karbonnya berupa senyawa *interstitial* (sementit). Sementit merupakan struktur logam yang stabil. Selain unsur karbon pada besi dan baja terkandung kurang lebih 0,25% Si, 0,3%- 1,5% Mn serta unsur pengotor lain seperti P, dan S. Karena unsur-unsur tadi tidak digunakan dengan menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut. Melalui diagram keseimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C secara

garis besar baja dapat juga dikelompokkan sebagai berikut:

1. Baja *hypereutectoid* dengan kandungan karbon 0,008%-0,80%.
2. Baja *eutectoid* dengan kandungan karbon 0,8%.
3. Baja *hypereutectoid* dengan kandungan karbon 0,8%-2%.



**Gambar 2. 7** Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C (Sumber: Mersilia, Anggun .2016)



### 2.3.4 Mekanisme Tempering

**Gambar 2. 8** Diagram temperatur tempering baja dengan komposisi eutectoid (*Sumber: ASM metals handbook, 1991*)

Proses tempering dilakukan dengan memanaskan kembali baja yang sudah dikeraskan dengan tujuan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, keuletan dan ketangguhan yang tinggi. Proses tempering ini terdiri dari pemanasan baja sampai di bawah temperatur  $A_1$  dan menahannya pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu dan kemudian didinginkan di udara. Proses pemanasan kembali struktur martensit yang merupakan produk dari proses hardening akan menghasilkan martensit temper (tempered martensite). Pemilihan temperatur tempering didasarkan pada data kekerasan awal hasil dari proses hardening dan kekerasan akhir yang diinginkan dengan menggunakan bantuan diagram tempering yang sesuai.

### Waktu Penahanan (Holding Time)

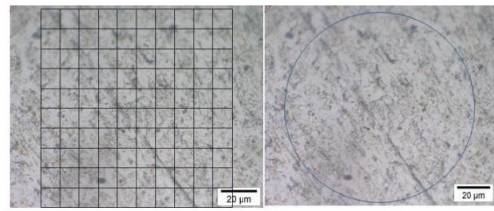
Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya.

### Metalografi

Metalografi merupakan suatu disiplin ilmu yang mempelajari metode observasi atau pemeriksaan atau pengamatan atau pengujian dengan tujuan untuk menentukan atau mempelajari hubungan antar struktur dengan sifat atau karakter yang pernah dialami oleh logam atau paduan. Kebanyakan sifat makroskopik dari material berhubungan dengan mikro struktur. Sifat mekanik material seperti tensile strength, elongasi, sifat terhadap panas dan juga sifat kelistrikan berhubungan langsung dengan mikro struktur. Pemahaman dari hubungan antara mikro struktur dan sifat makroskopik yang mempunyai peran penting dalam pengembangan material merupakan tujuan utama dari



metalografi . Dengan menguji dan mengamati mikro struktur suatu material , maka performa material tersebut dapat dilihat . Karena itu metalografi digunakan di semua tahap selama pembuatan material tersebut dari mulai pengembangan, produksi, manufakturing process control, dan bahkan analisis kegagalan logam. Metalografi biasanya dilakukan dengan alat mikroskop optik. reparasi spesimen yang harus dilakukan meliputi pembedahan (mounting), pengamplasan, pemolesan (polishing) dan pengetsaan (polishing) [.Mounting dilakukan untuk melindungi tepi material dan mempertahankan permukaan material, mengisi kekosongan pada material, memudahkan untuk memegang material yang berbentuk irregular. Mounting biasanya dilakukan dengan resin. Selanjutnya pengamplasan dilakukan dengan mengampelas bagian permukaan yang akan diuji dengan ampelas dengan tingkat kekasaran yang menurun sampai permukaan siap untuk dipoles . Selanjutnya dipoles dengan menggunakan serbuk alumina . Lalu dilakukan etching agar mikro struktur muncul dan dapat dilihat di mikroskop.(Fadhilah)



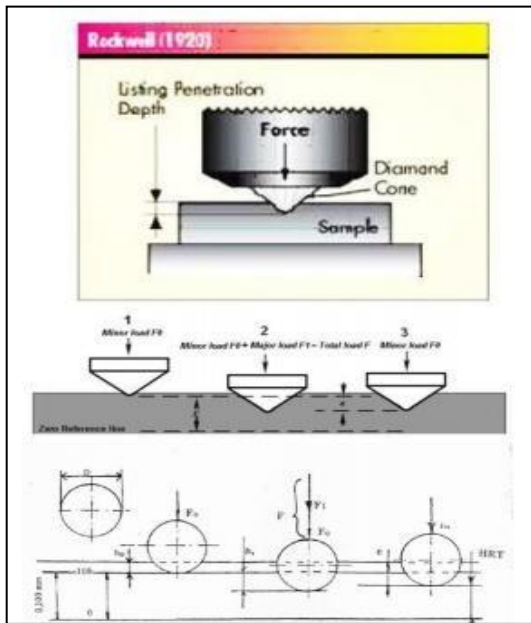
**Gambar 2. 9** Struktur mikro spesimen 1 dengan 1000 kali (Irfan Fadhilah.)

Menghitung % Fasa dengan menggunakan Point Count.

$$\%Fasa = 1 + \frac{\text{jumlah fasa hitam}}{\text{jumlah total titik}} \times 100\%$$

#### **Kekerasan (*Rockwell Test*)**

Kekerasan *Rockwell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut . Nilai keras *Rockwell* adalah angka yang didapat dari perbedaan antara kedalaman bekas penetrasi dari dua tahap pembebanan pada penetrator bola baja (Arif Indro Sultoni,2017)

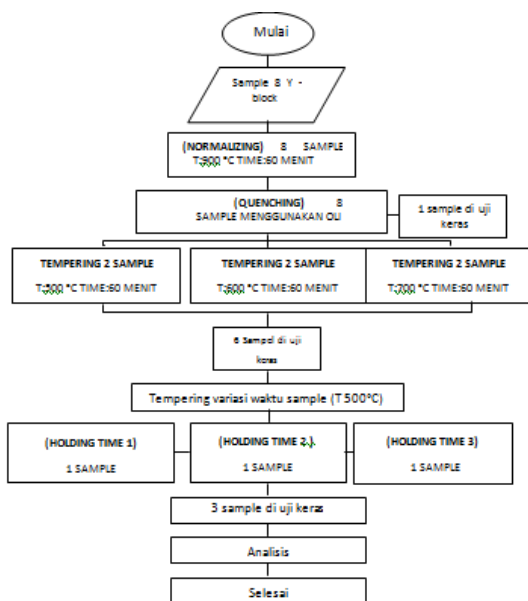


**Gambar 2. 10** Prinsip Kerja Metode Pengukuran Kekerasan *Rockwell* Arif Indro Sultoni,2017

### III. PROSEDUR DAN HASIL PERCOBAAN

#### 3.1 Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



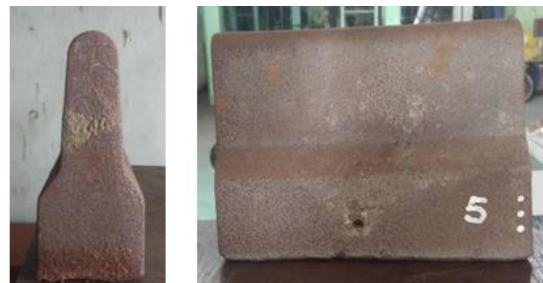
#### 3.2 Prosedur Penelitian Awal

##### 3.2.1 Sample Penelitian

Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) sudah membuat roda kereta api dam Y- Block melalui proses pengecoran logam dengan cetakan pasir kering. Sample yang di gunakan pada penelitian ini di ambil dari Y-block hasil pengecoran logam dengan cetakan pasir dengan komposisi

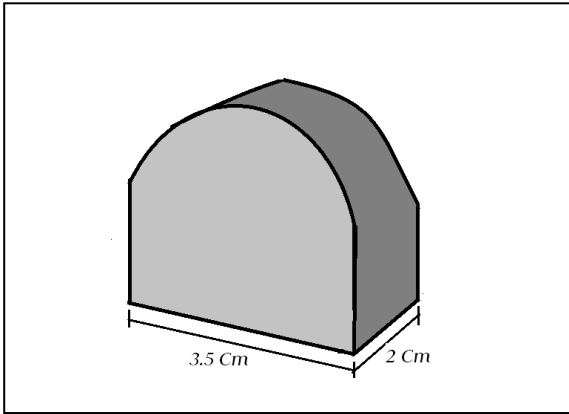
**Tabel 3. 1** Komposisi Sample Roda Kereta Api

KOMPOSISI RODA KERETA API										
Unsur	C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)	Cr(%)	Mo(%)	Ni(%)	Al(%)	Ti(%)
jumlah	0,68	0,805	1,02	0,035	0,013	0,04	0,02	0,15	0,006	0,003



**Gambar 3. 1** Sample Roda kereta api Y-Blok

Penelitian di tugas akhir ini akan melakukan karakterisasi pengujian kekerasan dan pengujian metalografi pada perlakuan panas *normalizing*, *hardening* dengan media *quenching* oli, serta *tempering* dengan temperatur 500°C, 600°C dan 700°C pemotongan Y-blok dilakukan menggunakan gerinda



**Gambar 3. 2** Sample Potongan

### 3.3.2 Prosedur Perlakuan Panas

Percobaan Perlakuan panas pada penelitian ini dilakukan di PT. Jaya Indah Casting. Adapun tahapan dari prosedur perlakuan panas tersebut yaitu sebagai berikut:

#### Normalizing

Siklus *normalizing* dilakukan pada temperatur 900 °C dan waktu tahan 60 menit.

#### Tempering

Siklus tempering dilakukan dengan menggunakan 2 variasi, yaitu variasi temperatur dan variasi waktu tahan.

Tempering ditentukan berdasarkan data kekerasan awal hasil dari proses *normalizing* dan kekerasan akhir yang di inginkan dari data hasil pengujian kekerasan diketahui bahwa kekerasan material hasil *normalizing* adalah 23 HRC dan kekerasan akhir yang di inginkan 35 – 37 HRC.

Parameter temperatur dalam tempering dilakukan variasi temperatur penelitian dari

(Doloksaribu, 2018) dengan judul pengaruh temperatur dan waktu tahan proses perlakuan panas temper terhadap struktur mikro dan kekerasan roda kereta api, yang telah melakukan perlakuan tempering dengan variasi temperatur 500 °C, 600 °C, dan 700 °C .hasil dari penelitian tersebut ditunjukkan pada tabel 3.2

**Tabel 3.2** Hasil kekerasan variasi temperatur (Doloksaribu, 2018)

Temperatur (°C)	Waktu Tahan (Hours)	Kekerasan Rata-rata (HRC)
500	1	32
600		26
700		23

pada Tabel 3.2 menunjukan untuk temperatur 500 °C hasil kekerasan sudah mencapai standar AAR yaitu sebesar 30 HRC sampai 37 HRC Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan waktu *tempering* yang sama, perbedaan temperatur tempering akan menghasilkan tingkat kekerasan akhir yang berbeda. Semakin tinggi temperatur tempering maka kekerasan akhir yang didapat akan semakin rendah. Langkah selanjutnya proses yang dilakukan perlakuan panas tempering adalah menyiapkan sampel untuk di quenching dengan oli dan kemudian dilakukan uji keras dan setelahnya dilakukan variasi tempering berdasarkan waktu tahannya.

Tempering dengan variasi waktu ditentukan berdasarkan data kekerasan yang mendekati standar hasil akhir dari proses tempering variasi temperatur yang diinginkan dari data hasil pengujian kekerasan diketahui bahwa kekerasan material hasil tempering variasi temperatur adalah 35 HRC pada sample 1 dan kekerasan akhir yang di inginkan 35 - 37 HRC yang telah ditetapkan pada standar **JIS E 5402-1, SNI 11-1080, dan AAR M107.**

### 3.3.3 Pengujian kekerasan

Pada penelitian ini dilakukan studi perbandingan uji kekerasan Rockwell dengan beban 10/3000 Kg, pengujian kekerasan Rockwell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut.

**Tabel 3.3** Hasil Kekerasan Variasi Waktu

Parameter Proses Tempering		Kekerasan Rata-Rata (HRC)
Temperatur	Holding Time	
500°C	30 menit	39
	45 menit	37
	60 menit	35

### 3.3.4 Prosedur Metalografi

Metalografi pada dasarnya studi tentang struktur dan bentuk pada logam serta paduannya, menggunakan mikroskop metalurgi dan pembesaran, sehingga sifat fisik dan mekanik dari paduan dapat berhubungan dengan mikro struktur diamati. Prosedur metalografi mengacu pada ASTM E3 (*Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*). Tahapan dari proses metalografi adalah sebagai berikut:

### **Pemotongan (*Cutting*)**

Pada tahap ini, spesimen hasil pengelasan akan dipotong menjadi lebih kecil sesuai ukuran standar pengujian. Sebagian besar spesimen metalografi harus dipotong untuk penanganan yang lebih mudah



**Gambar 3. 10** Proses Pemotongan Sampel *Y-Block*

### **Pengampelasan (*Grinding*)**

Pada tahap ini, spesimen diampelas dengan kertas ampelas berbahan silicon carbide yang dimulai dari grit terkecil (paling kasar) hingga grit terbesar (paling halus) dan dialiri air pada mesin ampelas. Tujuan dari tahap ini digunakan untuk mengurangi kerusakan yang disebabkan saat dilakukan *sectioning* atau pemotongan spesimen (*cutting*) dan dapat mengurangi ukuran partikel sehingga permukaan spesimen siap untuk proses pemolesan (*polishing*). Arah pengampelasan diputar 90° pada setiap grit, tujuannya untuk menghilangkan goresan (*scratch*) pada permukaan spesimen. Pengampelasan dilakukan hingga tidak

ada goresan (*stretch*) pada permukaan spesimen grade ampelas yang digunakan: 80, 100, 220, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000.

### **Pemolesan (*Polishing*)**

Pada tahap ini, spesimen dipoles dengan menggunakan kain beludru dan pasta poles berupa pasta Autosol yang mengandung alumina 5%. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menghapus kerusakan permukaan spesimen yang disebabkan oleh pemotongan (*cutting*) dan pengampelasan (*grinding*). Pemolesan dilakukan hingga tidak ada goresan (*scratch*) dan permukaan spesimen dapat merefleksikan cahaya dengan baik.

### **Pengetsaan (*Etching*)**

Pada tahap ini, spesimen diusap menggunakan kapas yang sudah dibasahi larutan etsa. Pengetsaan spesimen baja ini dilakukan dengan menggunakan etsa *Nital* 2% (2 mL HNO<sub>3</sub> + 100 mL alkohol (95%)). Tujuannya dilakukan etsa adalah untuk meningkatkan fitur optik pada struktur mikro dari spesimen/material (ukuran butir dan bentuk fasa).

### **3.3.5 Prosedur Mikroskop Optik**

Spesimen yang sudah di metalografi dapat dilakukan pengamatan dengan mikroskop

optik untuk mengamati dan menganalisis struktur mikro secara jelas.

#### IV. PEMBAHASAN

##### 4.1 Spesimen Hasil Pengecoran

Proses pembuatan spesimen *hardening* dilakukan dengan cara menggunakan cetakan pasir (*sand casting*) pola cetakan dan hasil pengecoran ditunjukkan pada gambar 4.1



**Gambar 4. 1** Proses Pengecoran Roda Kereta Api (Sumber: Litbang pembuatan roda kereta api untuk substitusi impor)

Hasil uji Komposisi kimia sample pengecoran logam dengan menggunakan cetakan pasir dibandingkan dengan komposisi standar **JIS-5402-1, SNI-1080, AAR dan Standar PT.KAI .**

**Tabel 4. 1** Rangkuman Komposisi

Unsur	Komposisi Kimia				
	C(%)	S(%)	Mn(%)	P(%)	Si(%)
Standar JIS E 5402	0,55-0,65	Max 0,05	0,50-0,90	Max 0,05	0,15-0,35
SNI-1080	0,60-0,75	Max 0,05	0,50-0,90	Max 0,05	0,50-0,35
AAR M107-M208	0,57-0,67	0,15-1,00	Max 0,30	0,005-0,040	0,60-0,90
Percobaan	0,68	0,013	1,02	0,035	0,805

Dari Tabel 4.1. terlihat bahwa komposisi kimia spesimen hasil pengecoran logam yang dilakukan sudah sesuai dengan standar yang ada. Semua unsur paduan yang ada persentasenya masuk dalam *range* standar yang di persyaratkan pada standar JIS-5402-1, SNI-1080, AAR dan Standar PT. KAI.

##### 4.2 Kekerasan Spesimen Hasil Normalizing

Proses *normalizing* dilakukan dengan parameter proses *normalizing* sesuai rekomendasi hasil penelitian pembuatan roda kereta api yang sudah dilakukan sebelumnya (*Doloksaribu, 2018*). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, temperatur *normalizing* yang direkomendasikan adalah 900<sup>0</sup>C dengan *holding time* 60 Menit.

**Tabel 4.2** Hasil Kekerasan Pada Proses *Normalizing*

kekerasan (HRC)	sample		rata rata
	1	2	
Sebelum Normalizing	23	24	23,5
Sesudah Normalizing	26	26	26

Dari Tabel 4.2 di atas diketahui bahwa kekerasan rata-rata yang dihasilkan dari proses Normalizing adalah 26 HRC .



Proses Normalizing yang dilakukan telah meningkatkan kekerasan material dari 23,5 HRC menjadi 26 HRC . Proses normalizing yang dilakukan menyebabkan berkurang/hilangnya tegangan sisa dan juga membuat struktur menjadi lebih homogen Di samping itu proses *normalizing* juga menghasilkan ukuran butiran yang lebih halus sehingga kekerasan dan kekuatan material juga semakin meningkat. Dapat dilihat pada hasil mikro struktur.

Peningkatan kekerasan yang tinggi ini disebabkan karena terbentuknya martensit setelah proses *normalizing*. Terbentuknya martensit ini ditandai dengan tingginya kekerasan yang dihasilkan, dimana kekerasan tersebut masuk dalam *range* kekerasan martensit. Martensit tersebut terbentuk karena pemanasan yang diberikan pada proses *normalizing* hal ini sudah berada di atas temperatur transformasi  $A_1$  sehingga terjadi transformasi dari struktur awal material yaitu perlit menjadi austenit .pendinginan yang dengan menggunakan oli yang memiliki sifat pendinginan yang stabil dan cepat. Maka martensit mempunyai komposisi yang persis sama seperti fasa awalnya yaitu austenit. Karena pendinginan yang cepat, atom karbon terjebak dalam tempat oktahedral dari struktur *body center cubic (BCC)*, hingga

membentuk fasa baru yaitu martensit dengan struktur *body centered tetragonal (BCT)*. Jenis martensit yang dihasilkan sangat tergantung pada jumlah kandungan karbon dalam baja. Bila kandungan karbon rendah maka yang terbentuk adalah martensit dan apabila kandungan karbon dalam baja tinggi akan terbentuk *plate* martensit. Sedangkan bila kandungan karbonnya sedang akan terbentuk campuran dari keduanya. Pada penelitian ini, kandungan karbon pada material yang digunakan adalah  $< 0.60\%$  sehingga masuk pada baja karbon sedang. Karena masuk pada baja karbon sedang, maka martensit yang dihasilkan adalah terbentuk *plate* martensit.

### 4.3 Kekerasan Hasil Tempering Temperatur

Data kekerasan hasil proses *tempering temperatur* dengan berbagai macam temperatur tempering terhadap material yang sebelumnya sudah diberi perlakuan panas pengerasan induksi ditunjukkan pada tabel 4.3

**Tabel 4.3** Kekerasan Dengan Variasi *Tempering*

Temperatur (°C)	Waktu Tahan (Hours)	Kekerasan Rata-rata (HRC)
500	1	35
600		39
700		45

Dari Tabel 4.3 terlihat bahwa pada temperatur tempering 500 °C, kekerasan akhir rata-rata yang dihasilkan adalah 35 HRC . Ketika temperatur tempering dinaikkan menjadi 600 °C kekerasan akhir yang dihasilkan adalah 38 HRC dan ketika temperatur tempering dinaikkan lagi menjadi 700 °C kekerasan akhir yang dihasilkan adalah 45 HRC . Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan waktu tempering yang sama, perbedaan temperatur tempering akan menghasilkan tingkat kekerasan akhir yang berbeda. Semakin tinggi temperatur tempering maka kekerasan akhir yang didapat akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur *tempering*, maka akan semakin banyak atom karbon yang keluar dari struktur martensit menjadi martensit temper sehingga kekerasannya akan semakin tinggi, semakin tinggi temperatur tempering, maka akan semakin banyak atom karbon yang keluar dari struktur martensit menjadi martensit temper sehingga kekerasannya akan semakin naik.

#### 4.4 Kekerasan Hasil Tempering Waktu

Data kekerasan hasil proses *Tempering waktu* dengan temperatur 500°C, dengan variasi waktu penahanan 30 menit, 45 menit, dan 60 menit dan media *quenching* oli ditampilkan pada Tabel 4.5

**Tabel 4. 4** Kekerasan Dengan Variasi Tempering Waktu

Parameter proses tempering		Kekerasan Rata-Rata (HRC)
Temperatur	Holding Time	
500°C	30 menit	38
	45 menit	37
	60 menit	35

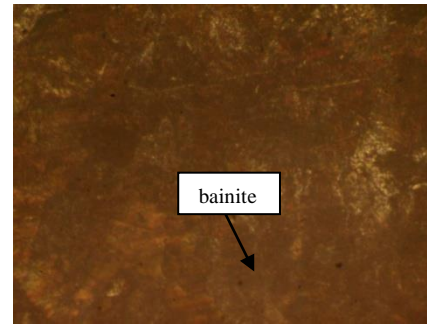
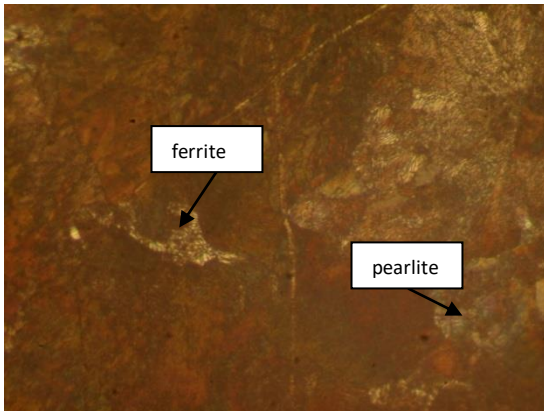
Dari Tabel 4.5 terlihat bahwa pada tempering variasi waktu yang menggunakan temperatur 500 °C, kekerasan akhir rata-rata yang dihasilkan adalah 39 HRC pada waktu 30 menit. Ketika waktu dinaikkan menjadi 45 menit kekerasan yang dihasilkan sebesar 37 HRC kekerasan akhir yang dihasilkan adalah 35 HRC dan ketika waktu dinaikkan menjadi 60 menit. Hal ini dikarenakan semakin lamanya waktu tahan yang digunakan, maka nilai kekerasan akan semakin menurun.

#### 4.5 Struktur Mikro

##### 4.5.1 Struktur Mikro Hasil Proses Pengecoran

Struktur mikro spesimen hasil proses pengecoran diperlihatkan pada Gambar 4.2. berikut ini:

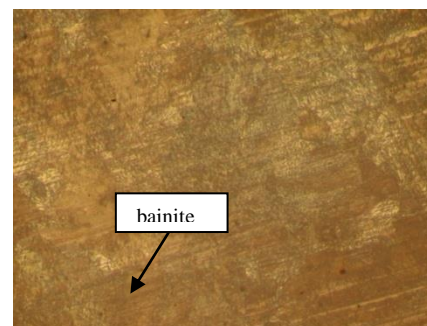




(b)

**Gambar 4. 2** Struktur Mikro Spesimen Hasil Proses Pengecoran (perbesaran 200x)

Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa struktur mikro hasil pengecoran adalah perlit yaitu struktur yang berlapis-lapis yang terdiri dari ferit dan sementit. Struktur perlit ini diperoleh karena komposisi material yang digunakan pada penelitian ini mempunyai komposisi eutektoid.



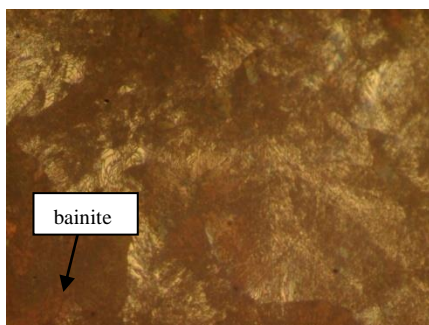
(c)

#### 4.5.2 Struktur Mikro Hasil Proses Tempering temperatur

Foto struktur mikro spesimen hasil proses *tempering temperatur* dengan temperatur *tempering* 500 °C, 600 °C dan 700 °C dengan waktu penahanan selama 1 jam dan didinginkan di oli ditunjukkan pada Gambar 4.3 (a), (b) dan (c) berikut :

**Gambar 4.3** Struktur mikro hasil variasi temperatur pada saat tempering; (a) 500°C, (b) 600 °C, (c) 700 °C

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.3, struktur mikro yang terbentuk adalah fasa *bainit* yang terjadi pada saat pendinginan yang tidak terlalu lambat sehingga tidak terjadinya pembentukan fasa *perlit* dan juga tidak terlalu cepat sehingga fasa *austenit* tidak seluruhnya membentuk fasa *martensit*. Selain itu, pada gambar 4.3 menunjukkan fasa *bainit* yang semakin halus, hal ini dipengaruhi oleh temperatur pada saat *tempering* yang semakin meningkat, sehingga menyebabkan nilai

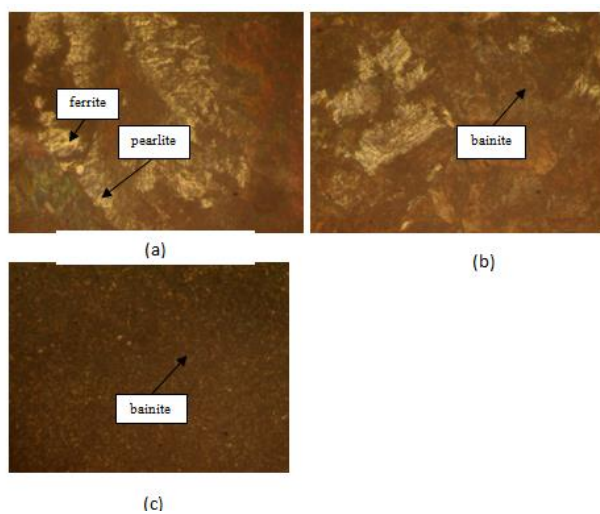


(a)

kekerasan yang dihasilkan pun ikut menurun.

### 4.5.3 Struktur Mikro Hasil Proses Tempering Waktu

Foto struktur mikro spesimen hasil proses *tempering waktu* dengan temperatur 500 °C, dengan variasi waktu 30, 45, dan 60 menit ditunjukkan pada Gambar 4.4 (a), (b) dan (c) berikut :



**Gambar 4.4** Struktur mikro hasil variasi waktu tahan pada saat tempering; (a) 30 menit, (b) 45 menit, (c) 60 menit

Dalam uji kekerasan yang dilakukan pada Roda kereta api dengan variasi waktu penahanan selama 30 menit, 45 menit, dan 60 menit dapat dilihat bahwa nilai kekerasan yang paling tinggi jatuh pada waktu penahanan selama 30 menit dengan kekerasan rata-rata 38 HRC. Selanjutnya di ikuti waktu penahanan sebesar 45 menit kekerasan rata-rata sebesar 37 HRC, dan kekerasan terkecil

pada waktu penahanan 60 menit dengan kekerasan rata-rata sebesar 35 HRC. Hal ini dapat di kaitkan dengan hasil metalografi yang menunjukkan kekerasan yang terbaik dimiliki oleh roda kereta api dengan tempering waktu 60 menit pada temperatur 500 °C yang sudah sesuai dengan standar yang diterapkan. Dari hasil uji metalografi dan uji kekerasan di dapatkan data yang sesuai dengan teori yang ada semakin lama waktu penahanan kekerasan akan semakin turun. Dan juga semakin memperkuat bahwa waktu penahanan (*holding time*).

### 4.6 Pengaruh Variabel *Tempering*

Dari hasil data yang didapat pada kekerasan dengan variabel temperatur hasil yang maksimal didapat pada temperatur 500 °C Holding time 60 menit dengan kekerasan rata-rata sebesar 35 HRC dapat disimpulkan pada percobaan pengaruh temperature dan waktu tahan terhadap kekerasan sangat berpengaruh semakin tinggi temperatur kekerasan yang didapat semakin rendah, kemudian dilanjutkan pada proses tempering waktu untuk mendapatkan hasil pengaruh waktu yang diinginkan. pada proses perlakuan panas variabel temperatur hasil yang didapat telah sesuai dengan referensi dan standar yang menjadi acuan.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1 Kesimpulan

1. Pada proses perlakuan panas yang dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur, didapatkan kekerasan tertinggi pada temperatur 700°C dengan nilai kekerasan sebesar 45 HRC dan nilai kekerasan terendah terjadi pada variasi temperatur 500 °C dengan nilai kekerasan mencapai 35 HRC .
2. Pada proses perlakuan panas yang dilakukan dengan menggunakan variasi waktu, didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada waktu tahan 30 menit dengan nilai kekerasan mencapai 38 HRC dan nilai kekerasan terendah pada variasi waktu 60 menit dengan nilai kekerasan mencapai 35 HRC.
3. Penurunan temperatur setelah proses *normalizing* menyebabkan pembentukan fasa martensit dan juga fasa bainit. Struktur bainit dapat terjadi akibat kecepatan waktu pendinginan menengah (moderat). Kecepatan waktu pendinginan tersebut tidak terlalu lambat sehingga tidak terjadi pembentukan perlit dan tidak terlalu cepat sehingga austenit tidak seluruhnya bertransformasi menjadi struktur martensit. Namun apa bila kecepatan waktu

pendinginan lebih lambat, maka semakin banyak karbon yang keluar dan membentuk struktur martensit.

4. Hal ini dapat disimpulkan, waktu tahan dan temperatur mempengaruhi fasa dan tingkat kekerasan pada hasil pengujian perlakuan panas.

## 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan percobaan perlakuan panas tersebut pada roda kereta api ukuran sebenarnya untuk mendapatkan parameter proses perlakuan panas yang paling tepat.
2. Perlu dilakukan pengujian SEM agar lebih jelas macam-macam fasa yang terbentuk

## DAFTAR PUSTAKA

1. Arai, Tohru, et al. *ASM Metal Handbook Vol 4*. 1998.
2. Doloksaribu, Martin, et al. *pengaruh temperatur dan waktu tahan proses perlakuan panas temper terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan rim roda kereta api prototipe hasil pengerasan induksi effect of tempering temperature and holding time on microstructure and surface hardnes*. No. 1, 2018.
3. Fadhilah, Irfan. *Analisis Struktur Mikro ( Metalografi )*.
4. Kozin, Muhammad. *Pengaruh*

- Proses...*, Muhammad Kozin,  
*FMIPA UI, 2012.*
5. Kumayasari, Magdalena Feby, and Arif Indro Sultoni. "Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial vs Micro Vickers." *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, vol. 2, no. 2, 2017, doi:10.36048/jtpii.v2i2.789.
  6. Nugroho, Adhityo Sarwo, et al. *Pengaruh Proses Normalizing Terhadap Nilai Kekerasan Dan*. No. 3, 2014, pp. 249–57.
  7. Rudnev, Valery, et al. "Handbook of Induction Heating." *Marcel Dekker, New York*, 2003, p. 796.
  8. Sumaraw, Elvis A. "Pengaruh Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja crmov Dengan Media Quench Yang Berbeda." *Majalah Sains Dan Teknologi Dirgantara*, vol. 5, no. 2, 2010, pp. 66–73.
  9. Vande Berg, B. J. .. "Klasifikasi Baja." *Journal of Biological Chemistry*, vol. 276, no. 5, 2001, pp. 3408–16.
  10. R.Widodo." Perlakuan Panas pada Proses Pengecoran Logam"HPLI