

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *AUSTEMPERING* PADA BESI
COR KELABU FC 25 TERHADAP KEKUATAN IMPAK**

(Skripsi)

Oleh :

PRANIKO RAYENDA PUTRA

(1615021014)



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *AUSTEMPERING* PADA BESI COR KELABU FC 25 TERHADAP KEKUATAN IMPAK

Oleh

Praniko Rayenda Putra

Besi cor kelabu FC 25 merupakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C) dengan kandungan karbon berkisar antara 2-6,67%. Besi cor juga mengandung unsur lain yaitu silikon (Si), mangan (Mn), fosfor (P) dan belerang (S). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *austempering* dan perubahan struktur mikro pada besi cor kelabu FC 25. *Austempering* adalah suatu proses yang terjadi pada besi cor yang sudah mengalami austenisasi kemudian *diquenching* dengan cepat selanjutnya dipanaskan kembali pada temperatur yang telah ditentukan. Variasi temperatur *austempering* pada penelitian ini adalah 300°C, 350°C dan 400°C dengan waktu penahanan selama 60 menit. Adapun hasil pengujian yang didapatkan setelah dilakukan proses *austempering* adalah terjadi peningkatan terhadap ketangguhannya. Nilai tertinggi energi impak yang diperoleh pada temperatur 300°C sebesar 4 Joule, selanjutnya pada temperatur 350°C sebesar 4,5 Joule, kemudian pada temperatur 400°C sebesar 5 Joule. Pada pengamatan struktur mikro menggunakan *Optical Microscopy* (OM) menunjukkan perubahan fasa dari ferit dan perlit menjadi fasa ausferit.

Kata Kunci : Besi Cor Kelabu FC 25, *Austempering*, Ketangguhan dan OM.

ABSTRACT

THE EFFECT OF AUSTEMPERING TEMPERATURE VARIATION ON FC 25 GRAY CAST IRON ON IMPACT STRENGTH

By

Praniko Rayenda Putra

FC 25 gray cast iron is an alloy between iron (Fe) and carbon (C) with a carbon content ranging from 2-6.67%. Cast iron also contains other elements namely silicon (Si), manganese (Mn), phosphorus (P), and sulfur (S). The study aimed to determine the effect of temperature variations in austempering and changes in microstructure in FC 25 gray cast iron. Austempering is a process that occurs in cast iron that has undergone austenitization and then quenched quickly and then reheated at a predetermined temperature. The variations in austempering temperatures in this study were 300°C, 350°C, and 400°C with a holding time of 60 minutes. As for the results of testing obtained after the austempering process is an increase in its toughness. The highest value of impact energy obtained at 300 ° C is 4 J, then at 350 ° C of 4.5 J, then at 400 ° C of 5 J. Microstructure observations using Optical Microscopy (OM) show phase changes from ferrite and pearlite to ausferrite phase.

Keywords: Gray Cast Iron FC 25, Austempering, Toughness, and OM.

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *AUSTEMPERING* PADA BESI
COR KELABU FC 25 TERHADAP KEKUATAN IMPAK**

**Oleh :
PRANIKO RAYENDA PUTRA**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI TEMPERATUR
AUSTEMPERING PADA BESI COR KELABU
FC 25 TERHADAP KEKUATAN IMPAK**

Nama Mahasiswa : **Praniko Rayenda Putra**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1615021014**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.
NIP 19570411 198610 1 001

Prof. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19721211 199803 1 002

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 19710331 199903 1 003

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin

Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

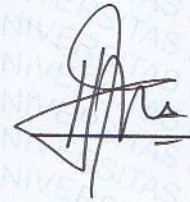
Ketua Penguji : **Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.**



Anggota Penguji : **Prof. Moh. Badaruddin, S.T., M.T, Ph.D.**



Penguji Utama : **Harnowo Supriadi, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **07 April 2022**

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR NO. 13 TAHUN 2019.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



PRANIKO RAYENDA PUTRA
NPM. 1615021014

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Praniko Rayenda Putra dilahirkan di Tanjung Dalam pada tanggal 02 April 1998. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Heli Sumiran dan Ibu Sugiarti. Penulis mengawali pendidikan formal di SD Negeri 65 Prabumulih (2004-2010), SMP Negeri 4 Prabumulih (2010-2013), SMA Negeri 2 Prabumulih (2013-2016). Pada tahun 2016 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten Laboratorium Material dan mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota divisi olahraga periode 2018-2019. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Bukit Asam Tbk., Tanjung Enim, Sumatera Selatan pada bulan Juli-Agustus 2019, dengan topik yang dibahas yaitu “Analisa kerusakan *impact idler* pada *Belt Wagon (BW)*” dan pada tahun 2020 awal Penulis juga melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tebing Karya Mandiri, Kecamatan Mesuji Timur, Kabupaten Mesuji. Pada skripsi ini penulis melaksanakan penelitian Tugas Akhir dengan Judul “Pengaruh Variasi Temperatur *Austempering* pada Besi Cor Kelabu FC 25 Terhadap Kekuatan Impak” dibawah bimbingan Prof. Dr. Sugiyanto, M.T. dan Prof. Mohammad Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D. serta sebagai Pembahas Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T.



PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin, dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, rizki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat dan salam selalu terlimpahkan kepada junjungan kita Rasulullah Muhammad SAW. Dengan segala cinta dan kasih sayang kupersembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

Kedua Orang Tua Tercinta

Dan

**Semua Yang Selama Ini Telah Mendukung, Mendidik Dan Membimbing
Penulis**

Terima kasih

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat serta para pengikutnya. Skripsi ini dibuat sebagai sebuah karya tulis yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu pengetahuan, terkhusus di bidang material. Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah dan rezeki kepada penulis serta Rasulullah Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan dalam hidup.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Heli Sumiran dan Ibu Sugiarti yang selalu memberikan dukungan dan mendoakan penulis, sehingga penulis tetap bersemangat dan lancar dalam menjalankan studi di Teknik Mesin, Universitas Lampung.
3. Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung beserta Staf dan jajarannya.
4. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.
5. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin, Universitas Lampung.
6. Prof. Dr. Sugiyanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing utama yang selalu memberikan bimbingan dan arahan serta ilmu-ilmu baru dalam menyelesaikan skripsi.

7. Prof. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing kedua yang memberikan saran-saran perbaikan, nasihat serta motivasi hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
8. Bapak Harnowo, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan nasihat, motivasi dan kritik serta masukan positif dalam penyelesaian skripsi ini.
9. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung yang telah mendidik, memberikan ilmu dan nasihat selama penulis menempuh pendidikan.
10. Belly Kurniawan dan Pramana selaku kakak dan adik penulis.
11. Rizqal dan Nugroho yang telah membantu pengujian di Laboratorium Material Teknik.
12. Seluruh teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2016 yang telah bersama-sama berjuang dan saling membantu dalam dunia perkuliahan. Serta mendukung penulis untuk bersemangat dalam menyelesaikan skripsi sampai selesai.
13. Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, penulis ucapkan terima kasih semoga Allah Yang Maha Pengasih membalas segala kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca. Aamiin.

Bandar Lampung, 22 Februari 2022

Penulis,

Praniko Rayenda Putra
NPM. 1615021014

Motto

*“Keberhasilan bukan hanya milik orang pintar.
Keberhasilan milik mereka yang terus berusaha”.*

(B.J. Habibie)

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan
sesuai dengan kesanggupannya”*

(Q.S. Al-Baqarah : 286)

*“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada
kemudahan”*

(Q.S. Al-Insyirah : 5-6)

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Batasan Masalah	4
D. Manfaat Penelitian	5
E. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Besi Cor.....	7
B. Klasifikasi Besi Cor	7
C. Komposisi Besi Cor	13
D. Pengaruh Kandungan Kimia pada Besi Cor	14
E. Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>)	16
F. Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	18
G. Diagram TTT (<i>Time Temperature Transformation</i>)	20
H. Struktur Mikro.....	20
I. Pengujian Impak	24
J. Jenis-jenis Metode Impak	24
K. Perhitungan Kekuatan Impak	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat Penelitian	27
B. Alat dan Bahan.....	27

C. Metode Penelitian	34
D. Variabel Penelitian	37
E. Diagram Alir	38

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Komposisi	39
B. Hasil Pengujian Impak	41
C. Hasil Pengamatan Struktur Mikro	43
D. Pembahasan	46

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	48
B. Saran	49

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Komposisi Kimia Besi Cor.	14
2. Spesifikasi Mesin <i>Furnace</i>	28
3. Spesifikasi <i>Impact Testing Machine</i>	31
4. Pengambilan Data Pengujian Impak	37
5. Pengujian Komposisi Besi Cor Kelabu FC 25	39
6. Hasil Pengujian Impak	42

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Struktur Mikro Besi Cor Kelabu	9
2. Struktur Mikro Besi Cor <i>Nodular</i>	11
3. Struktur Mikro Besi Cor Putih	12
4. Struktur Mikro Besi Cor Mampu Tempa	13
5. Siklus <i>Austemper</i>	16
6. Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	18
7. Diagram TTT (<i>Time Temperature Transformation</i>).....	20
8. Bentuk Geometri Kristal	21
9. Ilustrasi Pengujian Impak.....	25
10. Ilustrasi Metode Uji Impak <i>Charpy</i> (atas) dan <i>Izod</i> (bawah).....	26
11. Besi Cor Kelabu FC 25	27
12. Tungku Pemanas (<i>Furnace</i>)	28
13. Gerinda Potong	29
14. Natrium Nitrat (NaNO ₃)	29
15. Kalium Nitrat (KNO ₃)	30
16. <i>Impact Testing Machine</i>	30
17. Dapur <i>Salt Bath</i>	32
18. Termokopel	32
19. <i>Spark Optik Emission Spectroscopy</i>	33
20. Mikroskop Optik	33
21. Penjepit Spesimen	34
22. Kawat	34
23. Hasil Uji Impak	41
24. Grafik Pengaruh Variasi <i>Austempering</i>	42

25. Pengamatan Struktur Mikro Tanpa Perlakuan Panas <i>Austempering</i>	44
26. Pengamatan Struktur Mikro Temperatur <i>Austempering</i> 300°C	44
27. Pengamatan Struktur Mikro Temperatur <i>Austempering</i> 350°C	45
28. Pengamatan Struktur Mikro Temperatur <i>Austempering</i> 400°C	45

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan berbagai macam material telah mendorong manusia untuk berinovasi, baik dari segi pemilihan material maupun pembaruan sifat-sifat material. Saat ini material yang banyak digunakan di dunia industri adalah baja, karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya kekuatan yang tinggi, kekerasan yang baik dan relatif ulet. Perkembangan penggunaan material baja diimbangi dengan penggunaan besi cor . Hal ini disebabkan karena besi cor memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan material baja, diantaranya bahan yang relatif murah, memiliki sifat *castability* (mampu cor yang baik) dan memiliki *machinability* (sifat mampu mesin) relatif lebih baik dibandingkan dengan material baja (Balubun dan Suriansyah, 2018).

Besi cor adalah paduan antara besi dan karbon. Besi cor juga mengandung unsur lain, yaitu silikon (Si), mangan (Mn), fosfor (P) dan belerang (S). Besi cor memiliki struktur mikro yang terdiri dari ferit, perlit dan serpihan karbon bebas. Pada besi cor, struktur mikro akan dipengaruhi oleh kadar karbon dan silikon, sementara ukuran dan bentuk karbon bebas serta kondisi struktur dasarnya berbeda-beda sesuai dengan kualitas dan kuantitasnya. Temperatur leleh besi cor relatif lebih rendah, yaitu sekitar 1200°C. Temperatur leleh

yang rendah lebih menguntungkan karena mudah dicairkan, sehingga bahan bakar atau energi yang digunakan lebih hemat dan murah (Bayuseno, 2010).

Besi cor yang mudah didapat dan banyak digunakan adalah besi cor kelabu (*grey cast iron*). Besi cor kelabu memiliki grafit berbentuk *flake* (serpihan). Grafit yang berbentuk *flake* (serpihan) menyebabkan keuletan dan kekuatan tarik yang rendah, karena setiap *flake* merupakan takikan yang dapat menurunkan keuletan dan ketangguhan. Keunggulan sifat mekanik besi cor kelabu, yaitu kekuatan tekan, ketahanan aus dan mampu meredam getaran dengan baik. Penggunaan besi cor kelabu masih sangat banyak, diantaranya pada pembuatan bagian-bagian kendaraan (blok silinder, tutup silinder, poros engkol, selubung silinder dan tromol rem) dan pada bagian-bagian mesin (roda gigi, kopling dan *gear* transmisi). Hal ini dikarenakan kemudahan dalam proses pembuatan, mampu dibuat secara massal dan biaya proses yang relatif murah (E. Dieter, 1988).

Penelitian besi cor telah dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya Galih Suhatmoko dan Nukman (2008) melakukan pengujian, “Analisa Perlakuan Panas *Austempering* pada Besi Tuang *Nodular* FCD-45 Terhadap Kekuatan Impak dan Kekerasannya”. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh dari perlakuan panas *austempering* meningkatkan kekuatan impak dan kekerasannya. Kekuatan impak spesimen mengalami peningkatan dari 30,52 J menjadi 53,34 J, sedangkan kekerasan meningkat dari 118,61 BHN menjadi 419,32 BHN.

Menurut Wibowo dan Purwanto (2007) dalam penelitiannya yang berjudul, “Pengujian Impak Besi Cor Kelabu *Austemper*“, menyimpulkan bahwa proses perlakuan panas *austempering* dapat meningkatkan nilai kekerasan pada besi cor kelabu. Pada besi cor kelabu non paduan, nilai kekerasan tertinggi didapat pada proses *austemper* dengan temperatur celup 300°C, yaitu memiliki nilai sebesar 218 BHN. Sedangkan pada besi cor kelabu paduan 0,3% Cr, nilai kekerasan tertinggi juga didapat pada temperatur celup 300°C, yaitu memiliki nilai sebesar 287 BHN. Sementara itu, penelitian yang dilakukan Bosnjak dkk (2001) menunjukkan adanya pengaruh unsur paduan terhadap transformasi bainit dalam proses *austempering*. Pada transformasi tahap pertama, paduan Ni dan Mo mempengaruhi kadar karbon di dalam austenit, sedangkan pada transformasi tahap kedua, unsur paduan tersebut mempengaruhi pengintian dan pertumbuhan ferit dan karbida.

Untuk meningkatkan sifat mekanik pada besi cor kelabu, maka dilakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*). Dalam penelitian ini, proses perlakuan panas yang dilakukan adalah *austempering*. Proses *austempering* merupakan proses perlakuan panas *isothermal* yang mengacu pada pembentukan struktur bainit, yang mempunyai sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan struktur perlit. Pada proses *austempering*, spesimen dipanaskan sampai temperatur austenit (750°C) selama beberapa saat, kemudian dicelupkan pada larutan garam pada temperatur (300°C-450°C) dan dilanjutkan dengan pendinginan pada temperatur ruangan (Suprihanto, 2007).

Salah satu faktor yang mempengaruhi perubahan sifat mekanik pada proses *austempering* adalah temperatur. Variasi temperatur dapat menghasilkan struktur mikro yang berbeda pada matriks besi cor. Agar dapat mengetahui perubahan sifat mekanik pada besi cor kelabu maka penulis melakukan salah satu metode pengujian yaitu uji impact. Pengujian impact merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan terhadap beban kejut, sehingga dapat mengetahui keuletan dari suatu material. Dengan mengetahui tingkat keuletan dari suatu material melalui pengujian impact, maka diharapkan dapat meminimalisir kegagalan fungsi yang dibuat dari material tersebut.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur *austempering* terhadap kekuatan impact pada besi cor kelabu FC 25.
2. Mengetahui kekuatan impact dan perubahan struktur mikro pada besi cor kelabu FC 25 setelah dilakukan proses *austempering*.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Besi cor yang digunakan pada penelitian ini adalah besi cor kelabu FC 25.
2. Variasi temperatur yang digunakan pada proses *austempering* adalah 300°C, 350°C dan 400°C.
3. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian impact metode *Charpy*.
4. Dimensi spesimen uji impact yang digunakan yaitu ASTM E-23.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat menambah wawasan tentang material besi cor khususnya besi cor kelabu.
2. Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai pengaruh variasi temperatur *austempering* pada besi cor kelabu.

E. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan teori-teori dasar yang berkaitan dengan materi yang dibahas pada penelitian ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian dan diagram alir.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan tentang hasil pengujian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh setelah pengujian.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan simpulan yang didapat dari penelitian dan pembahasan serta saran dari penulis.

DATAR PUSTAKA

Berisikan beberapa literatur dan jurnal sebagai referensi untuk menunjang penelitian yang dilakukan penulis.

LAMPIRAN

Berisikan data seperti gambar hasil pengujian dan data yang mendukung penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Besi Cor

Besi cor merupakan paduan antara besi dan karbon dengan kandungan karbon yang dimiliki berkisar 2,0-6,67%, namun kandungan karbon yang biasa digunakan untuk berbagai kebutuhan komponen mesin berkisar 2,5-4,0%. Pengklasifikasian besi cor ditentukan oleh struktur mikro yang sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon dalam paduan. Karbon yang terbentuk dapat berupa sementit (Fe_3C) ataupun grafit (karbon bebas). Sifat mekanik besi cor dipengaruhi oleh bentuk, ukuran dan distribusi grafit. Unsur lain berupa silikon (Si), mangan (Mn), fosfor (P) dan belerang (S) juga mempengaruhi struktur mikro besi cor (Setyana, 2015).

B. Klasifikasi Besi Cor

Besi cor dapat dibedakan menjadi empat yaitu besi cor kelabu (*gray cast iron*), besi cor *nodular* (*nodular cast iron*), besi cor putih (*white cast iron*) dan besi cor mampu tempa (*malleable cast iron*), yang membedakan dari keempat besi cor ini yaitu struktur mikronya. Besi cor memiliki temperatur lebur sekitar 1200°C. Temperatur lebur yang rendah ini sangat menguntungkan dalam hal pengecoran karena mudah dicairkan, sehingga energi yang dibutuhkan tidak

terlalu besar dan dapur peleburan yang digunakan lebih sederhana. Besi cor memiliki sifat mampu tuang yang baik, sehingga mampu dicetak menggunakan cetakan yang rumit sekalipun. Dibawah ini merupakan penjelasan tentang keempat golongan besi cor.

1. Besi Cor Kelabu

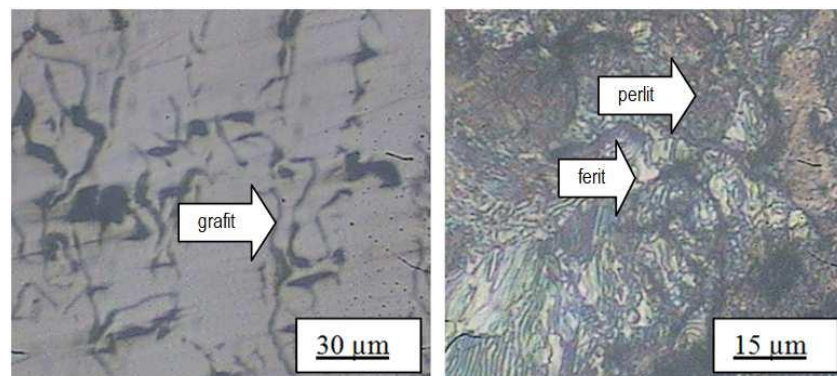
Besi cor dengan kadar silikon tinggi (2% Si) dapat membentuk grafit dengan mudah sehingga Fe_3C tidak terbentuk. Serpih grafit terbentuk dalam logam sewaktu proses pembekuan. Besi cor kelabu sangat rendah angka keuletannya, sehingga apabila kita tarik maka akan terbentuk bidang patahan karena grafit yang terbentuk sangat rapuh. Besi cor kelabu merupakan peredam getaran yang baik dan kapasitas redamnya tinggi (Wahyu Darmadi, 2015).

Salah satu karakteristik yang dimiliki oleh besi cor kelabu adalah bidang patahannya yang berbentuk *flake* (serpih), patahan yang terjadi dengan rambatan yang melintasi satu serpih ke serpih lainnya. Karena sebagian besar permukaan patahan melintasi serpih-serpih (*flake*) grafit dan grafit yang terbentuk ada banyak, maka permukaannya berwarna kelabu. Pembentukan grafit pada besi cor kelabu terjadi saat proses pembekuan. Proses pembentukan grafit terjadi karena tingginya kadar karbon, unsur *grafite stabilizer* (silikon), temperatur penuangan tinggi dan pendinginan yang lambat. Grafit pada besi cor berbentuk *flake* (serpih), berupa lempeng-lempeng kecil yang melengkung. Karena ujung-ujung grafit

berbentuk runcing menyebabkan ketangguhan besi cor rendah (Setyana, 2015).

Besi cor kelabu mempunyai matrik ferit, perlit, sementit, martensit, dan bainit yang mempunyai klasifikasi masing-masing. Matrik ferit dalam besi cor kelabu sangat ulet, tetapi kekerasannya sangat rendah. Matrik perlit dalam besi cor kelabu mempunyai kombinasi keuletan dan kekerasan yang baik, tetapi nilainya masih rendah. Sementit dan martensit mempunyai kekerasan yang tinggi, tetapi sangat getas. Diantara matrik-matrik di atas, masih ada matrik bainit yang mempunyai keuletan dan kekerasan yang paling baik daripada keempat matrik tersebut (Setyana, 2015).

Kandungan besi cor kelabu memiliki C antara 2,5%–4% dan unsur Mn sekitar 0,8%. Besi cor kelabu memiliki unsur Si yang tinggi antara 1%-3%, dengan Si sebesar ini grafit akan terbentuk dengan mudah, sehingga fasa karbida Fe_3C tidak terbentuk. Grafit serpih besi cor ini terjadi pada saat proses pembekuan. Struktur dasar besi cor kelabu sangat dipengaruhi oleh unsur-unsur yang ada di dalamnya.



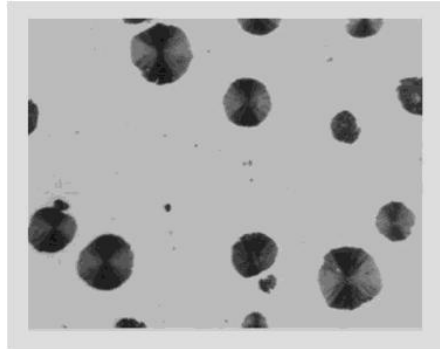
Gambar 2.1 Struktur Mikro Besi Cor Kelabu
(Sumber : Setyana, 2015)

2. Besi Cor *Nodular*

Besi cor *nodular* juga mempunyai sifat yang mirip dengan besi cor kelabu, karena besi cor *nodular* dibuat dari besi cor kelabu dengan penambahan *magnesium* (Mn) dan *cerium* (Ce). Besi cor *nodular* mempunyai keuletan yang lebih tinggi dibandingkan dengan besi cor kelabu, bentuk grafit bulat (*nodul*) merubah keuletan besi cor kelabu. Akan tetapi, besi cor *nodular* memiliki perpanjangan 10%-20%. Penambahan *magnesium* (Mn) dan *cerium* (Ce) mengakibatkan perubahan sruktur mikronya menjadi sangat rumit, oleh karena itu pengaruh penambahan unsur tersebut sangat besar. Besi cor *nodular* yang sudah diolah dapat digunakan sebagai bahan utama pembuatan poros engkol. Pengaruh unsur-unsur ini berhubungan erat dengan kecepatan laju pendinginan dan ketebalan coran, oleh karenanya penentuan komposisi besi cor *nodular* sangat memperhitungkan tentang kecepatan laju pendinginan (Surdia Tata dan Shinroku Saito, 1999).

Besi cor *nodular* dapat mengalami perlakuan panas menjadi perlit, ferit, ataupun martensit *temper* seperti besi cor kelabu, sehingga dapat membentuk besi cor yang kuat. Besi cor bergrafit bulat (*nodular*) memiliki kelebihan dibandingkan dengan besi cor lainnya. Besi cor kelabu bersifat keras namun getas, besi cor mampu tempa memiliki keuletan tertentu, tahan terhadap gesekan dan mampu tempa yang baik, sedangkan besi cor *nodular* memiliki keuletan yang baik, *machinability* yang baik dan kekuatan yang baik. Grafit pada besi cor *nodular* sebesar 10-15% dari

volume total serta tersebar merata di dalam matriknya yang mirip dengan baja karbon (Surdia Tata dan Shinroku Saito, 1999).

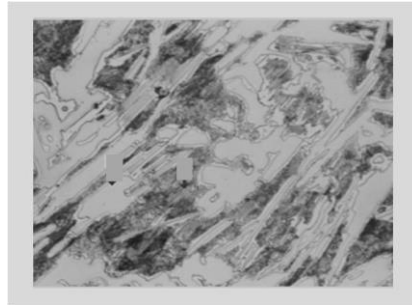


Gambar 2.2 Struktur Mikro Besi Cor Nodular
(Sumber : Hadi S. dkk, 2019)

3. Besi Cor Putih

Besi cor putih (*white cast iron*) mempunyai bidang patahan berwarna putih, di sini karbon terikat sebagai karbida yang bersifat keras, sehingga besi cor putih yang mengandung karbida sulit dilakukan pemesinan. Pembuatan besi cor putih dibuat dengan cara menuangkan besi cor ke dalam sebuah cetakan logam atau cetakan pasir dengan pengaturan komposisi. Untuk mengolahnya dapat menggunakan dapur kupola atau tanur. Besi cor putih mengandung unsur-unsur karbon sekitar 1,8%-3,6%, mangan (Mn) sekitar 0,2%-0,8%, fosfor (P) dan sulfurnya (S) sekitar 0,2%. Sifat besi cor putih memiliki sifat yang getas juga mempunyai kekerasan yang tinggi, sehingga besi cor putih dapat digunakan dan diaplikasikan untuk suku cadang yang memerlukan ketahanan aus yang tinggi. Besi cor putih dibuat dengan cara menuangkan besi cor ke dalam cetakan logam atau cetakan pasir dengan komposisi yang diatur.

Dengan cara ini, logam dapat diproduksi dengan baik (Surdia Tata dan Shinroku Saito, 1999).



Gambar 2.3 Struktur Mikro Besi Cor Putih
(Sumber : Hadi S. dkk, 2019)

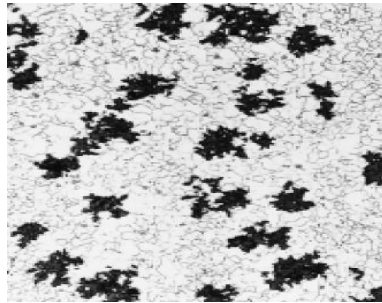
4. Besi Cor Mampu Tempa

Besi cor mampu tempa terbuat dari besi cor putih yang dilunakan di dalam sebuah tanur dalam waktu yang lama. Struktur sementit dari besi cor putih akan berubah menjadi perlit atau ferit dan karbon yang *temper* mengendap. Besi cor mampu tempa sangat baik keuletannya dan perpanjangannya dibandingkan dengan besi cor kelabu, tetapi harganya mahal karena proses pelunakan dan tidak cocok untuk coran yang tipis dan kecil karena sebelum proses pelunakan keuletannya rendah (Bayuseno, 2010).

Besi cor mampu tempa (*Malleable Cast Iron*) dapat didefinisikan sebagai paduan besi yang dikomposisikan dengan karbon *temper* (yang sudah melalui proses *tempering*) dalam satu matriks. Strukturnya merupakan hasil *heat treatment* dari besi cor putih. Sifat-sifat dari besi cor ini biasanya dihubungkan dengan struktur mikronya (metalografinya). Penggolongan besi cor ini berdasarkan pada tingkatan sifat-sifat mekanik utamanya yang terletak di struktur mikronya, berupa ferit, perlit, karbon

temper atau gabungan dari semuanya. Karena besi cor ini didominasi oleh paduan besi dan karbon *temper* maka kemampuannya tergantung dari matriks penyusun (Surdia Tata dan Shinroku Saito, 1999).

Kandungan yang terdapat dalam besi cor mampu tempa yaitu karbon sekitar 2,5% dan silikon 0,9%-2,0%. Perlakuan panas dalam besi cor ini dapat membentuk fase ferit, perlit, atau martensit *temper*. Perubahan struktur mikro diikuti pula dengan perubahan sifat mekaniknya, sehingga memiliki keuletan yang tinggi dan mampu tempa yang baik. Oleh karena itu, disebut besi cor mampu tempa yang umumnya digunakan untuk perkakas dan komponen-komponen kereta api (Surdia Tata dan Shinroku Saito, 1999).



Gambar 2.4 Struktur Mikro Besi Cor Mampu Tempa
(Sumber : Hadi S. dkk, 2019)

C. Komposisi Besi Cor

Kadar karbon di dalam besi cor sekitar 2,5%-6,67%, kadar karbon yang tinggi menyebabkan besi cor menjadi getas atau rapuh. Besi cor juga mengandung silikon 1%-3%, mangan 0,5%-1,5 % dan fosfor 0,05%-1,5%. Unsur-unsur paduan logam dan *non* logam digunakan untuk menambah kekuatan agar menghasilkan sifat-sifat mekanik yang diinginkan, sehingga menjadi lebih

baik. Tabel di bawah menjelaskan unsur karbon (C) dan silikon (Si) merupakan unsur-unsur yang mendominasi pengaruh dari sifat-sifat besi cor. Hal ini terjadi karena karbon (C) dan silikon (Si) adalah unsur-unsur yang membuat terbentuknya grafit dalam besi cor. Kandungan unsur kimia besi cor dapat dilihat dari tabel berikut :

Element	Gray Iron, %	White Iron, %	Malleable Iron, %	Ductile Iron, %
Carbon	2,5 – 4,0	1,8 – 3,6	2,0 – 2,6	3,0 – 4,0
Silicon	1,0 – 3,0	0,5 – 1,9	1,1 – 1,6	1,8 – 2,8
Manganese	0,25 – 1,0	0,25 – 0,8	0,2 – 1,0	0,1 – 1,0
Sulfur	0,02 – 0,25	0,06 – 0,20	0,04 – 0,18	0,03 max
Fosfor	0,05 – 1,0	0,06 – 0,18	0,18 max	0,1 max

Tabel 2.1 komposisi unsur kimia besi cor
(Sumber : Surdia Tata dan Shinroku Saito, 1999)

D. Pengaruh Kandungan Kimia pada Besi Cor

Unsur-unsur paduan ditambahkan dalam besi cor untuk merubah sifat atau efektivitas besi cor. Adapun unsur-unsur yang ditambahkan dalam besi cor adalah sebagai berikut :

1. Mangan (Mn)

Mangan merupakan unsur yang menjaga keuletan saat temperatur tinggi pada *stainless steel*. Pada temperatur rendah akan menstabilkan *austenite* tetapi menjadi penstabil ferit pada temperatur tinggi. Sebagai penstabil *austenite*, mangan juga digunakan untuk menggantikan nikel yang secara ekonomis lebih mahal (Syafi'udin, 2016).

2. Fosfor (P)

Untuk pembuatan besi cor yang tipis diperlukan fosfor, namun jika penggunaan melebihi batas menyebabkan lubang kecil pada permukaan sehingga kadar fosfor dibatasi sebesar 0,2%-2,0%. Fungsi lain dari fosfor yaitu untuk mencegah pembentukan grafit yang berlebih jika kandungannya lebih dari 1%. Oleh karena itu, penambahan kandungan fosfor mengurai kelarutan karbon terhadap besi cor dan memperbanyak sementit pada besi cor dengan karbon yang tetap, sehingga struktur menjadi keras (Syafi'udin, 2016).

3. Silikon (Si)

Silikon adalah elemen paduan pada *stainless steel* yang berfungsi untuk memperbaiki ketahanan oksidasi pada temperatur tinggi. Pengaruh silikon cukup besar terhadap perubahan sifat mekanik. Karbon dan silikon mempunyai sifat yang relatif mirip, keduanya mendorong pembentukan grafit, sehingga kandungan dari kedua unsur ditentukan berdasarkan harga tingkat kejenuhan dari karbon (Syafi'udin, 2016).

4. Karbon (C)

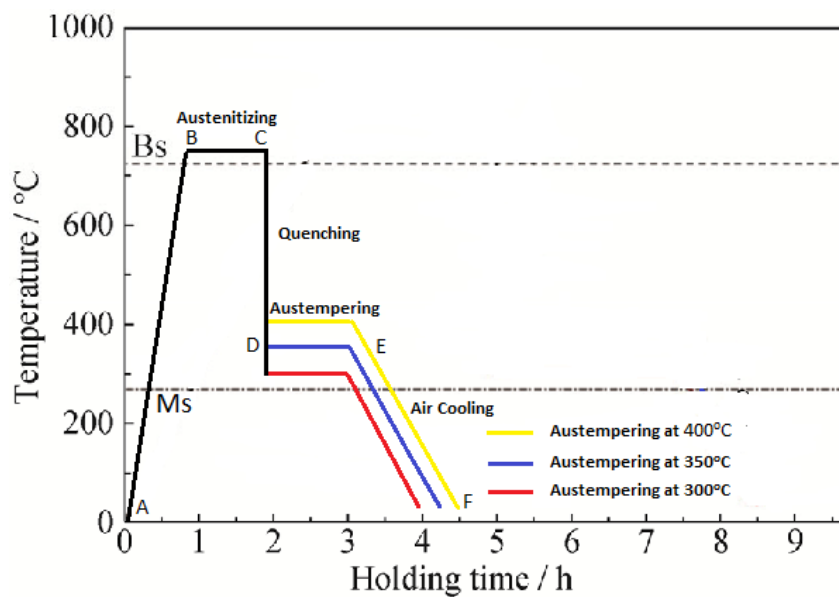
Karbon merupakan salah satu pembentuk *austenite* kuat, sehingga secara signifikan menaikkan kekuatan. Pada *ferritic stainless steel*, karbon akan menurunkan ketangguhan dan ketahanan korosi serta pada *martensitic stainless steel* akan menaikkan kekerasan dan kekuatan, namun menurunkan ketangguhan (Syafi'udin, 2016).

E. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat dari logam dengan jalan memanaskan coran sampai temperatur yang ditentukan, kemudian dibiarkan beberapa waktu, selanjutnya didinginkan ke temperatur yang lebih rendah dengan kecepatan yang sesuai (Surdia Tata dan Kenji Chijiwa, 1996). Tujuan dari perlakuan panas yaitu untuk menghasilkan sifat logam atau merubah sifat logam untuk tujuan tertentu dan memenuhi kegunaan industri. Proses perlakuan panas yang digunakan untuk memperbaiki sifat mekanik dan sifat fisik dalam penelitian ini adalah :

1. *Austempering*

Austempering adalah suatu proses yang terjadi pada besi cor yang sudah mengalami austenisasi, kemudian di*quenching* dengan cepat, selanjutnya dipanaskan kembali dengan temperatur 300-400°C (Surdia Tata dan Kenji Chijiwa, 1996). Proses *austemper* terdiri dari dua tahap, yaitu :



Gambar 2.5 Siklus *Austemper* (Sumber : researchgate.net)

a. Austenitisasi

Austenitisasi merupakan proses pemanasan besi pada temperatur 750°C (dari A ke B), kemudian ditahan selama 15 menit sampai 2 jam agar matriks austenit dalam besi homogen.

b. *Austemper*

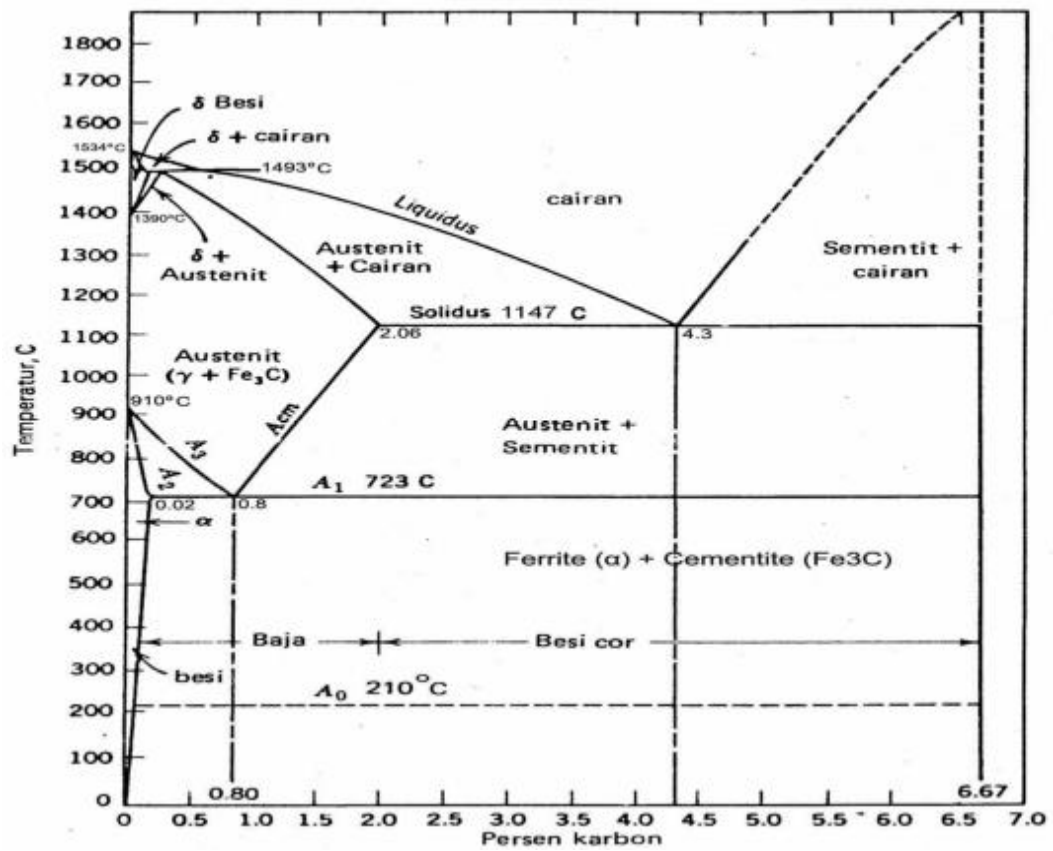
Pada proses ini, material dicelup cepat dari temperatur *austenit* ke temperatur *austemper* (dari C ke D) dalam *salt bath* dengan temperatur *salt bath* antara 300 °C sampai 400 °C dan ditahan selama 0,5 sampai 3 jam (dari D ke E). Kemudian material didinginkan dalam temperatur kamar (dari E ke F) (Agus Suprihanto dan Mifthakul Ilmi, 2007).

2. *Quenching*

Quenching adalah suatu proses perlakuan panas material yang dipanaskan sampai temperatur pengerasannya (temperatur austenitisasi), selanjutnya material dicelupkan/dimasukkan kedalam media pendinginan, dengan laju pendinginan yang sangat tinggi (*diquench*), agar diperoleh kekerasan yang diinginkan.

F. Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Diagram Fasa Fe-Fe₃C adalah diagram yang menampilkan hubungan antara kandungan besi dan karbon terhadap temperatur. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi-operasi perlakuan panas. Pada gambar 2.6 menunjukkan beberapa fasa yang terbentuk (Kalpakjian, 2013).



Gambar 2.6 Diagram Fasa Fe-Fe₃C
(Sumber : Callister, 2007)

Berdasarkan diagram fasa di atas dapat diketahui bahwa titik *eutectic* berada pada 4,30% C dan temperatur 1148°C, titik *eutectoid* berada pada 0,77% C dan temperatur 727°C. Fasa yang terdapat pada diagram Fe-Fe₃C adalah sebagai berikut :

1. Alpha-Ferrite

Ferrite terdiri dari larutan karbon padat di dalam kisi kristal kubik berpusat di tubu besi alfa. Kelarutan karbon dalam besi alfa berkisar pada 0,01% C pada suhu kamar 723°C. *Ferrite* memiliki sifat lunak, keuletan tinggi, dan ketahanan korosi medium (Kalpakjian, 2013).

2. *Gamma-Austenite*

Austenite adalah larutan penyisipan padat karbon ke dalam kisi kristal besi-gamma kubik berpusat muka. Atom karbon dalam *austenite* menempati posisi interstisial dalam kisi kubik berpusat di muka, sehingga parameter karbon meningkat secara progresif dengan kandungan karbon (Kalpakjian, 2013).

3. *Cementite*

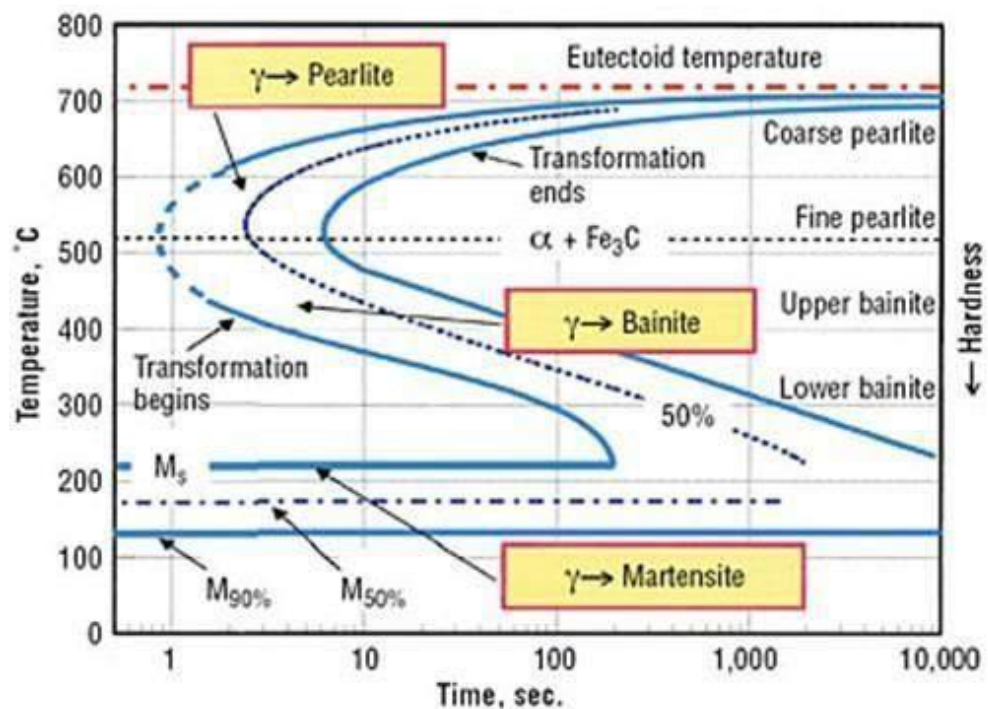
Cementite biasa disebut dengan besi karbida. Pada temperatur kamar, besi karbida memiliki sifat keras, rapuh, dan *ferromagnetic* (Kalpakjian, 2013).

4. *Pearlite*

Pearlite adalah perpaduan dua fasa yang berkumpul menjadi satu antara *ferrite* dan *cementite* dalam bentuk *lamellar*. *Pearlite* memiliki struktur yang lebih keras dibandingkan dengan *ferrite* akibat adanya fasa *cementite* dan memiliki keuletan yang baik karena memiliki fasa *ferrite* (Kalpakjian, 2013).

G. Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*)

Diagram TTT adalah diagram yang menggambarkan hubungan transformasi *austenite* terhadap temperatur dan waktu. Diagram ini digunakan untuk menentukan fasa mana yang akan terbentuk berdasarkan waktu pendinginan. Hasil dari struktur yang dihasilkan merupakan transformasi fasa awal kemudian dilakukan pendinginan. Proses transformasi dapat digambarkan menggunakan diagram TTT sebagai berikut.



Gambar 2.7 Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*)
(Sumber : blog.ub.ac.id)

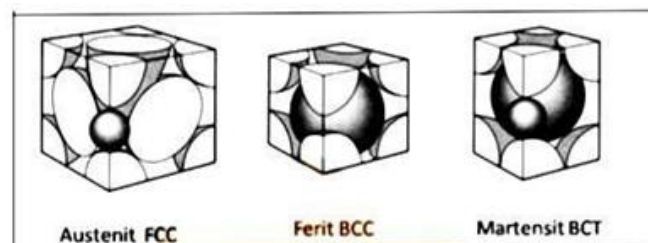
Terlihat pada diagram TTT, bahwa laju pendinginan cepat akan menghasilkan struktur *martensite*. Semakin tinggi suhu atau semakin lama waktu, maka semakin banyak *austenite* yang berubah menjadi *pearlite*. Untuk setiap suhu, terdapat waktu minimum untuk memulai awal transformasi. Periode waktu ini dapat menentukan laju pendinginan kritis, untuk waktu yang lama maka *austenite* akan berubah menjadi *pearlite*, sedangkan untuk waktu yang cepat akan cenderung merubah *austenite* menjadi *martensite* (Kalpakjian, 2013).

H. Struktur Mikro

Sifat yang dimiliki logam akan berpengaruh dalam penggunaan logam, hal ini merupakan dasar dari pemilihan bahan. Sifat-sifat yang dimiliki logam berbeda karena adanya perbedaan unsur-unsur penyusun serta paduan yang

akan membentuk struktur mikro. Unsur adalah zat tunggal yang sangat sederhana karena hanya terdiri dari satu atom. Unsur-unsur tersusun atas atom-atom yang mempunyai inti dan elektron. Inti atom bermuatan positif (+) yang terdiri dari proton dan neutron, sedangkan elektron bermuatan negatif (-). Karena adanya muatan ini setiap unsur akan saling tarik-menarik, sehingga mencapai kondisi yang stabil atau netral (Supardi, 1999).

Karena adanya gaya tarik-menarik antar atom, maka atom-atom logam akan membentuk persenyawaan satu dengan yang lain. Persenyawaan ini akan membentuk suatu bagan geometri tertentu dalam keadaan padat yang disebut sebagai kristalit. Bentuk geometri pada logam besi dan baja biasanya berbentuk kubus, yang tersusun dari atom-atomnya. Bentuk ini ditunjukkan pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Bentuk Geometri Kristal
(Sumber : Supardi, 1999)

Adapun struktur mikro pada besi cor meliputi :

1. Ferit

Fasa ini disebut alpha (α). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga akan sedikit menampung atom karbon. Batas maksimum kelarutan karbon 0,025% pada temperatur 723°C, struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*). Pada suhu ruang kadar karbonnya 0,008%, sehingga dapat

dianggap besi murni. Ferit bersifat magnetik sampai suhu 768°C . Sifat-sifat ferit adalah kekerasan yang rendah, ketahanan korosi medium dan memiliki struktur paling lunak pada diagram Fe_3C (Ponang, 2018).

2. Perlit

Fasa perlit merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dan sementit dalam bentuk *lamellar* (lapisan). Perlit merupakan struktur mikro dari reaksi *eutektoidlamellar*. Perlit memiliki struktur yang lebih keras daripada ferit, hal ini disebabkan oleh fasa sementit dalam bentuk *lamel-lamel*. Perlit juga mempunyai struktur yang ulet karena ada fasa ferit (Ponang, 2018).

3. Sementit

Fasa sementit disebut juga dengan besi karbida (Fe_3C). Sementit merupakan fasa yang paling keras dibandingkan dengan fasa yang lain, namun sementit memiliki struktur yang lebih getas dibandingkan dengan fasa ferit. Sifat getas dari sementit mengakibatkan kekuatan tarik yang dimiliki rendah. Fasa ini mempunyai struktur kristal *orthorhombic* (Purnomo, 2010).

4. Austenit

Fasa austenit memiliki struktur atom FCC (*Face Centered Cubic*). Dalam keadaan setimbang fasa *austenit* ditemukan pada temperatur tinggi sehingga kelarutan karbon maksimal 2% pada temperatur 1130°C . Kelarutan atom karbon pada fasa ini lebih besar dibandingkan kelarutan

atom karbon pada fasa ferit. Fasa ini memiliki sifat *non-magnetik* dan ulet pada temperatur tinggi (William dan David, 2011).

5. Martensit

Martensit adalah stuktur mikro yang kuat dan keras, namun paling rapuh sehingga keuletannya diabaikan. Martensit berbentuk seperti jarum yang terbentuk dari paduan besi-karbon austenit yang dengan cepat didinginkan ke suhu yang relatif rendah. Kekerasannya bergantung pada kadar karbon hingga 0,6%. Kekuatan dan kekerasan martensit tidak dianggap terkait dengan struktur mikro. Sebaliknya, sifat-sifat ini dikaitkan dengan efektivitas atom karbon interstisial dalam menghambat gerakan dislokasi dan ke sistem slip yang relatif sedikit untuk struktur BCT (*Body Centered Tetragonal*) (William dan David, 2011).

6. Bainit

Bainit memiliki struktur yang lebih halus (α -ferit kecil dan Fe_3C partikel) yang pada umumnya lebih kuat dan lebih keras dari perlit, namun memiliki kombinasi kekuatan dan keuletan yang diinginkan. Stuktur ini melalui proses pencampuran yang melibatkan fasa ferit dan sementit. Bainit terbentuk sebagai jarum atau pelat tergantung pada suhu transformasi. Struktur mikro terdiri dari matriks ferit dan partikel memanjang Fe_3C . Lebih lanjut, tidak ada bentuk fasa *proeutectoid* pada bainit (William dan David, 2011).

I. Pengujian Impak

Pengujian impak merupakan salah satu uji mekanik yang dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik bahan, seperti kemampuan bahan terhadap benturan dan karakteristik keuletan bahan terhadap perubahan suhu. Alat uji impak merupakan salah satu alat uji yang sering digunakan dalam pengembangan bahan struktur material dalam mengukur kemampuan beban kejut (Jalil dkk, 2017).

Pada pengujian impak, banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut. Material yang ulet akan menunjukkan harga impak yang besar, dengan menyerap energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian yang menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami perubahan bentuk (Jalil dkk, 2017).

J. Jenis-jenis Metode Impak

Secara umum metode pengujian impak terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Metode *Charpy*

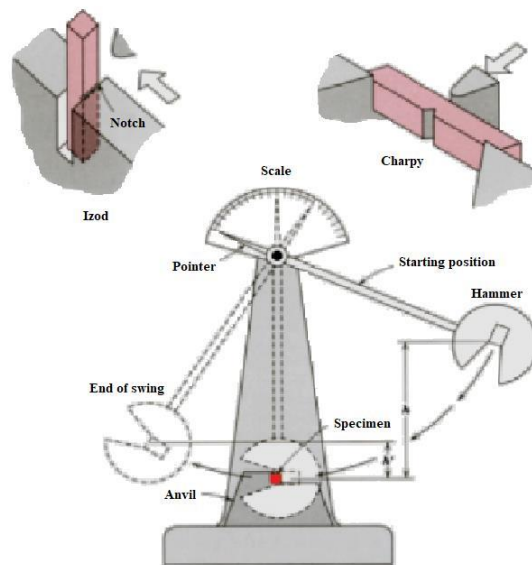
Pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal/mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan. Posisi takik berada di tengah, kedalaman takik 2 mm dari permukaan benda uji dan sudut takik 45° . Metode *charpy* banyak digunakan di Amerika dan metode ini yang paling sering digunakan karena lebih teliti dan akurat.

2. Metode Izod

Pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah takikan (Jalil dkk, 2017).

K. Perhitungan Kekuatan Impak

Perhitungan kekuatan impak bertujuan untuk mencari energi impak dan harga impak, sebelum mencari energi impak dan harga impak harus mencari sudut β dan sudut α dengan cara melakukan pengujian, ilustrasi pengujian dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Ilustrasi Pengujian Impak
(Sumber : Callister, 2001)

Berikut adalah rumus yang digunakan pada pengujian impak :

$$E = E_1 - E_2 \quad (2.1)$$

Keterangan : E = Usaha yang diperlukan untuk mematahkan benda uji
(kg.m)

E_1 = Usaha yang dilakukan (kg.m)

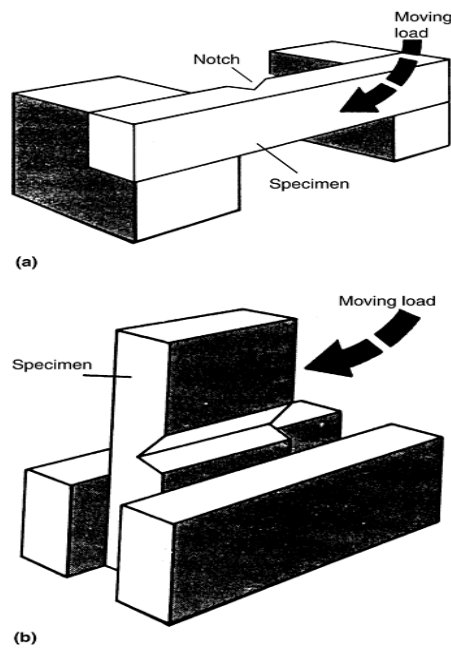
E_2 = Sisa usaha setelah pematahan benda uji (kg.m)

Harga impak (HI) suatu material yang diuji dengan metode *Charpy* diberikan oleh :

$$HI = \frac{E}{A} \quad (2.2)$$

Dimana : E = Energi yang diserap (J)

A = Luas penampang di bawah takikan (mm²)



Gambar 2.10 Ilustrasi Metode Uji Impak *Charpy* (atas) dan *Izod* (bawah)
(Sumber : ASM, 2000)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April sampai November 2021 di Laboratorium Material Teknik, Universitas Lampung. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah besi cor kelabu FC 25. Adapun prosedur pengujian dalam penelitian ini, yaitu proses perlakuan panas *austempering* dan pengujian impak.

B. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Besi Cor FC 25



Gambar 3.1 Besi Cor Kelabu FC 25

Besi cor kelabu FC 25 adalah besi cor yang digunakan untuk spesimen pada penelitian yang dilakukan. Adapun dimensi yang digunakan berdasarkan standar ASTM E-23 adalah sebagai berikut :

Panjang = 55 mm

Lebar = 10 mm

Tinggi = 10 mm

2. Tungku Pemanas (*furnace*)



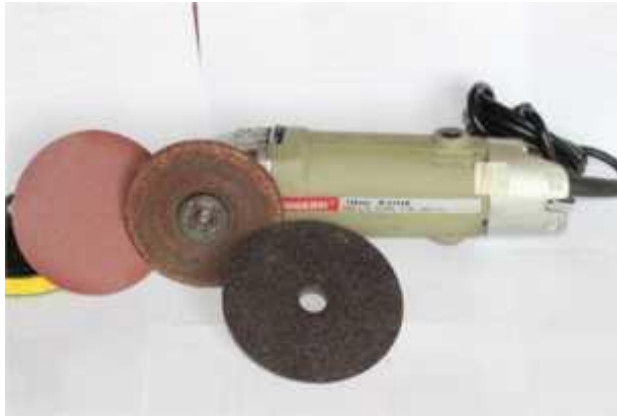
Gambar 3.2 Tungku Pemanas (*furnace*)

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin *Furnace*

Model	L64/14
Tahun	2000
Frekuensi	50 Hz
Temperatur	Max 1400°C
Daya	13,0 kW
Arus	16/16/28 A

Tungku pemanas (*furnace*) adalah alat yang digunakan untuk memanaskan besi cor hingga ke temperatur austenitnya.

3. Gerinda Potong



Gambar 3.3 Gerinda Potong

Gerinda potong digunakan untuk memotong spesimen agar dimensinya sesuai dengan dimensi yang ditentukan pada saat pengujian.

4. Natrium Nitrat (NaNO_3)



Gambar 3.4 Natrium Nitrat (NaNO_3)

Natrium Nitrat (NaNO_3) berwarna putih dan berbentuk kristal trigonal padat dengan densitas 2,257 g/ml. Natrium Nitrat ini memiliki titik didih suhu 380°C pada 1 atm dan titik beku 308°C pada 1 atm.

5. Kalium Nitrat (KNO_3)



Gambar 3.5 Kalium Nitrat (KNO_3)

Kalium Nitrat (KNO_3) memiliki warna putih dan berfasa padat. Titik didih suhu Kalium Nitrat (KNO_3) yaitu 759°C pada 1 atm.

6. *Impact Testing Machine*



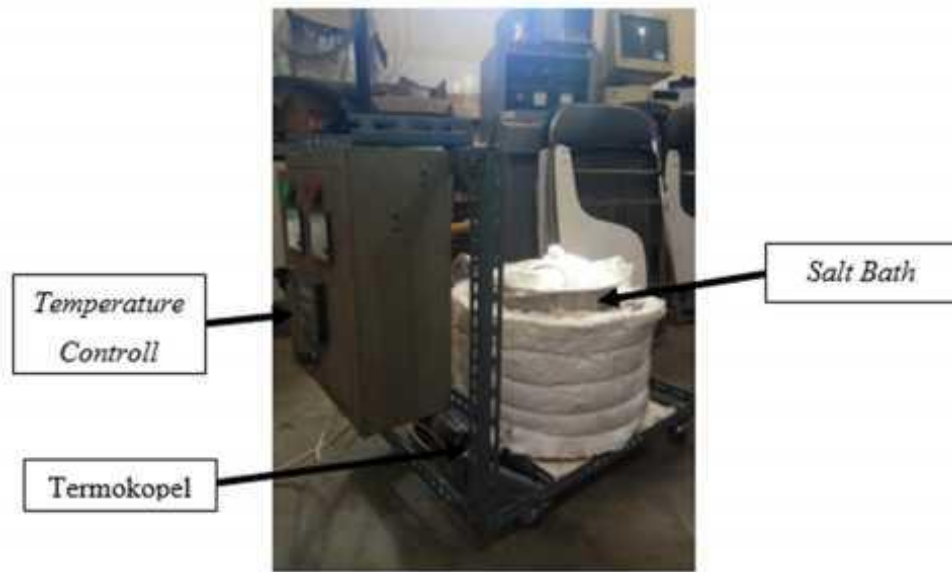
Gambar 3.6 *Impact Testing Machine*

Impact Testing Machine merupakan alat yang digunakan untuk pengujian beban kejut yang diberikan pada spesimen. Pengujian impak ini dilakukan dengan menggunakan metode *Charpy* yang mana dengan membuat takikan persis ditengah spesimen.

Tabel 3.2 Spesifikasi *Impact Testing Machine*

Model	RMU <i>Testing Equipment</i>
Pendulum <i>Energy</i>	300 J <i>Charpy</i> – Div. 1 J 150 J <i>Charpy</i> – Div. 0,5 J 165 J <i>Izod</i> – Div. 2,5 J
<i>Rising angel</i>	160°
<i>Distance between centers of pendulum spesimen</i>	380 mm
Pendulum momen	0.5 J PL = 0.258 Nm
	1 J PL = 0.516 Nm
	2 J PL = 1.031 Nm
	4 J PL = 2.062 Nm
	5 J PL = 2.578 Nm
<i>Dial scale</i>	0 – 0.5 J minimum <i>scale</i> = 0.005 J
	0 – 1 J minimum <i>scale</i> = 0.01 J
	0 – 2 J minimum <i>scale</i> = 0.02 J
	0 – 4 J minimum <i>scale</i> = 0.04 J
	0 – 5 J minimum <i>scale</i> = 0.05 J
<i>Corner dimension of striking edge</i>	30 <i>degree</i>
<i>Round angel radius of striking edge</i>	R = 2 mm
<i>specimen</i>	<i>Conform to ISO180</i>

7. Dapur *Salt Bath*



Gambar 3.7 Dapur *Salt Bath*

Tungku pada gambar 3.7 berfungsi sebagai dapur dalam proses *austempering*, dimana terdapat garam di dalam prosesnya. *Temperature Controller* berfungsi sebagai pengatur suhu pada tungku yang terhubung dengan termokopel.

8. Termokopel



Gambar 3.8 Termokopel

Termokopel berfungsi sebagai sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu dalam *salt bath* saat proses *austempering*.

9. *Spark Optic Emission Spectroscopy (OES)*



Gambar 3.9. *Spark Optic Emission Spectroscopy (OES)*

Spark Optic Emission Spectroscopy (OES) digunakan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung di dalam material.

10. Mikroskop Optik



Gambar 3.10 Mikroskop Optik.

Mikroskop Optik digunakan untuk mengetahui perubahan struktur mikro dari benda uji.

11. Penjepit Spesimen



Gambar 3.11 Penjepit Spesimen.

Penjepit spesimen digunakan untuk mengeluarkan dan memindahkan spesimen dari *furnace* ke *salt bath*.

12. Kawat



Gambar 3.12 Kawat

Kawat digunakan untuk mengikat spesimen agar memudahkan pada saat proses pencelupan dan pengambilan spesimen dari larutan garam pada *salt bath*.

C. Metode Penelitian

Adapun metode penelitian terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu tahap pertama persiapan spesimen atau benda uji, kemudian tahap perlakuan panas, selanjutnya tahap pengujian, serta tahap pengambilan data.

1. Persiapan Spesimen

Melakukan penyesuaian bentuk spesimen dari bentuk silinder ke bentuk yang telah ditentukan, yaitu panjang 50 mm, lebar 10 mm dan tinggi 10 mm, kemudian dilanjutkan dengan membuat takikan 2 mm. Penyesuaian bentuk dapat dilakukan dengan menggunakan gerinda potong.

2. Perlakuan Panas

Adapun tahapan perlakuan panas yang dilakukan pada besi cor adalah sebagai berikut :

- a. Besi cor yang sudah sesuai dengan dimensi dimasukkan kedalam tungku pemanas (*furnace*) untuk dipanaskan sampai suhu austenitnya. Suhu austenit besi cor jika dilihat dari diagram Fe₃C sebesar 750° C.
- b. Setelah temperatur besi cor telah mencapai temperatur austenitnya, selanjutnya dilakukan penahanan selama 60 menit pada temperatur 750°C agar terjadi keseragaman fasa.
- c. Spesimen yang sudah dipanaskan kemudian dicelupkan kedalam *salt bath* yang telah terisi dengan larutan air garam (NaNO₃+KNO₃) dan ditahan pada temperatur yang telah ditentukan (300°C, 350°C dan 400°C).
- d. Setelah spesimen bertemperatur ruangan, spesimen kemudian dikeringkan dan dilakukan pengamplasan untuk membersihkannya.

3. Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan dengan menggunakan metode *charpy* dan untuk alat ujinya menggunakan *universal impact tester*. Adapun tahapan dari pengujian impak adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan kalibrasi pada alat pengujian impact untuk meminimalisir kesalahan perhitungan.
- b. Meletakkan spesimen pada meja uji.
- c. Mengangkat pendulum pada mesin uji impact.
- d. Melepaskan tuas pada mesin uji impact.
- e. Melakukan pengereman setelah tuas mencapai ketinggian maksimum.
- f. Menentukan jenis perpatahan yang terjadi.
- g. Melakukan analisis pada perpatahan.
- h. Menghitung energi impact yang terjadi.

4. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada besi cor kelabu setelah dilakukan proses *austempering*. Sebelum melakukan pengamatan menggunakan mikroskop optik, spesimen di etsa terlebih dahulu. Adapun tahapan etsa adalah sebagai berikut :

- a. Memotong spesimen sampel ukuran 1x1 cm.
- b. Menyiapkan larutan resin dan *hardener*.
- c. Memasukkan sampel kedalam paralon. Tuang dengan larutan resin dan *hardener* yang telah dicampur dengan segera.
- d. Melepaskan paralon yang menempel pada resin.
- e. Menghidupkan mesin *polishing*.
- f. Mengamplas sampel dengan menggunakan amplas ukuran 400 selama 15 menit. Dilanjutkan dengan amplas ukuran 800, 1000, 1200 dan 2000 hingga warna permukaan sampel seperti kaca.

- g. Melakukan *polishing* dengan kain beludru.
- h. Menyiapkan larutan etsa (biasanya untuk logam baja atau *stainless steel* menggunakan nital 2%).
- i. Menyelupkan sampel kedalam larutan etsa sesuai waktu yang ditentukan. Masukkan dalam air mengalir agar proses etsa berhenti.
- j. Mengeringkan sampel dengan menggunakan *hair dryer*.
- k. Menganalisa sampel dengan menggunakan mikroskop optik.

D. Variabel Penelitian

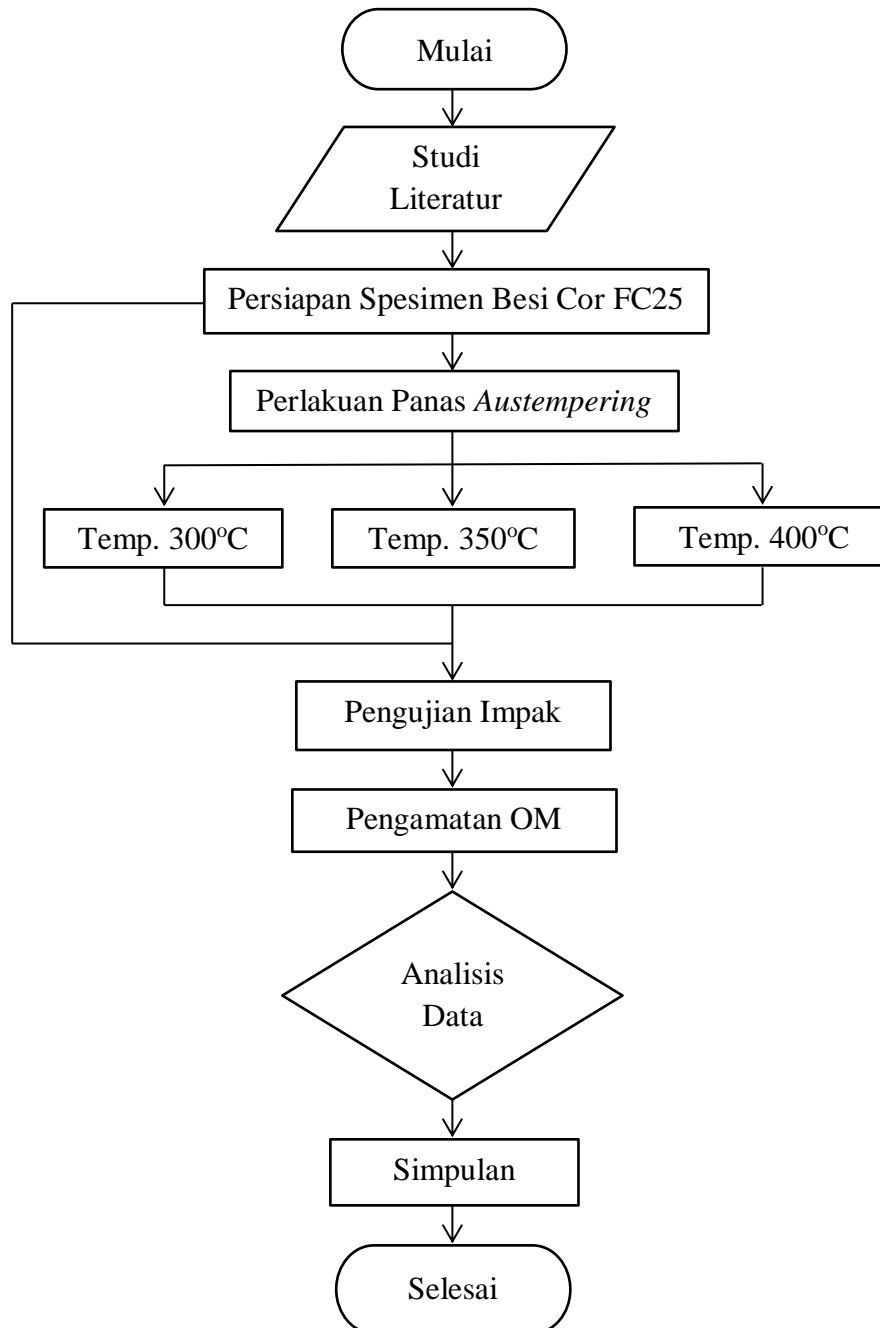
Adapun proses pengambilan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu tanpa diberikan perlakuan panas *austempering* dan diberikan perlakuan panas *austempering* dengan variasi temperatur 300°C, 350°C dan 400°C adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Pengambilan Data Pengujian Impak

Perlakuan	Spesimen	Energi E (Joule)	Harga impak (J/mm ²)	Rata-rata	Standar Deviasi
Tanpa <i>austempering</i>	RM1				
	RM2				
	RM3				
300°C	1				
	2				
	3				
350°C	1				
	2				
	3				
400°C	1				
	2				
	3				

E. Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Adapun simpulan yang didapatkan setelah dilakukan penelitian pengaruh variasi temperatur *austempering* pada besi cor kelabu FC 25 terhadap kekuatan impact adalah sebagai berikut :

1. Kekuatan impact dipengaruhi oleh variasi temperatur *austempering*, dimana semakin meningkat temperatur *austempering* maka semakin meningkat energi impact yang diserap, sehingga kekuatan impact meningkat.
2. Nilai energi impact pada besi cor kelabu FC 25 tanpa perlakuan panas *austempering* sebesar 3 Joule dan fasa yang terbentuk adalah ferit dan perlit. Pada temperatur *austempering* 300°C didapatkan nilai energi impact rata-rata sebesar 3,67 Joule dan fasa yang terbentuk adalah ausferit rendah. Selanjutnya pada temperatur *austempering* 350°C didapatkan nilai energi impact rata-rata sebesar 4,17 Joule dan fasa yang terbentuk adalah ausferit. Pada temperatur *austempering* 400°C didapatkan nilai energi impact rata-rata sebesar 4,33 Joule dan fasa yang terbentuk adalah ausferit atas.

B. Saran

Adapun saran yang penulis berikan untuk mendukung penelitian selanjutnya yaitu :

1. Suhu di dalam *salt bath* harus selalu diperhatikan agar mendapat hasil yang diharapkan.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan lagi agar mendapat sifat mekanik yang diinginkan, yaitu dengan melakukan uji tarik dan uji fatigue.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM team. 2000. *ASM Metal Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evolution*. American Society for Metals. Formerly Ninth Edition. The United States of America.
- Balubun, F.D., dan Suriansyah. 2008, “Pengaruh Austemper Ductile Iron Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Ductile Cast Iron (FCD-45). *Jurnal Teknik Mesin Universitas Widya Gama Malang*”. Malang. Vol.20, No.1. Hal 18-24.
- Bayuseno, A.P. 2010. “Penambahan Magnesium-Ferrosilikon Pada Pembuatan Besi Cor Grafit Bulat : Evaluasi Terhadap Peningkatan Sifat Mekanik dan Impak. *Jurnal Teknik Mesin Universtas Diponegoro*. Semarang. Vol.12, No.1.
- Bosnjak, B. Radulovic, K. Pop-Tonev and Asanovic. 2001. “Influence of Microalloying and Heat Treatment on Kinetics of Bainitic Reaction in Austempered Ductile Iron”. *Journal of Material Engineering and Performance*. Vol. 10(2). pp.203-211.
- Callister, William D. 2007. *Materials Science and Engineering*. New York : John Wiley & Sons Inc.
- Darmadi, W. 2015. *Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan pada Besi Cor*. Surakarta : Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- E. Dieter, George, Sriate Djaprie. *Metalurgi Mekanik Jilid 2*. Erlangga : Edisi Ketiga.

Jalil, S.A., Zulkifli dan Rahayu, Tri. 2017. "Analisis Kekuatan Impak pada Penyambungan Pengelasan SMAW Material ASSAB 705 dengan Variasi Arus Pengelasan". Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe. Lhokseumawe. *Jurnal Polimesin* (ISSN:16935462) Vol.15, No.20.

Kalpakjian, Serope and Stephen Schmid. 2013. *Manufacturing Engineering and Technology, SI 6th Edition*.

Mariani, F.E., de Assis, G.B., Casteletti, L.C., Neto, A.L., Totten, G.E. 2017. "Austempering and Boro-Austempering Treatments in Gray Cast Iron". Material Performance and characterization. ISSN : 2379-1765, Vol. 6, No. 1, pp : 262-271.

Pradana, P.A. 2018. *Peningkatan Kekerasan Sprocket Imitasi Melalui Proses Liquid Carburizing pada Temperatur 900°C*. Skripsi Thesis, Sanata Dharma University.

Purnomo. 2010. "Pengaruh Perlakuan Panas Temepering Terhadap Kekeraan dan Kekuatan Impak Baja Jis G 4051 S15C Sebagai Bahan Kontruksi. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang*. Semarang. Vol.10, No.1.

Raharjo, W.P., dan Surojo, E. 2007. Pengaruh Temperatur dan Waktu Austempering Terhadap Kekerasan ADI Hasil Austempering FCD 55. *Gema Teknik* No.2.

Setyana, L.D., 2015. "Studi Ukuran Grafit Besi Cor Kelabu Terhadap Laju Keausan pada Produk Blok Rem Metalik Kereta Api". *Jurnal Material Teknologi Proses* (ISSN:2477-2135) Vol.1, No.1.

Suhatmoko, G. dan Nukman. 2008. "Analisa Perlakuan Panas Austempering Pada Besi Tuang Nodular FCD 45 Terhadap Kekuatan Impak dan Kekerasannya". Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya. Palembang. *Jurnal Rekayasa Sriwijaya* Vol.16, No.2.

Supardi, E. 1999. *Pengujian Logam*. Penerbit : Angkasa.

- Suprihanto, A., dan Ilmi, M. 2007. "Pengaruh Temperatur Quenching pada Proses Austempering Terhadap Kekuatan Lelah Austempering Grey Iron. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*. Semarang. Vol. 9 No.2.
- Surdia, T., and Chijiwa, K. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Surdia, T., and Shinroku, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita
- Syafi'udin, I. 2016. *Pengaruh Kadar Mangan (Mn) Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Paduan Fe-17 Cr-xMn Melalui Metode Peleburan*. Surabaya : Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November.
- Takezawa, M., Lee, S., Ikeno, S., Matsuda, K. 2016. "Microstructure Observations of Graphite in Gray Cast Iron Using TEM". *Material Science and Forum*. ISSN : 1662-9762, Vol. 879, pp : 1911-1914.
- Wibowo, D.B., dan Purwanto, D. 2007. "Pengujian Impak Besi Cor Kelabu Austemper". *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*. Semarang. Vol.9, No.2
- William and David. 2011. *Materials Science and Engineering*. Asia : John Wiley & Sons
- Yang, P., Fu, H., Absi, R., Bennacer, R., Darcherif, M., Ma, S., Lin, J., Guo, X. 2020. "Microstructure evolution of carbidic austempered ductile iron at different austempering temperatures". *Metal and Corrosion*. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05543-0>