

**PENGARUH VARIASI MANGAN TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN
STRUKTUR MIKRO BESI COR KELABU**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Islam Riau*



Oleh :

YUDI SYAHBADRI

143310011

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

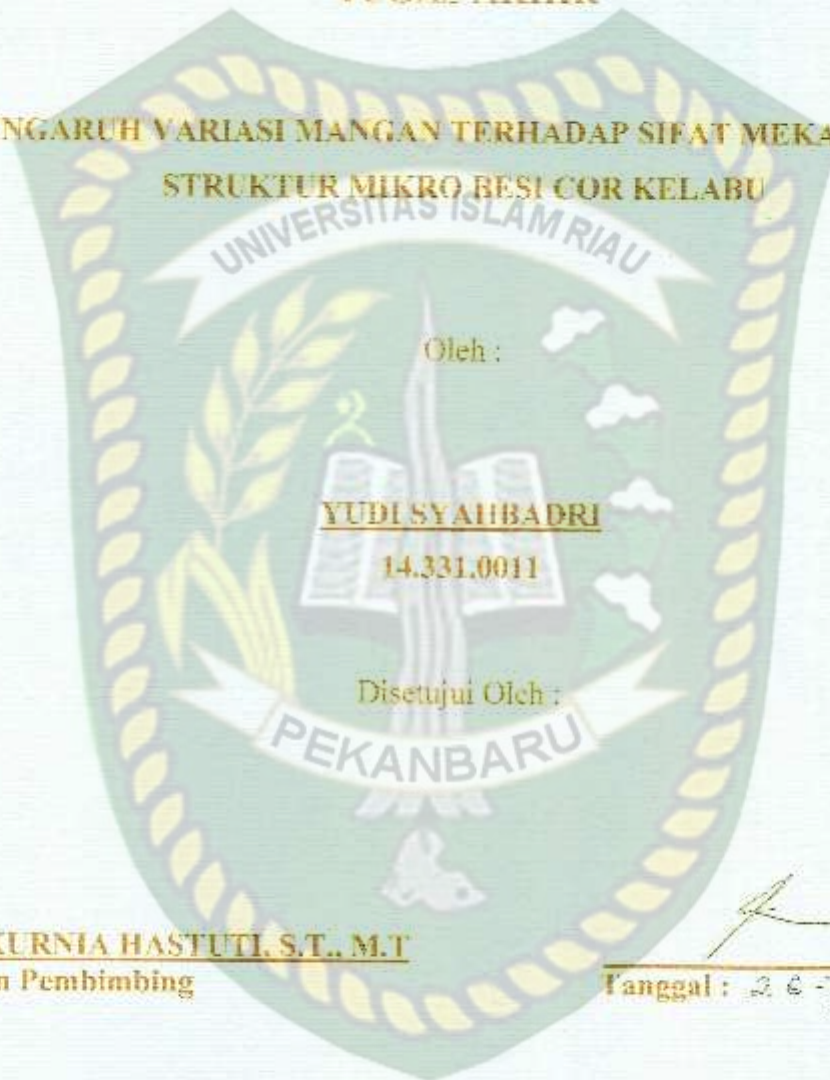
PEKANBARU

2021

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH VARIASI MANGAN TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN
STRUKTUR MIKRO BESI COR KELABU



Oleh :

YUDI SYAHBADRI

14.331.0011

Disetujui Oleh :

PEKANBARU

Dr. KURNIA HASTUTI, S.T., M.T
Dosen Pembimbing


Tanggal : 26-7-2021

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PENGARUH VARIASI MANGAN TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN
STRUKTUR MIKRO BESI COR KELABU**

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

Oleh :

YUDI SYAHBADRI

14.331.0011

Disahkan Oleh :

PEKANBARU

MENGETAHUI

PEMBIMBING

Atas Nama Ka. Prodi Teknik Mesin



RAFIL ARIZONA, S.T., M.Eng
(Sekretaris Prodi T. Mesin)
NIDN. 1028108902



Dr. KURNIA HASTUTI, S.T., M.T
NIDN : 1002057102

PERNYATAAN KEASLIAAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul **“Pengaruh Variasi Mangan Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu”** adalah benar-benar hasil karya saya sendiri dengan bimbingan dosen pembimbing dan belum pernah digunakan sebagai karya ilmiah pada perguruan tinggi atau lembaga manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun yang tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini. Saya bersedia dicopot Gelar dan Ijazah jika ditemukan pemalsuan data atau plagiat dari penulis lain.

Pekanbaru, 20 Juli 2021



Yudi Syahbadri

NPM : 14.331.0011

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA PERSONAL

Nama Lengkap : Yudi Syahbadri
NPM : 14.331.0011
Tempat/Tanggal Lahir : Tanjung Merahe, 14 juli 1994
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat : Jl. Dusun Sukamaju Kec. Pinggir Kab.
Bengkalis
Agama : Islam
Kebangsaan / Suku : Indonesia / Jawa
Email : yudisyahbadri14@gmail.com
Nama Orang Tua
a. Ayah : Suliman
b. Ibu : Lidiawati

PENDIDIKAN

Sekolah Dasar : SDN 020 Pinggir
Sekolah Lanjutan Pertama : MTS YLPI Mujahiddin, Pinggir
Sekolah Lanjutan Atas : SMK Sultan Syarif Qasim, Kandis
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Riau

TUGAS AKHIR

Judul : Pengaruh Variasi Mangan Terhadap Sifat
Mekanis dan Struktur Mikro Besi Cor
Kelabu

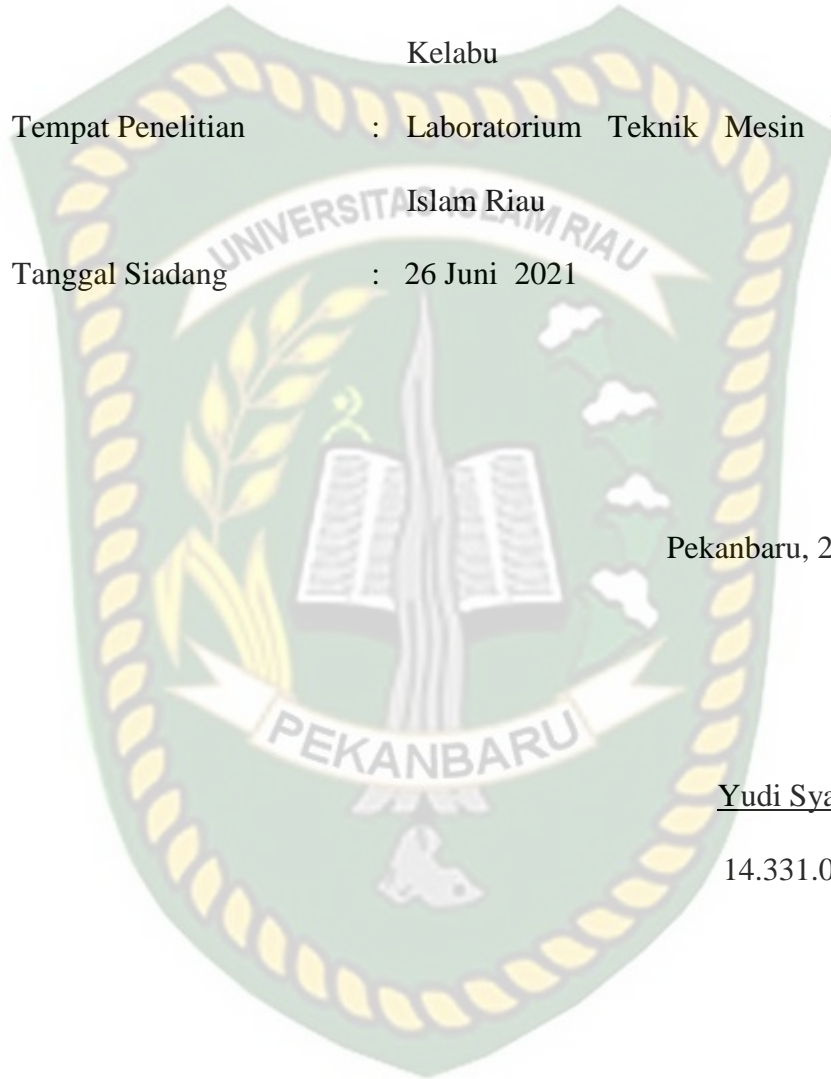
Tempat Penelitian : Laboratorium Teknik Mesin Universitas
Islam Riau

Tanggal Siadang : 26 Juni 2021

Pekanbaru, 20 Juli 2021

Yudi Syahbadri

14.331.0011



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT senantiasa kita ucapkan, atas limpahan rahmat dan karunia serta nikmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini yang berjudul ***“Pengaruh Variasi Mangan Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu”***.

Shalawat berangkaikan salam tidak lupa pula disampaikan kepada baginda Rasulullah SAW, keluarga, sahabat dan orang-orang yang selalu teguh hatinya di jalan Allah SWT.

Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat guna memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, penulis banyak mendapat bimbingan, bantuan dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan hati yang tulus ikhlas penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Teristimewa untuk Ayahanda Suliman dan Ibunda Lidiawati yang telah memberikan kasih sayang dan dukungan serta do'a yang tak ternilai harganya.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Bapak Ir. Syawaldi, M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

4. Ibuk Dr. Kurnia Hastuti, S.T., M.T selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan ilmu dan membimbing serta mengarahkan penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
 5. Bapak Sehat Abdi Saragih, S.T., M.T dan Bapak Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc selaku Kepala Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
 6. Teman-teman teknik mesin, serta seluruh angkatan 2014 yang membantu dan telah banyak memberikan semangat serta dukungannya kepada penulis.
 7. Teman terdekat selama kuliah Astra Wijaya, S.T, Bram Akmaja, S.T, Danang Riyanto, Yudho Siswanto, S.T, Yayat Mayetring, Riki Andriansyah, S.T, Prima Ardianto, S.T, Hardianto Muslim, S.T, Teguh Nuryadin, Arif Dedi Kurniawan, S.T, Andi Anjaswara, S.T dan Budi Saputra, S.T
 8. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah diberikan dengan balasan yang lebih baik. Amin ya Robbal Alamin.
- Akhirnya penulis berharap semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan.

Pekanbaru, 20 Juli 2021

Yudi Syahbadri

DAFTAR ISI

| | |
|--|------------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DARTAR ISI | iii |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| ABSTRAK | x |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Besi Cor..... | 6 |
| 2.2 Klasifikasi Besi Cor..... | 7 |
| 2.2.1 Besi Cor Kelabu (<i>Gray Cast Iron</i>)..... | 7 |
| 2.2.2 Besi Cor Putih (<i>White Cast Iron</i>)..... | 10 |
| 2.2.3 Besi Cor Nodular (<i>Ductile Iron</i>)..... | 11 |
| 2.2.4 Besi Cor Mampu Tempa (<i>Malleable Cast Iron</i>)..... | 12 |
| 2.3 Pengecoran | 13 |
| 2.3.1 Berat Jenis, Titik Cair dan Koefisien Kekentalan..... | 13 |
| 2.3.2 Proses Peleburan (Pengecoran)..... | 15 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.3.3 | Prosedur Kerja Pengoprasian Dapur Kupola..... | 16 |
| 2.4 | Pengaruh Unsur Paduan Pada Besi Cor..... | 17 |
| 2.4.1 | Mangan (Mn)..... | 17 |
| 2.4.2 | Carbon (C)..... | 18 |
| 2.4.3 | Kromium..... | 19 |
| 2.4.4 | Nikel (Ni)..... | 20 |
| 2.5 | Kekuatan Besi Cor..... | 21 |
| 2.6 | Konduktivitas Termal..... | 22 |
| 2.6.1 | Konduksi..... | 24 |
| 2.7 | Rem..... | 25 |
| 2.7.1 | Rem Tromol (<i>Drum Brake</i>)..... | 26 |
| 2.7.2 | Rem Cakram (<i>Disk Brake</i>)..... | 28 |
| 2.8 | Karakteristik Material..... | 29 |
| 2.8.1 | Uji Kekerasan..... | 29 |
| 2.8.1.1 | Uji Kekerasan Rockwell..... | 29 |
| 2.8.1.2 | Uji Kekerasan Vickers..... | 31 |
| 2.8.1.3 | Uji Kekerasan Brinell..... | 32 |
| 2.8.2 | Uji tarik..... | 33 |
| 2.8.3 | Uji Konduktivitas Thermal..... | 36 |
| 2.8.4 | Pengamatan Metalografi..... | 37 |
| 2.8.5 | Uji Komposisi Kimia..... | 37 |

| | |
|--|-----------|
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 39 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian | 39 |
| 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian | 40 |
| 3.3 Alat dan Bahan Penelitian | 40 |
| 3.3.1 Alat Penelitian..... | 40 |
| 3.3.2 Bahan Penelitian | 50 |
| 3.4 Persiapan Spesimen | 51 |
| 3.4.1 Proses Pembuatan Spesimen..... | 51 |
| 3.4.2 Metode Pengecoran | 52 |
| 3.4.3 Langkah-langkah Pengecoran..... | 53 |
| 3.5 Metode Pengujian Bahan | 54 |
| 3.5.1 Pengujian Kekerasan | 54 |
| 3.5.2 Pengujian Tarik..... | 55 |
| 3.5.3 Pengujian Konduktivitas Termal | 57 |
| 3.5.4 Pengamatan Metalografi..... | 59 |
| 3.5.5 Pengujian Komposisi Kimia..... | 60 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... | 62 |
| 4.1 Hasil Penelitian..... | 62 |
| 4.2 Hasil Komposisi Kimia | 62 |
| 4.3 Kekerasan Material | 66 |
| 4.4 Kekuatan Tarik Dan Modulus Elastisitas | 67 |
| 4.5 Konduktivitas Thermal..... | 70 |
| 4.6 Hasil Pengamatan Metalografi | 73 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....77

5.1 Kesimpulan.....77

5.2 Saran.....78

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Diagram fasa besi cor | 7 |
| Gambar 2.2 Struktur Mikro besi cor Kelabu..... | 8 |
| Gambar 2.3 Struktur Mikro besi cor Putih..... | 11 |
| Gambar 2.4 Struktur Mikro besi cor Nodular | 12 |
| Gambar 2.5 Struktur Mikro besi cor Mampu Tempa | 13 |
| Gambar 2.6 Konstruksi Dapur Kupola | 16 |
| Gambar 2.7 Konduksi Kalor Pada Balok..... | 24 |
| Gambar 2.8 Rem Tromol | 27 |
| Gambar 2.9 Rem Cakram..... | 28 |
| Gambar 2.10 Pengujian Rockwell | 30 |
| Gambar 2.11 Diagram Uji Tarik..... | 34 |
| Gambar 3.1 Dapur Peleburan | 41 |
| Gambar 3.2 Panci Tuang/ <i>ladle</i> | 41 |
| Gambar 3.3 Cetakan Besi/Logam..... | 42 |
| Gambar 3.4 Cetakan Pasir | 42 |
| Gambar 3.5 Jangka Sorong | 43 |
| Gambar 3.6 Ampelas | 43 |
| Gambar 3.7 Peralatan Keselamatan Kerja | 44 |
| Gambar 3.8 Kompor Listrik | 44 |
| Gambar 3.9 Termokopel | 45 |
| Gambar 3.10 Stopwatch..... | 45 |
| Gambar 3.11 Penjepit Bahan..... | 46 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.12 Mesin Pemoles (Polishing) | 47 |
| Gambar 3.13 Mikroskop Optik..... | 47 |
| Gambar 3.14 Mesin Uji Kekerasan (Brinell Hardness Tester) | 48 |
| Gambar 3.15 Mesin Uji Tarik (Universal Testing Machine)..... | 49 |
| Gambar 3.16 Spectometer | 49 |
| Gambar 3.17 Autosol..... | 50 |
| Gambar 3.18 Standar Ukuran Spesimen Pengujian Tarik Besi Cor..... | 52 |
| Gambar 3.19 Spesimen Uji Kekerasan | 55 |
| Gambar 3.20 Spesimen Uji Tarik..... | 56 |
| Gambar 3.21 Spesimen Uji Konduktivitas Termal | 58 |
| Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan | 66 |
| Gambar 4.2 Grafik Kekuatan Tarik | 68 |
| Gambar 4.3 Grafik Modulus Elastisitas | 69 |
| Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai Konduktivitas Thermal | 72 |
| Gambar 4.5 Foto Struktur Mikro..... | 75 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Karakteristik Besi Cor Kelabu | 9 |
| Tabel 2.2 Jenis, Titik Cair dan Koefisien Kekentalan | 15 |
| Tabel 2.3 Sifat Fisik Nikel (Ni)..... | 20 |
| Tabel 2.4 Mechanical Properties Nikel (Ni) | 21 |
| Tabel 2.5 Konduktivitas Termal Berbagai Bahan Pada 0°C..... | 23 |
| Tabel 4.1 Data Hasil Uji Komposisi Kimia Paduan 1% Mn..... | 63 |
| Tabel 4.2 Data Hasil Uji Komposisi Kimia Paduan 2% Mn..... | 64 |
| Tabel 4.3 Data Hasil Uji Komposisi Kimia Paduan 2,5% Mn..... | 65 |
| Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Brinell</i> | 66 |
| Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Tarik..... | 68 |
| Tabel 4.6 Data Hasil Uji Konduktivitas Thermal..... | 71 |

PENGARUH VARIASI MANGAN TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO BESI COR KELABU

Yudi Syahbadri, *Kurnia Hastuti

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan Pekanbaru-Riau
Telp. 0761-674653 Fax. (0761)674834

*Email : kurnia@eng.uir.ac.id

ABSTRAK

Besi cor merupakan salah satu material teknik yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena memiliki banyak kelebihan. Kelebihan tersebut antara lain adalah proses pembuatannya yang mudah, mampu tuang menjadi bentuk yang rumit, mudah dilakukan proses permesinan, tahan aus dan kemampuan meredam getaran yang tinggi. Sifat mekanis besi cor kelabu dipengaruhi oleh laju pendinginan, tebal coran, perlakuan panas dan penambahan unsur paduan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dan fisik besi cor kelabu dengan penambahan mangan (Mn). Pada penelitian ini dilakukan dengan penambahan unsur Mn sebanyak 1%, 2%, dan 2,5%. Setelah proses penambahan unsur dilakukan uji tarik, uji kekerasan, uji konduktivitas thermal, pengamatan struktur mikro dan uji komposisi kimia. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa kombinasi sifat terbaik diberikan oleh material dengan penambahan unsur sebanyak 2% Mn, karena menghasilkan modulus elastisitas terendah, konduktivitas thermal tertinggi, serta kekerasan tertinggi.

Kata Kunci : Tromol Rem, Besi Cor Kelabu, Penambahan Unsur Mn, Sifat Fisik dan Mekanik.

EFFECT OF MANGANESE VARIATION ON MECHANICAL PROPERTIES and MICROSTRUCTURE OF GRAY CAST IRON

Yudi Syahbadri, *Kurnia Hastuti

Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering,
Islamic University of Riau

Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan Pekanbaru-Riau

Telp. 0761-674653 Fax. (0761)674834

*Email : kurnia@eng.uir.ac.id

ABSTRACT

Cast iron is one of the most widely used engineering materials in various applications because it has many advantages. These advantages include an easy manufacturing process, capable of forming complex shapes, easy machining processes, wear resistance, and high vibration. The mechanical properties of iron are influenced by cooling speed, thickness of castings, heat treatment and addition of alloying element. Especially for drum brakes. This study aims to improve the mechanical and physical properties of gray cast with the addition of manganese (Mn). In this study, the addition of Mn as much as 1%, .2%, and 2.5%. After the addition of Mn, no tensile test, hardness test, thermal conductivity test, microstructure observation and chemical composition test were carried out. Results Based on the research, it was found that the best combination of properties was given by the material with the addition of 2% Mn, because it produced the lowest modulus of elasticity, the highest thermal conductivity, and the highest hardness.

Keywords : Brake Drum, Gray Cast Iron, Addition of Mn Element, Physical and Mechanical Properties.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Besi cor kelabu banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena memiliki banyak keunggulan. Keunggulan ini adalah mudah dituangkan atau dicor dalam bentuk yang rumit, proses permesinan mudah, tahan aus karena grafit berfungsi sebagai pelumas, memiliki kemampuan meredam getaran (*damping capacity*) yang tinggi, memiliki kekuatan tekan yang tinggi, ketahanan korosinya lebih baik dibandingkan dengan baja konstruksi biasa (Umardani dan Nurferdian, 2009).

Salah satu penggunaan besi cor kelabu adalah untuk tromol rem. Tromol rem membutuhkan sifat-sifat antara lain mempunyai konduktivitas panas yang baik, kekerasan serta keuletan yang mencukupi, ketahanan gesekan yang baik, modulus elastisitas yang rendah untuk mengakomodasi tegangan akibat thermal, serta terbebas dari fasa-fasa yang tidak stabil terhadap temperatur serta kemampuan menyerap getaran (Agus Suprihanto, dkk, 2005). Sifat-sifat tersebut dapat dipenuhi oleh besi cor kelabu. Meskipun banyak menawarkan keuntungan, tetapi sifat mekanis besi cor kelabu masih perlu ditingkatkan khususnya untuk tromol rem.

Guna memperbaiki sifat mekanisnya, besi cor biasanya dikombinasikan dengan berbagai unsur paduan. Sifat mekanis besi cor dapat ditingkatkan sesuai kebutuhan dengan menambahkan unsur-unsur paduan yang sesuai dengan

perlakuan panas yang tepat. Nikel dan tembaga merupakan unsur paduan yang sesuai, karena dapat membentuk grafit serta cenderung menekan pembentukan ferrit bebas dengan menjaga besi cor kelabu bebas dari *chill*. (Suprihanto, 2007).

Mangan adalah unsur paduan yang bisa juga meningkatkan sifat mekanis besi cor kelabu, oleh karena itu pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh variasi unsur Mangan (Mn) terhadap sifat mekanis dan struktur mikro pada besi cor kelabu, dengan variasi komposisi Mn sebesar 1%, 2%, dan 2,5%.

Aspek lain yang perlu dicermati adalah kestabilan material pada temperatur tinggi. Hal ini sangat penting karena panas akan dihasilkan pada saat pengereman. Pembangkitan panas ini terjadi ketika energi kinetik diubah menjadi panas saat terjadi gesekan. Oleh karena itu penambahan unsur paduan yang dilakukan diharapkan dapat memberikan kestabilan sifat mekanisnya.

Penelitian tentang pengaruh penambahan unsur mangan pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, yaitu oleh Irawan Hengky Saputro (2017). Pada penelitian tersebut dikatakan bahwa penambahan unsur mangan pada besi cor kelabu menyebabkan kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi.

Tromol rem memerlukan sifat kekerasan, tahan gesek, dan daya hantar panas yang baik. Berdasarkan hal tersebut maka pada penelitian ini dilakukan pengembangan besi cor kelabu dengan penambahan unsur Mn dan memeriksa sifat-sifat yang disebutkan diatas untuk memberikan alternatif pengembangan material besi cor kelabu yang ada sekarang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana struktur mikro besi cor kelabu dengan penambahan unsur Mn?
2. Bagaimana pengaruh penambahan Mn terhadap kekerasan, kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan daya hantar panas besi cor kelabu ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan :

1. Mendapatkan struktur mikro dari penambahan unsur Mn terhadap besi cor kelabu.
2. Mendapatkan nilai kekerasan, kekuatan tarik, modulus elastisitas dan daya hantar panas besi cor kelabu dengan penambahan unsur Mn.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah maka penulis mengambil batasan masalah.

Adapun batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan bahan besi cor kelabu.
2. Variasi penambahan unsur Mn yaitu 1%, 2%, dan 2,5%.
3. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan, uji kekuatan tarik, uji konduktivitas thermal, pengamatan metalografi dan uji komposisi kimia.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan pada penelitian ini dapat menjadi satu cara alternatif pengembangan tromol rem dari besi cor kelabu dengan melakukan penambahan unsur Mn.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan pada tugas ini akan dibahas beberapa pokok masalah, adapun sistematikanya adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam pendahuluan ini akan menerangkan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Landasan teori ini akan menerangkan tentang teori-teori yang berkaitan dengan besi cor kelabu (*Gray Cast Iron*), pembentukan grafit, konduktivitas thermal, penambahan unsur, pengecoran, serta pengujian sifat mekanis material.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam metode penelitian ini berisikan waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, persiapan spesimen, metode penambahan unsur, metode pengujian bahan dan diagram alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan ini akan menerangkan tentang hasil penelitian, hasil pembahasan dan analisa data penelitian.

BAB V PENUTUP

Berisikan tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang dianggap perlu agar bermanfaat bagi pihak-pihak yang memerlukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Besi Cor

Besi cor merupakan paduan Besi-Karbon dengan kandungan C diatas 2% (pada umumnya sampai dengan 4%). Paduan ini memiliki sifat mampu cor yang sangat baik namun memiliki elongasi yang relatif rendah. Oleh karenanya proses pengerjaan bahan ini tidak dapat dilakukan melalui proses pembentukan.

Logam memegang peranan penting dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari manusia, hal ini dikarenakan sumber bahan baku logam yang kaya serta sifat karakteristik yang mudah diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan (Umardani dan Nurferdian, 2009). Besi cor kelabu mengandung karbon, silisium, fosfor, mangan dan belerang (Surdia, T. dan Chijiiwa, K 2003: 4).

Struktur utama besi cor terdiri dari grafit, ferit, sementit dan perlit. Jenis besi cor yang digunakan adalah besi cor kelabu, dimana grafit atau karbon bebas tersebar dalam bentuk serpihan-serpihan. Struktur utama grafit disebut matriks terdiri dari ferit, sementit dan perlit. Perlit adalah struktur yang dibentuk lapisan ferit dan sementit yang keras serta getas. Ferit dalam besi cor adalah ferit-silisium yang padat.

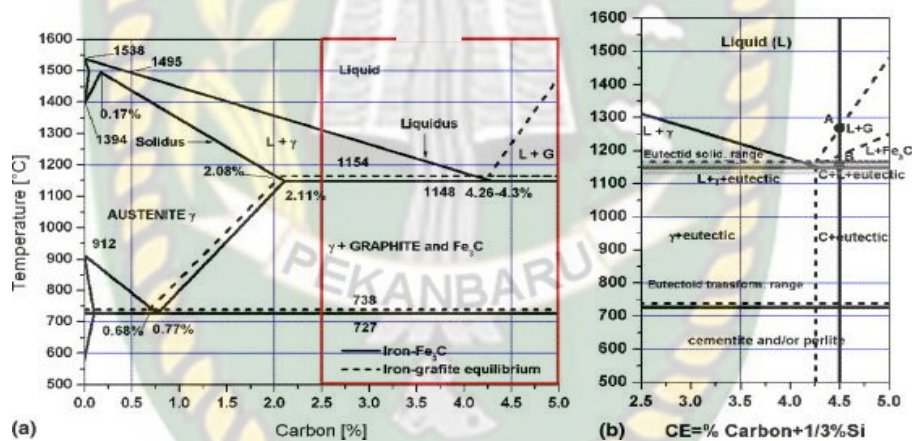
Struktur mikro adalah struktur bahan dalam bentuk kecil. Perubahan struktur sebelum atau sesudah pengecoran tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, namun memakai mikroskop optik. Diagram besi cor dapat dilihat pada Gambar 2.1.

2.2 Klasifikasi Besi Cor

Besi cor dapat dikelompokkan menjadi empat menurut kadar karbon dan silikon yang dikandungnya, sebagai berikut :

2.2.1 Besi Cor Kelabu (*Gray Cast Iron*)

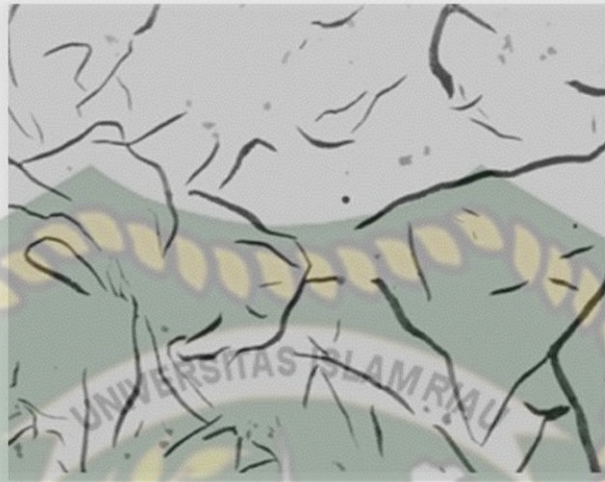
Besi cor kelabu merupakan besi cor yang kandungan karbonnya beragam antara 2,5 % - 4 % dan kandungan silikon sekitar 1% - 3%. Grafit yang terbentuk pada besi cor kelabu sebagian besar merupakan serpihan, yang sekitarnya ditutupi matrik ferit atau perlit. Struktur mikro besi cor kelabu biasanya tidak selalu sama, hal ini disebabkan oleh komposisi atau pengaruh perlakuan panas



Gambar 2.1 Diagram fasa besi cor

Sumber: (Callister, 2003)

Besi cor kelabu terbentuk dari paduan besi dan karbon dengan laju pendinginan sedang (matrik berupa perlit) dan pendinginan lambat (matrik berupa ferit). Struktur mikro besi cor kelabu ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Struktur besi cor kelabu

Sumber: (ASM Handbook, 1992)

Dilihat dari sifat mekanisnya, kekuatan tegangan yang dimiliki besi cor kelabu lebih rendah dibanding jenis besi cor yang lain. Hal ini dikarenakan mikrostruktur berupa grafit yang meruncing pada ujungnya sehingga dapat menimbulkan konsentrasi tegangan pada daerah tersebut. Salah satu sifat besi cor kelabu yang paling efektif adalah kemampuannya untuk menyerap energi getaran yang lebih tinggi dari pada baja. Dengan sifat-sifat yang dimiliki besi cor kelabu lebih banyak digunakan sebagai alat berat, landasan mesin, dan poros penghubung. Sifat fisik dan mekanik dari besi cor kelabu secara keseluruhan dijelaskan pada standar ASTM 40 dan dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Karakteristik Besi Cor Kelabu

| Property | Nilai | Satuan |
|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| Elongasi | 1 | % |
| Konduktivitas Thermal | 53,3 | W/(m x K) |
| Modulus Elastisitas | 124 | Gpa |
| Kekuatan Tarik | 276 | Mpa |
| Kekerasan | 180-302 | HB, Hardness Brinell |
| Specific Heat Capacity (25 C) | 490 | Ohm x m |
| Resistivitas Listrik | $1,1 \times 10^{-7}$ | Mpa |
| Thermal Expansion (20 C) | $9,0 \times 10^{-6}$ | C ⁻¹ |
| Densiti | $7,06 \times 10^3 - 7,34 \times 10^3$ | Kg/m ³ |

Grafit merupakan karbon berbentuk kristal lunak dan rapuh, memiliki kekerasan Brinell Hb 1, kekuatan tarik 2 Kgf/mm³ dan berat jenis 2,2 Kg/mm³. Dalam struktur besi cor biasa, 85% karbon berbentuk grafit (Surdia, T. dan Saito. S, T. 1999:20). Bentuk dan ukuran potongan garfit pada struktur mikronya bermacam-macam yaitu halus dan besar, serpih atau asteroid, bulat atau bergumpal.

Saat pembekuan besi cor, dapat dicatat bahwa diagram kesetimbangan Fe-C, besi cor cair dari hipoeutektik atau hipereutektik mendingin, setelah mencapai garis tersebut membeku menjadi kristal dalam bentuk austenit primer atau grafit primer. Setelah mencapai temperatur eutektik fasa berupa grafit-austenit mengintip dan tumbuh di sekitar kristal primer.

Saat ini grafit tumbuh ke segala arah bersentuhan dengan cairan. Dan pembentukan cabang-cabang sesuai dengan laju pertumbuhannya, dan akibatnya akan terbentuk kumpulan eutektik yang berbentuk hampir bulat, inilah yang disebut sel eutektik. Di dalam batas sel eutektik ini, cairan bersuhu rendah mengandung unsur-unsur lain yang kemudian membeku dan kemudian membeku.

Struktur besi cor terdiri dari grafit yang membentuk serpihan pada matriks besi. Dengan demikian pada tahap akhir pembekuan terbentuk struktur yang terdiri dari grafit berupa serpihan (Surdia, T. dan Saito. S, T. 1999:113).

2.2.2 Besi Cor Putih (*White Cast Iron*)

Besi cor putih adalah paduan besi dan karbon dengan waktu pendinginan yang cepat dan memiliki fasa sementit, sehingga memiliki sifat yang keras tetapi sangat rapuh dan tidak berbentuk grafit seperti besi cor lainnya dikarenakan kandungan silikon yang rendah, tingginya laju pendinginan dan warna patahannya putih, oleh karena itu disebut besi cor putih.

Selama proses pengecoran, biasanya besi cor putih terbentuk pada lapisan tipis permukaan hasil pengecoran. Ini karena pembekuan cor yang lebih cepat. Lapisan besi cor putih ini sering disebut dengan istilah dingin (*chilled*).

Besi cor ini memiliki sifat yang getas, namun memiliki kekerasan yang tinggi. Sifat yang dimilikinya menyebabkan besi cor ini lebih aplikatif untuk suku cadang yang mensyaratkan ketahanan aus tinggi. Struktur besi cor putih dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Struktur mikro besi cor putih

Sumber: (ASM Handbook, 1992)

2.2.3 Besi Cor Nodular (*Ductile Iron*)

Besi cor nodular adalah salah satu jenis dari besi tuang yang bentuk grafitnya bulat. Penambahan magnesium dan sesium ke besi cor dalam fasa cair dapat mengubah bentuk karbon yang terbentuk pada besi yang semula bulat berubah serpihan. Dan perubahan ini menyebabkan peningkatan keuletan (*ductility*) dari besi cor.

Fasa matrik yang mengelilingi grafit berbentuk perlit dan ferit bergantung pada perlakuan panas setelah proses pengecoran. Dalam kondisi normal perlit mendominasi matrik setelah pengecoran, tetapi setelah perlakuan panas pada suhu 700 °C matrik ferit mendominasi di sekitar grafit. Besi cor nodular memiliki karakteristik mendekati baja. Dengan sifat yang dimilikinya, besi cor nodular banyak digunakan sebagai bahan pembuat roda gigi, bodi pompa, katup dan berbagai komponen mesin lainnya. Gambar 2.4 menunjukkan Struktur besi cor nodular sebagai berikut.

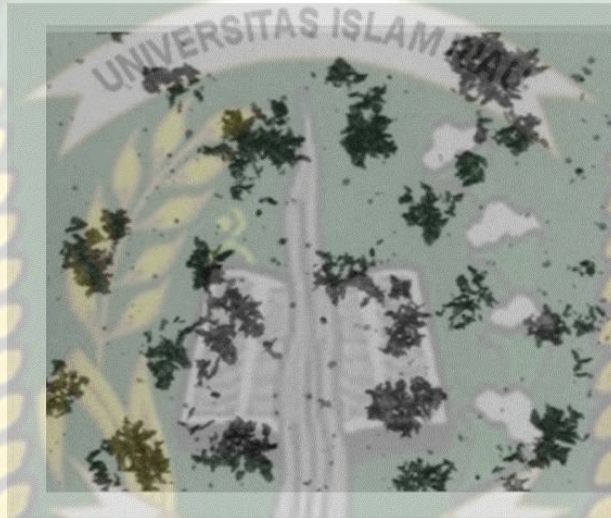


Gambar 2.4 Struktur mikro besi cor nodular
Sumber: (ASM Handbook, 1992)

2.2.4 Besi Cor Mampu Tempa (*Malleable Cast Iron*)

Biasanya besi cor mampu tempa adalah besi cor putih yang telah dipanaskan pada suhu antara 800 °C dan 900 °C, menyebabkan sementit terurai membentuk grafit yang menyebar disekitar matrik ferit atau perlit tergantung pada laju pendinginan. Besi cor mampu tempa memiliki sifat yang mirip dengan besi cor nodular yaitu keras tetapi ulet karena kombinasi grafit nodular dan matrik

logam yang karbon. Karena sifatnya yang plastis, proses permesinan dapat dilakukan dari cor yang sesuai dengan pemesinan. Besi cor mampu tempa banyak digunakan untuk membuat perkakas, perkakas-perkakas kereta api dan membuat produk yang membutuhkan ketahanan benturan yang tinggi. Gambar 2.5 berikut menunjukkan Struktur besi cor mampu tempa.



Gambar 2.5 Struktur mikro besi cor mampu tempa
sumber: (ASM Handbook. 1992)

2.3 Pengecoran

2.3.1 Titik Cair, Berat Jenis dan Koefisien Kekentalan

Besi cor/tuang adalah paduan besi dengan lebih dari 1,7%, biasanya dalam kisaran karbon 2,4% sampai 4%. Bahan baku besi cor relatif mahal, bahan baku besi cor meliputi besi cair atau besi/baja tua, besi tuang memiliki fungsi mekanik yang sangat penting dan diproduksi dalam jumlah banyak. Penambahan unsur lain pada proses peleburan dimasukkan kedalam panci sebagai pengendali. Paduan besi tuang bahannya telah dilakukan penghalusan atau dipotong kecil-kecil dan pepaduan besi mentah (*pig Iron*). Dalam prosesnya peleburan bahan logam ini

tidak terlalu sulit terutama untuk bahan-bahan yang diperoleh dari besi mentah (*pig Iron*) dengan kadar karbon yang sudah diketahui yaitu berkisar 2,4% hingga 4% sebagai baja hyper eutektoid hanya memerlukan pemanasan hingga mencapai temperatur cair yakni antara 1200°C hingga 1600°C hingga bahan mencair secara menyeluruh, hal ini akan berbeda tergantung kepada jenis klasifikasi dari bahan tuangan tersebut.

Sifat cair suatu bahan dapat diibaratkan sifat cair suatu bahan tetapi sifat cair suatu bahan padat seperti logam akan berlangsung apabila terjadi perubahan suhu dari bahan padat itu sendiri, terbentuknya suatu material padat disebabkan oleh gaya elektromagnetik partikel atom yang mengikat satu sama lain jika material berada pada suhu kamar. Perubahan suhu atau peningkatan suhu akan menurunkan kapasitas pengikatan gaya elektromagnetik atom-atom tersebut. Pada suhu tertentu, seperti logam Ferro hypo-eutectoid maupun hyper-eutectoid strukturnya akan berubah apabila dipanaskan pada suhu di atas 723 °C. Suhu ini hanya akan mengubah struktur bahan ini yang berarti secara visual terlihat bahwa baja masih dalam keadaan padat (solid), bagaimanapun struktur atom mulai terbuka dan dengan suhu naik material mendekati titik leleh awal.

Pada titik awal dimana proses pencairan berlangsung, sebagian besar komposisi material masih dalam keadaan padat, bahkan pada suhu dimana proses pencairan terjadi secara menyeluruh, laju aliran akan berbeda dengan sifat cair dari air kecuali grafitasi yang dipengaruhi oleh kepadatan material. Tabel 2.2 memperlihatkan beberapa jenis bahan yang berbeda berat jenis, titik cair dan koefisien kekentalan sebagai berikut.

Tabel 2.2 Titik cairberat jenis, dan koefisien kekentalan

| Bahan | Titik Cair ($^{\circ}\text{C}$) | Berat Jenis (g/mm^3) | Koefisien Kekentalan (cm^3/det) |
|----------------|--------------------------------------|---|---|
| Air | 0 | 0,9982 (20°C) | 0,010064 |
| Air raksa | 38,9 | 13,56 (20°C) | 0,00114 |
| Alumunium | 660,0 | 2,35 (760°C) | 0,00508 |
| Besi | 1.537,0 | 7,13 (1.600°C) | 0,00560 |
| Besi Tuang/Cor | 1.170,0 | 6,9 (1.300°C) | 0,00230 |
| Seng | 420,0 | 6,27 (420°C) | 0,00508 |
| Timah Putih | 232,0 | 5,52 (232°C) | 0,00199 |
| Timah Hitam | 327,0 | 10,56 (440°C) | 0,00156 |
| Tembaga | 1.083,0 | 7,84 (1.200°C) | 0,00395 |

Sumber: (Hardi Sudjana, 2008: 179)

2.3.2 Proses Peleburan (Pengecoran)

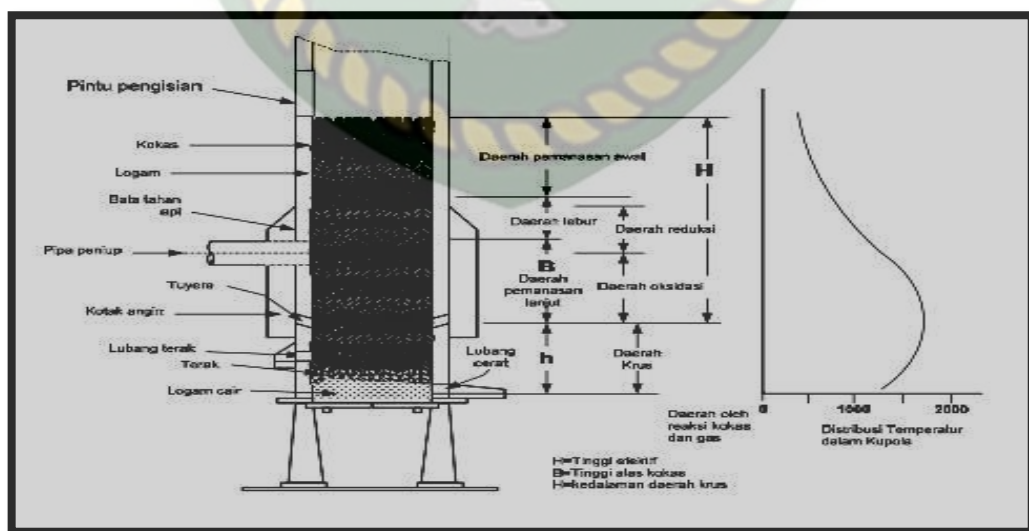
Proses pengecoran material dilakukan dengan pemanasan di dapur *Cupola* dan dapur induksi dengan frekwensi rendah. Pengecoran menggunakan dapur kopula paling sering digunakan dibanding dengan menggunakan dapur listrik dan dapur lainnya karena memiliki beberapa kelebihan, antara lain :

1. Pengoprasian dalam pengecoran mudah dilakukan

2. Memiliki konstruksi yang sederhana
3. Biaya operasional relatif rendah
4. Mudah mengkondisikan komposisi kimia.
5. Kapasitas produksi besar.
6. Peleburan dapat digunakan secara terus menerus.

2.3.3 Prosedur Kerja Pengoprasian Dapur Kupola

Dapur kupola terbuat dari baja silinder dengan posisi vertikal, dinding bagian dalam tempat proses pengecoran dilapisi dengan bata tahan api. Kakas (batu bara) digunakan sebagai bahan bakar yang dibutuhkan untuk peleburan baja. Bahan bakunya, yakni logam yang dilebur dimasukkan kedalam dapur ini, tentunya dengan posisi yang tepat. Untuk itulah dapur kupola didesain agar mudah dioperasikan. Gambar 2.6 menunjukkan Detail letak bagian-bagian dari dapur kupola sebagai berikut.



Gambar 2.6 Konstruksi Dapur Kupola

Sumber: (Sudjana, 2008)

Sebagaimana terlihat susunan bahan-bahan dalam konstruksi dapur kupola pada gambar diatas, dimana bahan baku logam yang terdiri atas besi kasar (*pig iron* dan besi besi bekas) serta kokas sebagai bahan bakarnya dimasukkan kedalam dapur melalui saluran pengisi, secara berlapis dimulai dari kokas hingga dapur tersebut terisi penuh, selanjutnya setelah semua unsur dipersiapkan dengan benar maka mulailah melakukan pembakaran dimana sebagai pematik atau pembakaran awal dilakukan dengan pembakaran yang menggunakan arang kayu yang ditiup melalui saluran yang disebut *tuyure*, yakni suatu bagian dari dapur kupola, dimana *tuyure* dari dapur kupola ini terdapat dalam berbagai bentuk misalnya *silinder*, segi empat atau *rotary blower* biasanya system ini digunakan pada dapur kupola yang ukuran besar dan sedang, namun dari semua system peniup ini prinsip kerjanya sama dimana udara yang ditiupkan melalui *tuyure* tersebut.

2.4 Pengaruh Unsur Paduan Pada Besi Cor

2.4.1 Mangan (Mn)

Mangan berasal dari bahasa latin *magnes*, berwarna keabu-abuan dan rapuh, sifat-sifatnya mirip dengan besi tetapi mangan lebih ringan. Mangan mempunyai empat bentuk alotropi, yaitu mangan alfa, mangan gamma, mangan beta, mangan delta. Logam ini akan menguap pada suhu 2.061 °C (Cardarelli,2008). Mangan dapat ditemukan di banyak material, seperti alabandit (MnS), pirolusit (MnO₂), haussmanit (Mn₃O₄), dan lain-lain. Mangan umumnya dibuat dalam bentuk ferromangan (Fe-Mn-C) dan silikonmangan (Si-Mn-C).

Kandungan ferromangan lebih dari 76% Mn dan 7% C untuk karbon tinggi, 1,5% untuk karbon menengah dan kurang dari 1% untuk karbon rendah. Sedangkan kandungan silikonmangan antara 65 sampai 85% Mn, 15% Si, dan 2% C (Cardarelli, 2008).

Mangan murni tidak akan bereaksi dengan oksigen, nitrogen atau hidrogen pada suhu kamar, tetapi mangan akan bereaksi dengan fosfor, sulfur, dan oksigen pada suhu tinggi. Oleh sebab itu industri pembuatan besi menggunakan mangan sebagai zat pereduksi. Mangan cepat larut dalam kondisi asam dan mangan adalah unsur penstabil yang dapat menggantikan nikel yang mahal.

Mangan adalah salah satu unsur yang mempengaruhi pembentukan karbida Fe dan Mn_3C , oleh karena itu semakin tinggi kandungan mangan pada besi cor kelabu maka semakin banyak karbida yang terbentuk yang juga akan menyebabkan terbentuknya perlit yang lebih banyak. Dibandingkan dengan bahan dengan perlit yang lebih sedikit jumlah perlit akan meningkatkan kekuatan bahan tersebut, tetapi memiliki elongasi atau keuletan yang lebih rendah.

2.4.2 Karbon (C)

Kehadiran karbon dalam besi diperlukan untuk membuat baja. Karbon penting untuk pembentukan sementit serta karbida lainnya dan pembentukan perlit, spherodit, bainit, martensit, dan besi karbon. Karbon yang terkandung pada besi cor kelabu berkisar 2 sampai 3,7% dan ada dalam bentuk senyawa Fe_3C atau sementit, yang disebut grafit dalam keadaan bebas. Peningkatan unsur karbon pada besi cor dari 2,5 sampai 3,6% menyebabkan penurunan titik leleh. Tetapi

peningkatan kandungan karbon berguna untuk coran yang berdingding tipis dan coran bentuk khusus, karena besi cor lebih mudah untuk dituang.

2.4.3 Kromium (Cr)

Kromium atau Cromium adalah suatu logam mineral yang keberadaannya terdapat di lapisan bumi. Kromium merupakan unsur yang secara alami ditemukan dalam konsentrasi rendah di bebatuan, tanah, hewan, debu vulkanik, tanaman dan juga gas. Logam kromium sering ditemukan sebagai senyawa padat / mineral dengan unsur penghambat. Kata crom berasal dari kata Yunani yaitu “*Chroma*” yang berarti warna. Kromium pertama kali ditemukan oleh Vagueline pada tahun 1797. Kromium adalah logam transisi yang memiliki konfigurasi electron $[Ar] 4s^1 3d^5$ (Manahan, 1992), kromium mempunyai massa atom relatif 51,996 gram/mol dan nomor atom 24, titik leleh $1875^{\circ}C$, titik didih $2665^{\circ}C$ dan jari-jari atom $128 \mu m$ (Sugianto, 2003). Melimpahnya kromium di lapisan bumi 0,033% dengan beberapa isotop adalah ^{52}Cr (84%), ^{50}Cr (4,5%), ^{54}Cr (2,45%). Kromium berwarna abu-abu dan keras dengan berat jenis 7,19 gram/ml dan panas laten penguapan 1474 kal/kg (Vogel, 1985). Mineral ini mempunyai tingkat oksidasi 2 sampai 6, tetapi yang sering ditemui adalah tingkat oksidasi 3 dan 6 (Manahan, 1993). Kromium tidak larut dalam air dan asam nitrat, namun larut dalam asam sulfat cair dan asam klorida. Kromium juga tidak bisa bercampur dengan basa, peroksida, logam dan halogen. Kromium harus dijauhkan dari panas api, percikan api dan bahan-bahan yang mudah terbakar (Vogel, 1985).

Kegunaan dari kromium secara luas digunakan untuk penyamakan kulit, penyepuhan, pelapis logam dan pelapis kromat. Sifat yang dimiliki kromium tidak mudah teroksidasi karena udara, oleh sebab itu banyak dipergunakan sebagai pelindung lapisan mesin-mesin otomotif, pelapis logam pengisi stainless steel, dan perlengkapan tertentu (Malkoc, 2007).

2.4.4 Nikel (Ni)

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki endapan bijih nikel laterit dalam jumlah yang cukup besar. Endapan nikel laterit Indonesia tersebar di beberapa daerah seperti di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku dan Papua. Indonesia merupakan penghasil nikel terbesar kelima didunia, sebesar 12% cadangan didunia (Gunawan, 2016).

Nikel atau Ni merupakan unsur dengan nomor atom 28. Sifat-sifat fisik dari nikel dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut dan sifat-sifat mekanik pada nikel dapat dilihat pada Tabel 2.4. Nikel sendiri adalah unsur yang termasuk dalam logam transisi, berbentuk padat pada saat temperatur kamar.

Tabel 2.3 Sifat-sifat Fisik Nikel (Ni)

| | |
|----------------------------------|---------|
| Kekerasan | 4.0 |
| Massa Jenis (g/cm ³) | 8.90 |
| Massa Atom | 28 |
| Nomor Atom | 58.69 |
| Titik Lebur | 1455 °C |
| Struktur Kristal | FCC |

Sumber : (Callister, 2003)

Tabel 2.4 Sifat-sifat Mekanik Nikel (Ni)

| | |
|----------------|---------------|
| Modulus shear | 76 GPa |
| Modulus young | 207 GPa |
| Kekuatan tarik | 317 Mpa |
| Kekerasan | 64 Hv, 35 HRB |

Sumber : (Callister, 1940)

Nikel pertama kali ditemukan sekitar tahun 1751 tetapi sudah digunakan dalam paduan sejak jaman dahulu dan nikel adalah logam dengan warna perak. Sifat nikel sendiri memiliki ketahanan korosi pada atmosfer tinggi. Nikel juga tahan pada sebagian besar asam. Selain itu nikel tahan terhadap serangan asam yang mengoksidasi nikel seperti asam nitrit. Bijih nikel yakni nikel sulfida dan oksida nikel. Pembuatan paduan umumnya menggunakan nikel, seperti *alloy steel*, *stainless steel*, dan *non-ferrous*.

2.5 Kekuatan Besi Tuang/Cor

Besi cor merupakan suatu material yang mempunyai nilai kekuatan yang tinggi, sehingga penggunaannya cocok untuk produk yang membutuhkan kekuatan yang tinggi. Dalam pembuatan bahan, kekuatan merupakan salah satu prosedur dalam penentuan suatu konstruksi. Keuletan dan kekuatan besi cor dipengaruhi oleh jumlah bentuk dan distribusi grafit. Jumlah grafit ditentukan oleh komposisi kimianya dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Carbon Equivalet (CE)} = \%C + 0.3(\%Si + \%P) \quad (2.1)$$

(Sumber : Henkel dan pense, 2002)

$$\text{Jumlah Carbon Eutektik} = 4.26 - 0.31(\%Si) - 0.33(\%P) + 0.27(Mn) \quad (2.2)$$

(Sumber: Saito. S, T. serta Surdia, T. 1999)

Untuk menunjukkan kesalahan komposisi kimia besi cor dari komposisi komponen eutektik digunakan derajat eutektik S_c , yakni jumlah karbon sebenarnya dibagi jumlah karbon eutektik dengan perhitungan dibawaht:

$$S_c = \%C / \{4,3 - \frac{1}{3}(\%Si + \%P)\} \quad (2.3)$$

2.6 Konduktivitas Thermal

Konduktivitas thermal merupakan suatu koefisien yang menyatakan kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan kalor. Semakin baik suatu bahan menghantarkan kalor, maka nilai koefisien konduktivitas thermal bahan tersebut semakin besar. Sebaliknya jika bahan tersebut kurang baik dalam menghantarkan kalor, maka nilai koefisien konduktivitas thermalnya kecil.

Bahan dengan nilai koefisien konduktivitas thermal yang besar disebut dengan konduktor. Sedangkan bahan dengan nilai koefisien konduktivitas thermal yang kecil disebut isolator. Sebagian besar jenis logam merupakan konduktor, sedangkan plastik dan kayu merupakan contoh bahan yang termasuk isolator (Kreith, 1964; Kern, 1965; Giancoli, 2001). Nilai konduktivitas thermal berbeda-beda tergantung pada bahannya, seperti yang terdapat pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Konduktivitas Termal Berbagai Bahan Pada 0 °C.

| Bahan | Konduktivitas Thermal (k) W/M °C |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| Logam | |
| Alumunium (murni) | 202 |
| Baja karbon, 1% C | 43 |
| Baja krom-nikel (18%Cr, 8%Ni) | 16.3 |
| Besi (murni) | 73 |
| Nikel (murni) | 93 |
| Perak (murni) | 410 |
| Timbal (murni) | 35 |
| Tembaga (murni) | 385 |
| Non logam | |
| Batu pasir | 1.83 |
| Kaca, jendela | 0.78 |
| Kayu, maple atau ek | 0.17 |
| kuarsa (sejajar sumbu) | 41.6 |
| Marmar | 2.08 – 2.94 |
| Magnesit | 4.15 |
| Serbuk gergaji | 0.059 |
| Wol kaca | 0.038 |

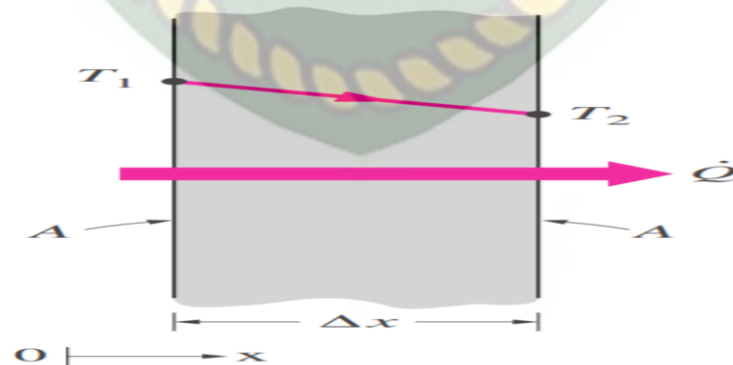
Sumber : (J.P. Holman, 1993:6-11)

Nilai angka konduktivitas thermal menunjukkan seberapa cepat kalor yang mengalir dalam bahan tertentu. Makin cepat molekul bergerak semakin cepat pula ia mengangkut energi. Panas yang di transfer dari satu titik ke titik lain melalui salah satu dari tiga metode yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Karena yang kita uji adalah besi cor kelabu yang merupakan bahan logam atau solid, maka yang akan kita bahas adalah perpindahan panas secara konduksi.

2.6.1 Konduksi

Konduksi merupakan salah satu mekanisme perpindahan kalor. Selain konduksi, kalor dapat berpindah dengan cara konveksi dan radiasi. Konduksi terjadi karena adanya perbedaan suhu antara dua buah bagian dalam satu sistem. Aliran kalor yang terjadi selama konduksi berasal dari bagian yang memiliki suhu lebih tinggi menuju bagian yang memiliki suhu lebih rendah. Konduksi umumnya terjadi pada benda padat, namun pada beberapa kasus bisa juga terjadi pada fluida. Kalor dihantarkan melalui interaksi antar molekul-molekul yang berdekatan satu sama lain dalam benda tersebut. Proses perpindahan kalor secara konduksi tidak disertai perpindahan molekul-molekul penyusun bahan (Kreith, 1964).

Aliran kalor pada proses konduksi ditunjukkan pada Gambar 2.7. Ketika sebuah balok dengan konduktivitas thermal k memiliki beda suhu antara kedua sisinya, maka akan terjadi aliran kalor. Kalor mengalir dari sisi balok yang bersuhu lebih tinggi T_1 menuju sisi balok yang bersuhu lebih rendah T_2 , melalui luas bidang A . Konduksi kalor dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Konduksi Kalor Pada Balok

Sumber : (Yunus A. Cengel. 1998)

Besarnya kalor yang dikonduksikan mengalir tiap satu satuan waktu melalui bidang balok dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$Q_{konduksi} = k \cdot A \frac{T_1 - T_2}{\Delta X} = -k \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (2.4)$$

Dimana : k : Konduktivitas Thermal ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)

A : Luas bidang yang dilalui kalor (m^2)

ΔT : Perbedaan temperatur ($^\circ\text{C}$)

ΔX : Ketebalan Bahan (m)

Nilai k merupakan nilai yang menunjukkan konduktivitas thermal suatu bahan. Konduktivitas thermal merupakan koefisien yang menunjukkan kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan kalor. Nilai k untuk masing-masing bahan berbeda-beda. Semakin besar nilai k maka semakin baik kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan kalor secara konduksi. Sebaliknya, semakin kecil nilai k maka semakin buruk kemampuan bahan tersebut dalam menghantarkan kalor secara konduksi.

2.7 Rem

Rem merupakan benda penting untuk sebuah kendaraan yang berfungsi untuk mengurangi dan menghentikan laju kendaraan. Sampai sekarang, rem utama kendaraan yang dikembangkan masih menggunakan sistem gesek sebagai mana ditemukan pertama kali oleh Louis Renault pada tahun 1902.

Mengubah tenaga kinetik menjadi panas dengan cara menggesek dua buah logam pada benda yang berputar sehingga putarannya akan melambat adalah

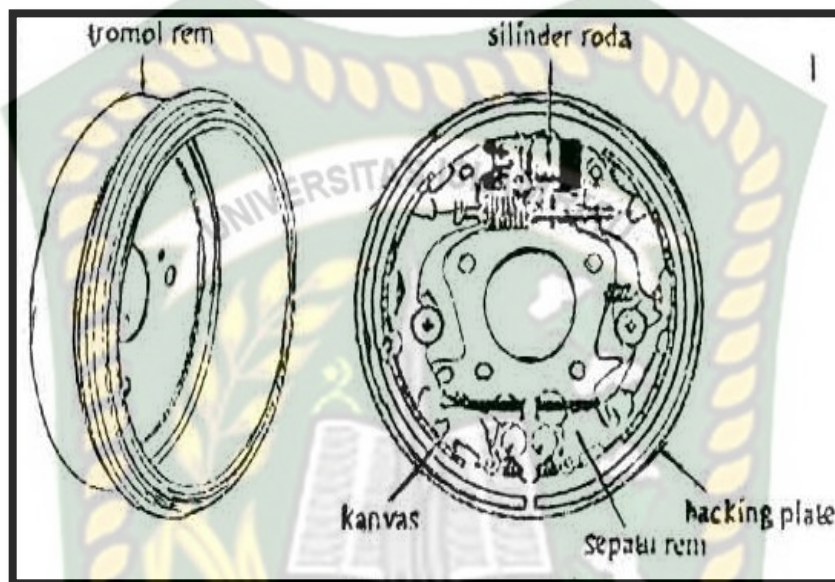
prinsip kerja dari rem. karena itu komponen rem yang bergesekan harus tahan terhadap gesekan (tidak mudah aus), tidak mudah berubah bentuk pada saat bekerja dalam suhu tinggi, dan tahan panas

Sistem pengereman umumnya yang berkembang pada kendaraan mobil bus/truk saat ini ada dua jenis yaitu rem cakram (*disc brake*) untuk roda-roda depan dan rem tromol (*drum brake*) pada roda bagian belakang yang keduanya dioperasikan secara hidrolik.

2.7.1 Rem Tromol (*Drum Brake*)

Rem tromol merupakan suatu model pengereman pada kendaraan yang menggunakan sepatu rem dan drum tromol. Untuk model rem tromol ini kekuatan tenaga pengereman berasal dari sepatu rem yang diam menekan permukaan drum tromol bagian dalam yang berputar bersama-sama dengan roda. Tromol rem berfungsi untuk menimbulkan gaya gesekan antara kampas rem dan tromol pada waktu diadakan pengereman sehingga memungkinkan kecepatan kendaraan untuk diperlambat atau dihentikan. Tromol rem memiliki beberapa komponen pada sistem rem yang terdiri dari bahan besi tuang, saat pedal rem ditekan, sisi dalam tromol adalah bidang gesek dengan kampas rem saat rem bekerja. Tromol rem ini ikut berputar ketika roda berputar. Ketika terjadi gesekan antara tromol dengan kampas (saat pengereman) maka akan menimbulkan panas. Hal ini dilakukan berkali-kali maka tromol akan panas dan mengalami pemuaian sehingga diameter dalam tromol menjadi besar. Ketika diameter dalam tromol membesar sehingga celah sepatu rem juga akan membesar maka gaya pengereman cenderung

berkurang, ini yang dinamakan dengan *effect fading* yang merupakan salah satu kelemahan dari rem tromol. Tromol rem (*drum brake*) ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 Rem Tromol
Sumber : (Anonim, 1987)

Rem tromol memiliki bagian-bagian utama yaitu :

➤ Silinder Roda

Silinder roda berfungsi untuk menekan sepatu rem ke tromol rem. pada silinder roda terpasang satu atau dua buah piston dan seal tergantung dari konstruksi rem tromolnya.

➤ Backing Plate

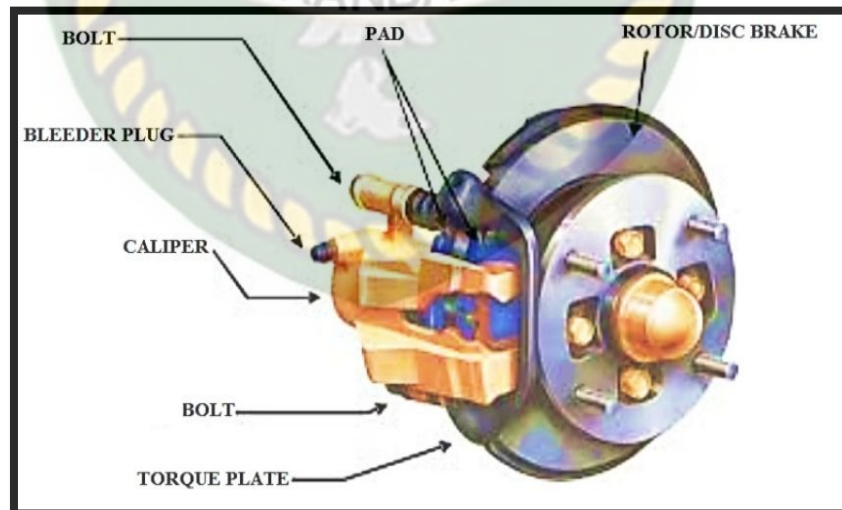
Backing plate berfungsi sebagaiudukan untuk menahan putaran tromol sekaligus sebagaiudukan silinder roda. Backing plate terbuat dari baja press yang dibaut pada axle housing atau axle carrier bagian belakang.

➤ Sepatu Rem

Sepatu rem berfungsi untuk menahan putaran rem tromol melalui gesekan. Pada bagian luar sepatu rem terbuat dari campuran fiber metalic dengan brass, lead, plastik dan sebagainya dan diproses dengan ketinggian panas tertentu.

2.7.2 Rem Cakram (*Disk Brake*)

Disk brake atau rem cakram terdiri dari cakram dari besi yang dijepit oleh lapisan rem dari kedua sisinya pada waktu pengereman. Rem ini mempunyai sifat-sifat yang baik seperti mudah dikendalikan, pengereman yang stabil, radiasi panas yang baik, sehingga banyak dipakai untuk roda depan. Kelemahannya adalah umur lapisan yang pendek, serta ukuran silinder rem yang besar pada roda (Sularso, 1997;90). Rem cakram dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 Rem Cakram

Sumber : (Afif Ahmad. 2015)

Bagian-bagian utama rem cakram adalah sebagai berikut :

- Disc (Piringan)
- Sepatu Rem
- Baut
- Bleeder Plug
- Caliper
- Torque Plate (Seng penahan sepatu rem)

2.8 Karakteristik Material

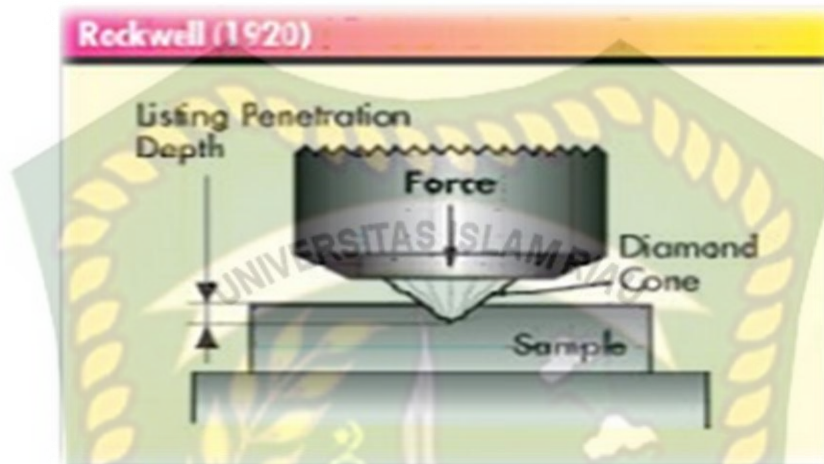
2.8.1 Uji Kekerasan

Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal, artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuk semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

2.8.1.1 Uji Kekerasan Rockwell

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor

berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Pengujian Rockwell dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Pengujian Rockwell

Sumber : (Darmadi, 2015)

Dibawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk mencari besarnya kekerasan dengan metode Rockwell.

$$HR = E - e \quad (2.5)$$

Dimana :

F : Total beban (Kgf)

E : Jarak antara indenter saat diberi minor load dan zeroreference line yang untuk tiap jenis indenter berbeda-beda

e : Jarak antara kondisi 1 dan kondisi 3 yang dibagi dengan 0,002 mm

HR : Besarnya nilai kekerasan dengan metode hardness (Fauzan, 2010).

2.8.1.2 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan vickers menggunakan indentor piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136° . Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antar diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell (Dieter, G. E., 1988).

Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854P}{d^2} \quad (2.6)$$

Dimana :

P : Beban yang digunakan (kg)

D : Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ : Sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°

Karena jejak yang dibuat dengan penekanan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka VHN tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini pengaruhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji vickers berkisar antara 1 sampai 120 kg. Tergantung pada kekerasan logam yang akan di uji. Hal-hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode vickers adalah :

1. Uji ini tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian ini sangat lamban.

2. Memerlukan persiapan permukaan benda uji.
3. Terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonalnya.

2.8.1.3 Uji Kekerasan Brinell

Uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembakuannya adalah metode yang diajukan oleh J.A. Brinell (1990). Uji kekerasan Brinell berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan memakai bola baja berdiameter 10 mm dan diberi beban 3000 kg. Untuk logam lunak beban dikurangi hingga tinggal 500 kg, untuk menghindari jejak yang dalam, dan untuk bahan yang sangat keras digunakan paduan karbida tungsten, untuk memperkecil terjadinya disorsi indenter. Beban diterapkan selama waktu tertentu biasanya 30 detik, dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop daya rendah, setelah beban tersebut dihilangkan. Kemudian dicari harga rata-rata dari 2 buah pengukuran diameter pada jejak yang berarah tegak lurus. Angka kekerasan Brinell (BHN) dinyatakan sebagai beban p dibagi luas permukaan lekukan. Rumus untuk kekerasan tersebut adalah :

$$BHN = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{\pi D t} \quad (2.7)$$

Dimana :

P : Beban yang diterapkan (kg)

D : Diameter bola (mm)

d : Diameter lekukan (mm)

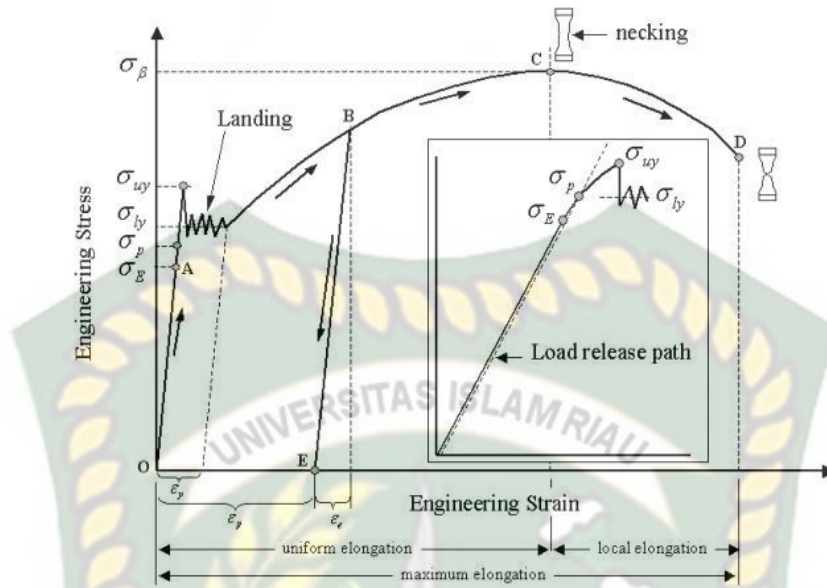
t : Kedalaman jejak (mm)

2.8.2 Uji Tarik

Uji tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Tujuan dari pengujian tarik adalah untuk melihat kekuatan tarik dan modulus elastisitas. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat pengujian untuk uji tarik ini harus memiliki cengkaman (*grid*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).

Pada pengujian tarik beban diberikan secara kontinyu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang di alami benda uji (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1995). Hasil dari pengujian ini berupa grafik tegangan dan regangan.

Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus menarik suatu bahan (logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti pada gambar dibawah ini. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dan perubahan panjang. Diagram uji tarik ditunjukkan pada Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2.11 Diagram Uji Tarik
 Sumber : (Sastranegara A, 2009)

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.8)$$

Dimana :

σ : Tegangan Tarik

F : Gaya Tarikan (N)

A : Luasan Penampang (m²)

Regangan yang dipergunakan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur dengan panjang awal, persamaannya yaitu :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \text{ (%) } \quad (2.9)$$

Dimana : ε : Regangan (%)

ΔL : Pertambahan Panjang (mm)

L : Panjang Awal (mm)

Perbandingan antara tegangan dan regangan disebut sebagai Modulus Elastisitas atau Modulus Young (Y). Sehingga dalam hal ini rumus modulus elastisitas atau modulus young adalah :

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.10)$$

$$Y = \frac{FxL}{Ax\Delta L} \quad (2.11)$$

Dimana :

Y : Modulus Young

σ : Tegangan Tarik

ε : Regangan (%)

F : Gaya Tarikan (N)

L : Panjang Awal (mm)

A : Luas Penampang (m²)

ΔL : Pertambahan Panjang (mm)

Penjelasan pada Gambar 2.11 :

- σ_E : batas elastis (*elastic limit*)
- σ_P : batas proporsional (*proportional limit*)
- σ_{uy} : tegangan luluh atas (*upper yield stress*)
- σ_{ly} : tegangan luluh bawah (*lower yield stress*)
- ε_y : regangan luluh (*yield strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

- ε_e : regangan elastis (*elastic strain*)

- ϵ_p : regangan plastis (*plastic strain*)
- ϵ_T : regangan total (*total strain*)
- ϵ_β : tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*)
- Kekuatan patah (*breaking strength*)

Pada Gambar 2.11 ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan dimana bahan yang diuji putus atau patah. (Sastranegara A. 2009).

2.8.3 Uji Konduktivitas Thermal

Uji konduktivitas thermal adalah uji kemampuan suatu benda dalam menyerap kalor. Pada pengujian konduktivitas thermal, penentuan nilai konduktivitas thermal dilakukan dengan mengukur perbedaan suhu pada dua titik pada logam yang dipanaskan disalah satu ujungnya. Perbedaan suhu (ΔT) pada titik yang dekat dengan pemanas dan titik yang jauh dengan pemanas berjarak L digunakan untuk menghitung nilai konduktivitas thermal dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \frac{k.A.\Delta T}{L} \quad (2.12)$$

$$k = \frac{Q.L}{A.\Delta T} \quad (2.13)$$

Dimana : Q : Energi kalor (Watt)

k : Konduktivitas thermal material (W/m^0C)

ΔT : Perbedaan suhu diantara dua titik (0C)

L : Jarak antara dua titik (m)

A : Luasan penampang (m^2)

2.8.4 Pengamatan Metalografi

Pengamatan metalografi adalah suatu analisa mengenai struktur-struktur logam melalui pembesaran dengan mikroskop khusus metalografi. Dengan analisa mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanis dan sifat fisis sangat dipengaruhi oleh mikrostruktur logam dan paduannya, disamping komposisi kimianya. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan jalan perlakuan panas ataupun dengan proses perubahan bentuk (deformasi) dari logam yang akan diuji.

2.8.5 Uji Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dan kadar setiap unsur yang terkandung didalam baja sehingga baja lebih mudah diklasifikasikan menjadi dua kelompok baja karbon yaitu baja tanpa paduan (*plain carbon seel*) dan baja paduan (Priyanto, 2011). Jenis-jenis baja biasanya ditentukan berdasarkan unsur karbon yang terkandung didalam material baja tersebut. Baja karbon bukan hanya baja yang terdiri dari baja dan karbon saja tetapi masih memiliki unsur-unsur lain yang terkandung didalam baja hanya saja kandungan-kandungan lain tersebut masih berada di batas-batas tertentu yang tidak banyak mempengaruhi terhadap sifat asli dari baja tersebut. Unsur-unsur ini biasanya berasal dari pembuatan besi/baja seperti mangan, silicon, dan beberapa unsur-unsur kotoran seperti oksigen, belerang, nitrogen, posfor, dan unsur lain dan biasanya unsur tersebut ditahan sampai kadar yang sangat kecil. Baja dengan

kadar mangan kurang dari 0,8%, silicon kurang dari 0,5% dan unsur lain sangat sedikit, dapat dianggap sebagai baja karbon. Untuk baja paduan sendiri biasanya diberikan unsur-unsur paduan tertentu untuk mendapat sifat-sifat tertentu pula (Suarsana, 2017).

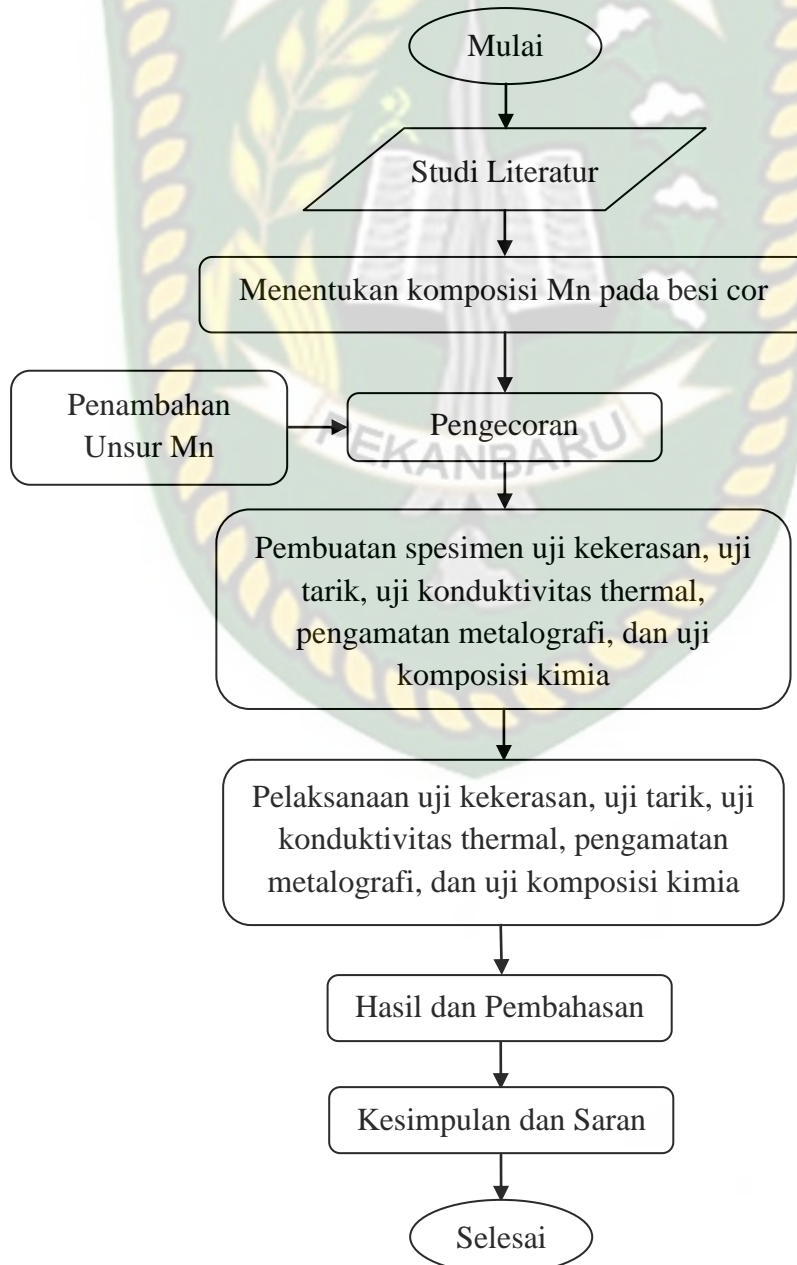


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, penambahan unsur mangan pada besi cor kebalu. Kemudian material yang dihasilkan akan di uji kekerasan, uji tarik, uji konduktivitas thermal, uji metalografi, dan uji komposisi kimia.



3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap dimulai dari pembuatan spesimen/material yang dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Islam Riau Pekanbaru dan di CV. Sispra Jaya Logam, persiapan alat untuk pengujian, proses pengambilan data dilakukan di Laboratorium Politeknik Caltex Riau, Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Islam Riau dan Laboratorium Politeknik Manufaktur Bandung.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan merupakan unsur utama dalam sebuah penelitian, dimana alat yang digunakan sebagai penunjang utama untuk mendapatkan hasil penelitian. Sedangkan bahan berguna sebagai bantuan untuk memperoleh hasil pengujian yang maksimal. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.3.1 Alat Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Dapur Peleburan

Dapur ini terbuat dari batu bata tahan api dan semen tahan api. Besar dan volume dari dapur peleburan sangat bervariasi, tergantung pada jumlah bahan yang akan dilebur. Dapur peleburan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Dapur Peleburaan

2. Panci Tuang (*Ladle*)

Panci tuang digunakan untuk memindahkan logam cair dari dapur peleburan dan menuangkannya kedalam cetakan, panci ini dibuat dari baja dengan lapisan tahan panas pada bagian dalamnya. Panci tuang (*ladle*) ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Panci Tuang/*Ladle*

3. Cetakan

Cetakan digunakan untuk membentuk model hasil coran sesuai yang diinginkan. Bentuk cetakan biasanya menyesuaikan dengan tujuan pengecoran yang dilakukan. Jenis cetakan ada dua, yaitu cetakan permanen dan cetakan sementara. Contoh cetakan permanen adalah logam *ferrous* dan besi cor, contoh cetakan sementara adalah pasir refraktori, plaster, resin dan lilin. Cetakan besi cor dan cetakan pasir refraktori dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.3 Cetakan Besi/Logam



Gambar 3.4 Cetakan Pasir

4. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi spesimen dengan tujuan memperoleh ukuran spesimen yang sesuai. Gambar 3.5 berikut merupakan jangka sorong.



Gambar 3.5 Jangka Sorong

5. Ampelas

Ampelas digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen. Proses ini menggunakan kertas ampelas yang berjenjang dimulai dari ampelas yang kasar sampai dengan yang halus. Tingkat kehalusan kertas ampelas ini ditentukan oleh ukuran serbuk silikon karbida yang menempel pada kertas ampelas tersebut. Ampelas ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Ampelas

6. Peralatan Keselamatan Kerja

Peralatan keselamatan kerja digunakan untuk melindungi diri dari kecelakaan kerja atau kejadian yang tidak diinginkan. Peralatan keselamatan kerja ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Peralatan Keselamatan Kerja

7. Kompor Listrik

Kompor listrik digunakan sebagai sumber kalor, yang mana penggunaannya akan digunakan untuk pengujian konduktivitas thermal. Pengujian ini menggunakan kompor listrik merk Mapion model : S-301 dan dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Islam Riau. Kompor listrik dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Kompor Listrik

8. Termokopel

Termokopel digunakan untuk mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga akan menimbulkan efek “*thermo electric*”. Termokopel dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 Termokopel

9. Stopwatch

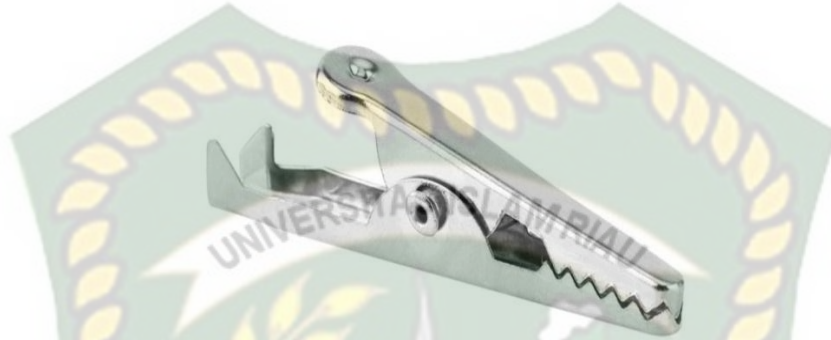
Stopwatch digunakan sebagai penghitung mundur waktu pemanasan bahan yang diuji. Stopwatch ditunjukkan pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.10 Stopwatch

10. Penjepit Bahan

Penjepit bahan digunakan sebagai alat penjepit bahan ketika diukur temperaturnya. Penjepit bahan dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Penjepit Bahan

11. Mesin *Polishing* dan *Grinding*

Mesin *Polishing* berfungsi untuk meratakan dan menghaluskan permukaan spesimen serta proses pemolesan spesimen menggunakan pasta pemoles (pasta alumina). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Islam Riau dan spesifikasinya sebagai berikut.

Model : *Precipolish series FTP-2M*

Jenis motor : *AC/550W-GP with inverter*

Diameter piringan : 300 mm

Kecepatan putaran : 0-450 rpm

Mesin *Polishing* dan *Grinding* dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.12 Mesin *Polishing* dan *Grinding*

12. Alat Uji Metalografi (Mikroskop)

Mikroskop digunakan untuk mengetahui struktur mikro dari matrial yang dihasilkan. Pada penelitian ini menggunakan mikroskop optic usb tipe Olympus U-MSSP4. Alat uji metalografi dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut. Penggunaan alat ini dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Islam Riau.



Gambar 3.13 Mikroskop Optik

13. Alat Uji Kekerasan (*Brinell*)

Alat uji ini digunakan untuk mengetahui tingkat kekerasan spesimen yang dihasilkan. Metode pengujian yang digunakan adalah metode pengujian kekerasan *Brinell* dengan menggunakan alat *Universal Hardness Tester* tipe DME-15-06004. Penggunaan alat ini dilakukan di Laboratorium Politeknik Caltex Riau. Alat uji kekerasan dapat dilihat pada Gambar 3.14 berikut



Gambar 3.14 Mesin Uji Kekerasan

14. Alat Uji Tarik

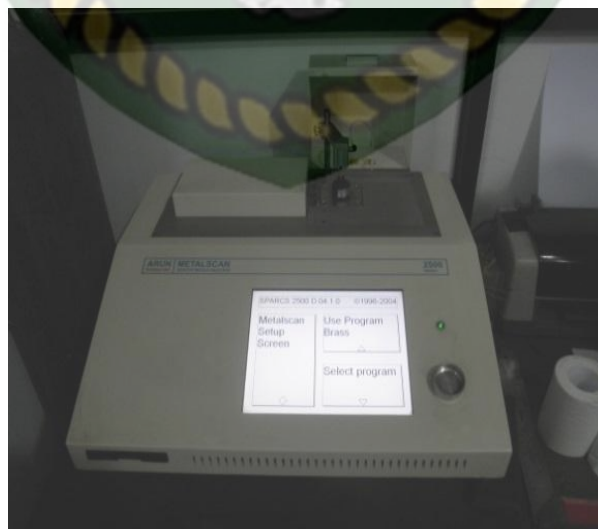
Alat uji tarik digunakan untuk mengetahui sifat mekanis dari spesimen yang dihasilkan, dimana sifat mekanis itu sendiri meliputi kekuatan tarik, pertambahan panjang dan pengecil luas penampang. Alat uji tarik yang digunakan adalah HUNG TA HT -8503. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Politeknik Caltex Riau. Alat uji tarik dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut.



Gambar 3.15 Mesin Uji Tarik

15. Alat Uji Komposisi Kimia

Alat uji komposisi kimia digunakan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung didalam material yang dibuat. Alat yang dipakai adalah Spectrometer ARL 3460. Penggunaan alat ini dilakukan di Laboratorium Material Politeknik Manufaktur Bandung. Alat uji komposisi kimia dapat dilihat pada Gambar 3.16 berikut.



Gambar 3.16 Spectrometer ARL 3460

16. Autosol

Autosol digunakan untuk menghilangkan bekas-bekas pengamplasan serta memberikan efek mengkilap pada permukaan spesimen. Autosol dapat dilihat pada Gambar 3.17



Gambar 3.17 Autosol

3.3.2 Bahan Penelitian

1. Plat dari jenis besi cor kelabu.
2. Mangan.
3. Cairan Etsa dan Pasta Alumina digunakan untuk melakukan pengamatan metalografi.
4. Alkohol 96% digunakan untuk membersihkan spesimen sebelum dilakukan etsa.

3.4 Persiapan Spesimen

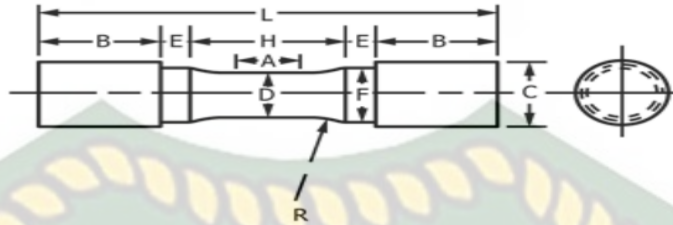
Langkah-langkah persiapan spesimen dalam penelitian ini adalah :

3.4.1 Proses Pembuatan Spesimen

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pembuatan spesimen adalah :

1. membuat pola, disesuaikan dengan bentuk coran.
2. mempersiapkan pasir cetak.
3. membuat cetakan dengan pasir.
4. Peleburan/pengecoran logam.
5. Penambahan unsur Mn.
6. Logam cair dituang kedalam cetakan.
7. Pendinginan dan pembekuan.
8. Cetakan pasir dibongkar.
9. Hasil coran dibersihkan dan diperiksa.
10. Material hasil coran selesai.
11. Selanjutnya material hasil coran dibentuk dengan menggunakan mesin bubut dengan ukuran standar spesimen yang akan diuji.
12. Untuk standar spesimen uji tarik yaitu ASTM E8 .

ASTM E8/E8M - 16a



| | Dimensions | | |
|--|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | Specimen 1 | Specimen 2 | Specimen 3 |
| | mm [in.] | mm [in.] | mm [in.] |
| D —Diameter | 12.5 ± 0.2 [0.500 \pm 0.010] | 20 ± 0.4 [0.750 \pm 0.015] | 30.0 ± 0.6 [1.25 \pm 0.02] |
| R —Radius of fillet, min | 25 [1] | 25 [1] | 50 [2] |
| A —Length of reduced parallel section, min | Shall be equal to or greater than diameter D | | |
| L —Overall length, min | 95 [3.75] | 100 [4] | 160 [6.375] |
| B —Length of end section, approximate | 25 [1] | 25 [1] | 45 [1.75] |
| C —Diameter of end section, approximate | 20 [0.75] | 30 [1.125] | 48 [1.875] |
| E —Length of shoulder, min | 6 [0.25] | 6 [0.25] | 8 [0.312] |
| F —Diameter of shoulder | 16.0 ± 0.4 [0.625 \pm 0.016] | 24.0 ± 0.4 [0.94 \pm 0.016] | 36.5 ± 0.4 [1.438 \pm 0.016] |
| H —length of reduced section plus fillets, min | 32 [1.25] | 38 [1.5] | 60 [2.25] |

Gambar 3.18 Standar spesimen uji tarik besi cor

Sumber: (ASTM E8M-16a)

3.4.2 Metode Pengecoran

1. Proses pengecoran dilakukan di CV. Sispra Jaya Logam.
2. Proses peleburan menggunakan dapur kupola.
3. Bahan dasar yaitu besi cor kelabu.
4. Proses penambahan unsur Mn pada peleburan sebanyak 1%, 2%, dan 2,5%.
5. Logam cair dituangkan kedalam panci dilakukan pada suhu $\pm 1.300^{\circ}\text{C}$.

3.4.3 Langkah-Langkah Pengecoran

Langkah-langkah pengecoran dilakukan sebagai berikut :

1. Pemanasan dilakukan terlebih dahulu supaya dapur kupola kering dan terhindar dari uap air. Hal ini dilakukan agar arang kayu dan kokas pembakarannya merata.
2. Arang kokas dan udara ditambahkan melalui blower.
3. Sesudah kokas terbakar habis selanjutnya masukkan besi kasar dan kepingan baja kedalam dapur dengan kapasitas 100 kg.
4. Beberapa menit baja atau besi yang mencair keluar dari lubang pengeluaran dan akan ditampung pada panci penampung.
5. Batu kapur ditambahkan kedalam dapur untuk pembentukan terak.
6. Reaksi silica akan terjadi bersama batu kapur selanjutnya besi kasar dan kokas baru dimasukkan kembali. ketika kokas baru ini sudah mulai terbakar, udara dimasukkan melalui blower.
7. Setelah logam mencair, logam cair dituang kedalam panci/*ladle* berkapasitas 10 kg kemudian diberikan batu kapur sehingga terak terangkat dan menggumpal kepermukaan.
8. Terak yang sudah menggumpal kepermukaan disingkupkan atau dibuang.
9. Masukkan mangan yang sudah ditimbang kedalam panci/*ladle*.
10. Aduk panci agar mangan dan logam cair tercampur.
11. Setelah beberapa saat logam cair dituang kedalam cetakan pasir.
12. Setelah logam cair memadat cetakan dibongkar dan benda hasil penuangan dikeluarkan.

13. Hasil penuangan didinginkan dengan udara secara perlahan sesuai suhu kamar

3.5 Metode Pengujian Bahan

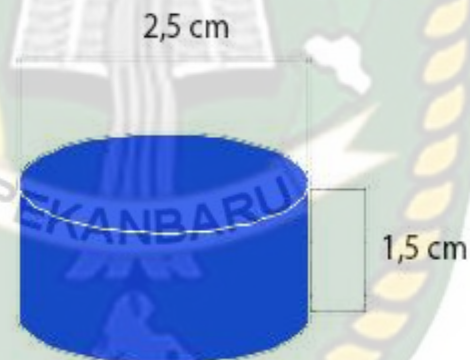
Metode pengujian yang dilakukan pada besi cor kelabu adalah sebagai berikut :

3.5.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan material besi cor kelabu tersebut. Metode yang dipakai dalam uji kekerasan adalah *Brinell Hardness Tester*. Alat pengujian kekerasan ini memakai indenter berbentuk piramid yang membuat jejak pada material dengan pembebanan tertentu. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Politeknik Caltex Riau. Dimana proses pengujian adalah sebagai berikut :

1. Siapkan spesimen uji yang telah diratakan dan dihaluskan pada sisi atas yang akan diuji dan sisi bawah sebagai landasan. (sisi spesimen harus tegak lurus antara sisi uji dan sisi landasan).
2. Tarik dan geser tuas 1 ke arah metode pengujian Brinell/Vickers sambil menggerakkan dan menahan tuas 2 pada titik A setelah tuas 1 bergerak keposisi metode pengujian kembalikan tuas 2 keposisi semula.
3. Pasang indenter Brinell dan kencangkan baut pengunci.
4. Tekan tombol beban sesuai dengan metoda pengujian.
5. Letakkan spesimen dibawah indenter.
6. Geser dan tahan tuas 2 pada titik A

7. Putar landasan uji searah jarum jam sampai indentor menyentuh spesimen.
8. Lepaskan tuas 2 untuk memberikan beban selama ± 30 detik.
9. Tarik tuas 2 keposisi titik A.
10. Putar landasan uji berlawanan arah jarum jam hingga spesimen bergerak menjauhi indentor.
11. Gerakkan tuas 2 keposisi semula.
12. Nyalakan lampu pada alat uji untuk melihat jejak penekanan.
13. Ukur dimensi jejak penekanan.
14. Matikan lampu pada alat uji.
15. Lepaskan beban dengan menekan salah satu tombol beban yang lain.



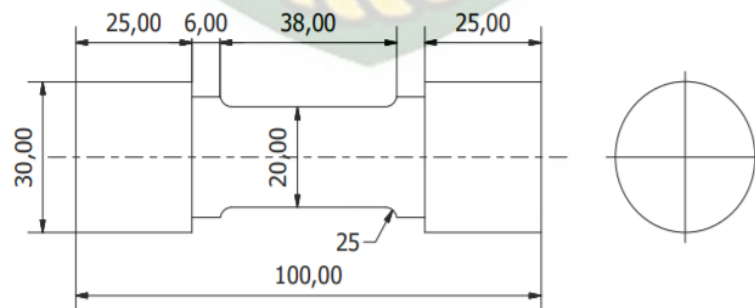
Gambar 3.19 Spesimen Uji Kekerasan

3.5.2 Pengujian Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Salah satu cara untuk mengetahui besaran sifat mekanis dari logam yaitu dengan uji tarik. Sifat mekanik yang dapat diketahui adalah kekuatan dan elastisitas dari logam tersebut. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Nilai kekuatan dan

elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva uji tarik. Dalam pengujian tarik, batang uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah. Pengujian tarik ini dilakukan di Laboratorium Politeknik Caltex Riau. Dimana proses pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mengukur diameter dan luas area spesimen.
2. Memasukkan data spesimen yang telah diukur ke komputer.
3. Menyalakan mesin uji tarik.
4. Membuka kepala penjepit (*clamping head*) dan memposisikan spesimen.
5. Menjepitkan spesimen kedalam kepala penjepit (*clamping head*).
6. Menyalakan mesin uji tarik.
7. Lama penarikan sampai spesimen tersebut patah.
8. Kurva penarikan akan tampil pada layar monitor tegangan dan regangan tarik.
9. Mematikan mesin uji tarik.
10. Melepaskan spesimen yang telah diuji dari penjepit (*clamping head*).
11. Lakukan pada spesimen berikutnya.



Gambar 3.20 Spesimen Uji Tarik

Keterangan :

D = 20 mm

R = 25 mm

L = 100 mm

B = 25 mm

C = 30 mm

E = 6 mm

H = 38 mm

3.5.3 Pengujian Konduktivitas Thermal

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai konduktivitas thermal besi cor kelabu. Metode yang digunakan dalam pengujian konduktivitas thermal ini adalah konduksi dengan cara manual menggunakan kompor listrik sebagai sumber kalor. Dimana proses pengujian adalah sebagai berikut :

1. Spesimen pengukuran konduktivitas thermal adalah silinder dengan diameter 1,5 cm dan tebal 5 cm, sebelum pengujian spesimen harus bersih.
2. Letakkan spesimen diatas kompor listrik dengan dialasi bagian atas dan bawah menggunakan kaca, untuk ukuran kaca sama dengan ukuran spesimen yang akan diuji.
3. Nilai konduktivitas thermal diukur dengan menerapkan sumber panas disatu titik spesimen.
4. Lama proses pengujian yaitu 3, 6, dan 9 menit.

5. Setelah selesai pengujian mencapai waktu yang ditentukan, ukur temperatur spesimen dan kaca menggunakan termokopel dan catat hasilnya dengan teliti menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{-k_{kaca} \times A_{kaca} (T_4 - T_3)}{L_{kaca}} = \frac{-k_{sampel} \times A_{sampel} (T_4 - T_3)}{L_{sampel}} \quad (3.1)$$

nilai $q_{kaca} = \text{nilai } q_{sampel}$

Dimana :

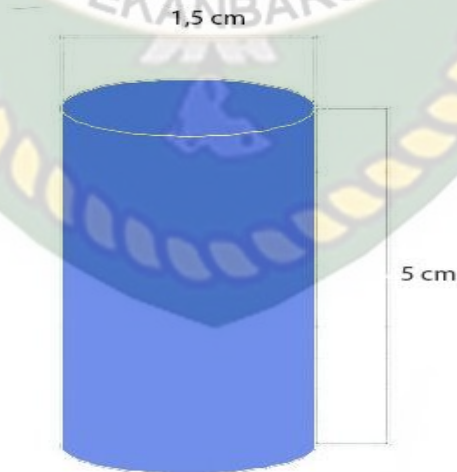
q = Energi kalor (Watt)

k = Konduktivitas thermal ($\text{W}/\text{m}^0\text{C}$)

T = Perbedaan suhu (^0C)

L = Ketebalan bahan (m)

A = Luas penampang (m^2)



Gambar 3.21 Spesimen Uji Konduktivitas Thermal

3.5.4 Pengamatan Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk pada spesimen cor hasil paduan. Struktur mikro yang terlihat akan dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan struktur mikronya. Adapun proses pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Siapkan spesimen uji yang telah diratakan dan dihaluskan pada permukaan atas yang akan di uji dan permukaan bawah sebagai landasan (sisi spesimen harus tegak lurus antara sisi uji dan sisi landasan).
2. Hubungkan kabel power mikroskop optik.
3. Hubungkan kabel power minitor.
4. Tekan tombol power pada posisi ON pada bagian belakang.
5. Nyalakan layar monitor.
6. Tentukan lensa pembesaran yang akan digunakan.
7. Letakkan spesimen tepat dibawah lensa pembesar.
8. Dorong tuas pencahayaan kearah atas sampai titik 10 secara perlahan-lahan.
9. Putar eretan A untuk menggerakkan spesimen naik-turun terhadap lensa untuk memunculkan gambar yang diinginkan terlihat pada layar monitor.
10. Putar eretan B untuk menggerakkan spesimen maju-mundur dan arah kiri-kanan terhadap lensa untuk memunculkan gambar yang diinginkan terlihat pada layar monitor.
11. Jauhkan spesimen dari lensa dengan memutar eretan A.

12. Putar sentral lensa searah jarum jam untuk mengganti lensa dengan pembesaran yang lebih besar atau sebaliknya.
13. Matikan cahaya lensa dengan mendorong kebawah tuas pencahayaan sampai titik P secara perlahan-lahan.
14. Tekan tombol power OFF pada bagian belakang mikroskop optik.
15. Matikan layar monitor.
16. Lepaskan kabel power.

3.5.5 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dan kadar setiap unsur yang terkandung didalam spesimen yang dihasilkan.

Prosedur pengujian komposisi (*spectrometer*) adalah sebagai berikut :

1. Meratakan benda uji dengan gerinda.
2. Membersihkan dan mengeringkan benda uji agar bebas dari lemak, kotoran, dan bekas tangan.
3. Memasang benda uji pada ruang penembakan.
4. Mengatur ketinggian penekanan sesuai dengan ketebalan benda uji.
5. Pastikan benda uji menutupi lubang penembakan.
6. Menutup pintu penembakan hingga terkunci dengan benar.
7. Memulai pengujian komposisi elemen paduan.
8. Membuka kolom analisis yang terdapat pada layer computer.
9. Memilih baris *routine analysis* dengan menggunakan *mouse printer*.

10. Kemudian memilih baris *unknown* % dengan cara mengklik garis tersebut atau dengan cara menekan tombol F2.
11. Memilih salah satu program yang sesuai dengan bahan yang akan diuji dengan cara mengklik *change task*.
12. Memastikan pada kolom *analytical progame* tertulis program yang kita tulis disisi paling kiri.
13. Mengklik *select* dan memilih juga program yang sesuai dengan bahan yang akan diuji.
14. Memilih kolom *sample indentifier*, lalu mengisi semua kotak dengan data-data pengujian yang akan dilakukan.
15. Melakukan penembakan (*sparking*) dengan cara mengklik *sample detail* ok atau dengan cara menekan tombol *enter* pada *keyboard*.
16. Mengubah posisi benda untuk melakukan penembakan berikutnya pada benda uji yang sama, sehingga tidak terjadi penembakan diarah yang sama. Kemudian melakukan penembakan sekali lagi dengan mengklik *analyze again* atau menekan tombol *enter*.
17. Memeriksa apakah data yang muncul dari beberapa kali sudah memenuhi standar deviasi yang di tentukan atau belum. Jika belum maka kembali kelangkah 16.
18. Mengklik *analysis complete* kemudian mengklik *continue*.
19. Mengklik *yes* pada perintah selanjutnya jika data akan disimpan dan mengklik *no* jika data tidak disimpan.
20. Mencetak data komposisi elemen paduan dalam bentuk dokumen.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Sebelum dilakukan pengujian, hasil coran terlebih dahulu dilakukan proses uji komposisi kimia. Besi cor kelabu pada proses pengecoran ditambahkan unsur mangan sebesar 1%, 2% dan 2,5%. Sehingga terdapat tiga material yang digunakan dengan variasi jumlah mangan yang berbeda-beda.

Dalam penelitian ini, ada lima pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian kekerasan, pengujian tarik, pengujian konduktivitas thermal, pengamatan metalografi dan uji komposisi kimia. Setelah diperoleh data dari proses pengujian, selanjutnya dilakukan pengolahan data dan perhitungan kemudian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

4.2 Hasil Komposisi Kimia

Komposisi kimia dilakukan menggunakan *Spectrometer Emisi Optik* dengan mesin uji *ARL 3460 Optical Emmision Spectrometer* di politeknik Manufaktur Bandung. Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dan kadar setiap unsur yang terkandung di dalam besi cor kelabu.

Data pengujian diperoleh dengan menunjukkan unsur-unsur yang terkandung di dalam besi cor kelabu. Hasil uji komposisi kima ini ditunjukkan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.1 Data Hasil Uji Komposisi Kimia Paduan 1% Mn.

| NO | Unsur/Element | Nilai (%) |
|----|----------------------|-----------|
| 1 | Carbon (C) | 3,888 |
| 2 | Silicon (Si) | 1,92 |
| 3 | Sulfur (S) | 0,116 |
| 4 | Phosphorus (P) | 1,121 |
| 5 | Manganese (Mn) | 0,961 |
| 6 | Nickel (Ni) | 0,04 |
| 7 | Chromium (Cr) | 0,10 |
| 8 | Molybdenum (Mo) | 0,0322 |
| 9 | Vanadium (V) | 0,027 |
| 10 | Copper (Cu) | 0,171 |
| 11 | Wolfram/Tungsten (W) | 0,001 |
| 12 | Titanium (Ti) | 0,017 |
| 13 | Tin (Sn) | 0,013 |
| 14 | Aluminium (Al) | 0,003 |
| 15 | Plumbum/Lead (Pb) | 0,000 |
| 16 | Antimony (Sb) | 0,012 |
| 17 | Niobium (Nb) | 0,000 |
| 18 | Magnesium (Mg) | 0,000 |
| 19 | Zinc (Zn) | 0,000 |
| 20 | Ferro/Iron (Fe) | 92,59 |

Tabel 4.2 Data Hasil Uji Komposisi Kimia Paduan 2% Mn.

| NO | Unsur/Element | Nilai (%) |
|----|----------------------|-----------|
| 1 | Carbon (C) | 3,862 |
| 2 | Silicon (Si) | 2,65 |
| 3 | Sulfur (S) | 0,075 |
| 4 | Phosphorus (P) | 0,079 |
| 5 | Manganese (Mn) | 1,977 |
| 6 | Nickel (Ni) | 0,03 |
| 7 | Chromium (Cr) | 0,10 |
| 8 | Molybdenum (Mo) | 0,0286 |
| 9 | Vanadium (V) | 0,017 |
| 10 | Copper (Cu) | 0,211 |
| 11 | Wolfram/Tungsten (W) | 0,002 |
| 12 | Titanium (Ti) | 0,017 |
| 13 | Tin (Sn) | 0,023 |
| 14 | Aluminium (Al) | 0,005 |
| 15 | Plumbum/Lead (Pb) | 0,000 |
| 16 | Antimony (Sb) | 0,000 |
| 17 | Niobium (Nb) | 0,000 |
| 18 | Magnesium (Mg) | 0,000 |
| 19 | Zinc (Zn) | 0,000 |
| 20 | Ferro/Iron (Fe) | 90,92 |

Tabel 4.3 Data Hasil Uji Komposisi Kimia Paduan 2,5% Mn.

| NO | Unsur/Element | Nilai (%) |
|----|----------------------|-----------|
| 1 | Carbon (C) | 3,793 |
| 2 | Silicon (Si) | 2,60 |
| 3 | Sulfur (S) | 0,074 |
| 4 | Phosphorus (P) | 0,098 |
| 5 | Manganese (Mn) | 2,498 |
| 6 | Nickel (Ni) | 0,06 |
| 7 | Chromium (Cr) | 0,28 |
| 8 | Molybdenum (Mo) | 0,0306 |
| 9 | Vanadium (V) | 0,022 |
| 10 | Copper (Cu) | 0,476 |
| 11 | Wolfram/Tungsten (W) | 0,006 |
| 12 | Titanium (Ti) | 0,022 |
| 13 | Tin (Sn) | 0,016 |
| 14 | Aluminium (Al) | 0,009 |
| 15 | Plumbum/Lead (Pb) | 0,000 |
| 16 | Antimony (Sb) | 0,006 |
| 17 | Niobium (Nb) | 0,000 |
| 18 | Magnesium (Mg) | 0,001 |
| 19 | Zinc (Zn) | 0,001 |
| 20 | Ferro/Iron (Fe) | 90,01 |

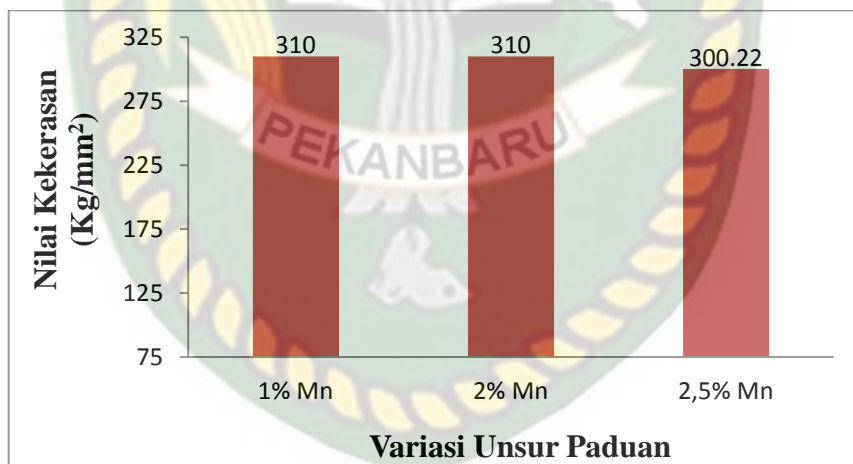
Dari tabel hasil pengujian diatas diketahui terdapat kenaikan mangan yang signifikan. Pengaruh penambahan mangan pada besi cor kelabu terhadap komposisi kimia adalah naiknya kadar mangan pada komposisi kimia hasil paduan.

4.3 Kekerasan Material

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *brinell*. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai kekerasan pada besi cor kelabu dengan pembebanan 750 kg. Adapun data hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.1 berikut.

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Brinell*

| NO | Paduan (%) | d (mm) | P (kg) | D (mm) | Kekerasan Brinell (HBW) (Kg/mm ²) |
|----|------------|--------|--------|--------|---|
| 1 | 1% Mn | 0,272 | 750 | 5 | 310 |
| 2 | 2% Mn | 0,542 | 750 | 5 | 310 |
| 3 | 2,5% Mn | 1,565 | 750 | 5 | 300,22 |



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan

Nilai kekerasan material pada penambahan unsur paduan 1% Mn memiliki nilai sebesar 310 HBW. Nilai kekerasan pada penambahan unsur paduan 2% Mn sebesar 310 HBW, sedangkan nilai kekerasan pada penambahan unsur 2,5% sebesar 300,22 HBW.

Dari analisis diatas dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan penambahan unsur paduan 1% dan 2% Mn memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan spesimen dengan penambahan unsur 2,5% Mn, Namun penurunan nilai kekerasan pada spesimen 2,5% Mn tidak terlalu signifikan.

4.4 Kekuatan Tarik Dan Modulus Elastisitas

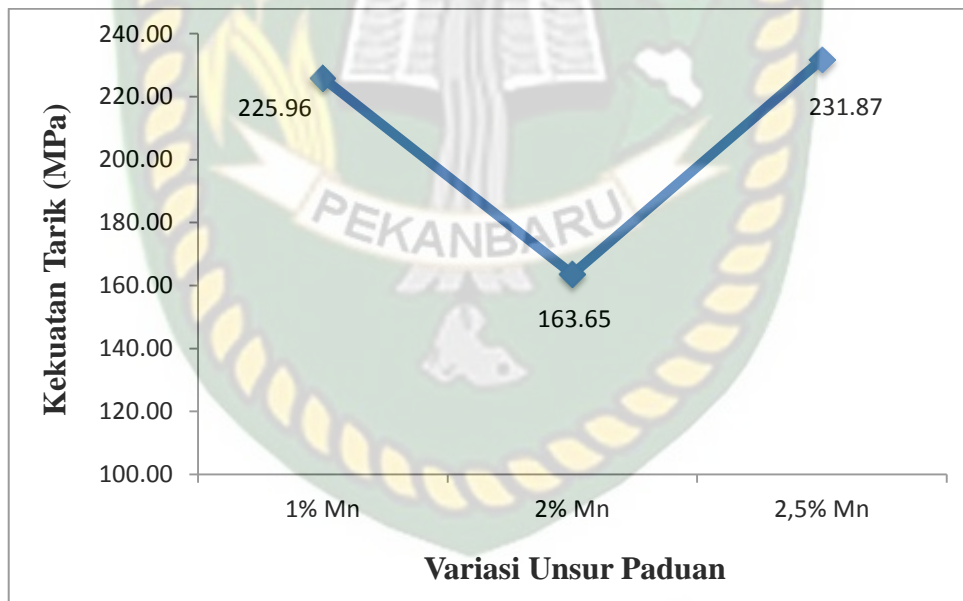
Pengujian tarik dilakukan menggunakan UTM (*universal testing machine*) dengan merk HUNG TA HT-8503 di Politeknik Caltek Riau. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dari material besi cor kelabu sebagai bahan uji dalam penelitian ini. Hasil pengujian tarik diperoleh kekuatan tarik (*ultimate strenght*) maupun kekutan luluh (*yield strenght*). Keliatan/keuletan bahan yang ditunjukkan dengan persentase perpanjangan dan persentase kontraksi atau reduksi penampang (*reduction of area*).

Data pengujian diperoleh dalam tiga variasi komposisi pengujian yaitu spesimen besi cor kelabu dengan penambahan unsur paduan 1% Mn, spesimen besi cor kelabu dengan ditambahkan unsur paduan 2% Mn dan spesimen besi cor kelabu dengan ditambahkan unsur paduan 2,5% Mn. Data hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

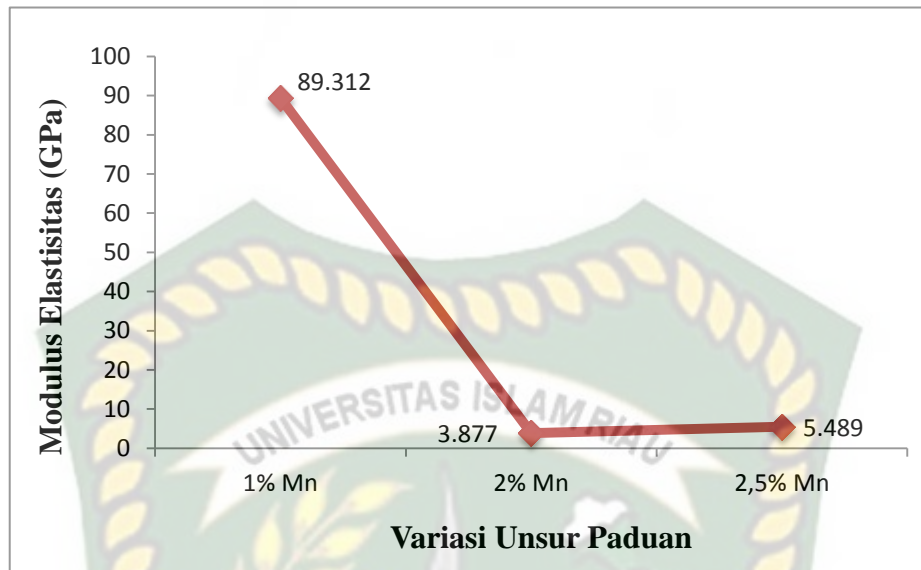
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Tarik

| NO | Paduan (%) | F (KN) | Area (mm ²) | Tensile Strength (MPa) | Elongtion (%) | Modulus Elastisitas (GPa) |
|----|------------|--------|-------------------------|------------------------|---------------|---------------------------|
| 1 | 1% Mn | 57,5 | 254,47 | 225,96 | 0,253 | 89,312 |
| 2 | 2% Mn | 46.52 | 284,26 | 163,65 | 4,221 | 3,877 |
| 3 | 2,5% Mn | 48,98 | 211,24 | 231,87 | 4,224 | 5,489 |

Pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut ini kita dapat melihat perbandingan nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas dari besi cor kelabu.



Gambar 4.2 Grafik Kekuatan Tarik



Gambar 4.3 Grafik Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang dilakukan, kekuatan tarik pada material dengan penambahan unsur paduan 1% Mn sebesar 225,96 MPa dan nilai modulus elastisitas sebanyak 89,312 GPa. Material hasil coran dengan penambahan unsur paduan 2% Mn memiliki kekuatan tarik sebesar 163,65 MPa dan nilai modulus elastisitas sebanyak 3,877 GPa. Sedangkan material dengan penambahan unsur paduan 2,5% Mn memiliki kekuatan tarik sebesar 231,87 MPa dan nilai modulus elastisitas sebanyak 5,465 GPa.

Berdasarkan hasil uji tarik yang dilakukan pada material dengan penambahan unsur paduan mangan, terjadi perubahan sifat mekanis baik dari nilai kekuatan tarik maupun nilai modulus elastisitas material. Penambahan unsur mangan yang semakin banyak akan meningkatkan pembentukan karbida yang kemudian akan berimbans pada pembentukan pearlit yang semakin banyak pula.

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa material dengan penambahan unsur paduan 2,5% mangan dalam besi cor kelabu mampu

meningkatkan kekuatannya, namun pada material dengan penambahan unsur paduan 2% Mn kekuatan besi cor kelabu mengalami penurunan. Umumnya semakin tinggi kandungan mangan pada besi cor kelabu maka semakin banyak karbida yang terbentuk yang juga akan menyebabkan terbentuknya perlit yang lebih banyak efeknya akan meningkatkan kekuatan besi cor kelabu. Penurunan kekuatan tarik ini bisa disebabkan karena mangan pada material dengan penambahan unsur paduan 2% Mn penyebarannya tidak merata jika dibandingkan dengan paduan 2,5% Mn. Akibatnya ada bagian mangan yang kaya/berlebih tetapi ada juga bagian yang miskin/sedikit mangan, sehingga area patahan uji tarik terjadi pada area yang miskin mangan.

4.5 Konduktivitas Thermal

Pengujian konduktivitas thermal dilakukan menggunakan kompor listrik dengan merk MASPION S-301 di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Pengujian konduktivitas thermal dilakukan untuk mengetahui laju konduksi thermal dari material besi cor kelabu sebagai bahan uji dalam penelitian ini. Data hasil uji konduktivitas thermal dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Data Hasil Uji Konduktivitas Thermal

| Paduan (%) | Waktu (Menit) | Arus (Watt) | T ₁ (°C) | T ₂ (°C) | T ₃ (°C) | T ₄ (°C) | Nilai Konduktivitas Thermal (W/m°C) |
|------------|---------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 1% Mn | 3 | 600 | 36,7 | 34,5 | 33,8 | 33,7 | 21,8496 |
| | 6 | 600 | 62,3 | 59,8 | 54,1 | 51,9 | |
| | 9 | 600 | 68,9 | 62,1 | 58,7 | 54,8 | |
| Rata-rata | | | 55,96 | 52,13 | 48,86 | 46,8 | |
| 2% Mn | 3 | 600 | 40,2 | 39,4 | 39,3 | 38,5 | 26,1529 |
| | 6 | 600 | 58,9 | 53,4 | 48,8 | 47,5 | |
| | 9 | 600 | 81,3 | 76,7 | 71,2 | 60,2 | |
| Rata-rata | | | 60,13 | 56,5 | 53,1 | 48,73 | |
| 2,5% Mn | 3 | 600 | 54,8 | 48,9 | 47,6 | 43,4 | 23,2012 |
| | 6 | 600 | 78,2 | 66,9 | 58,2 | 55,7 | |
| | 9 | 600 | 98,3 | 86,4 | 76,4 | 72,7 | |
| Rata-rata | | | 77,1 | 67,4 | 60,73 | 57,26 | |

Dari data hasil percobaan diatas, dapat dihitung nilai konduktivitas thermal pada material bahan besi cor kelabu dengan penambahan unsur 1%, 2%, dan 2,5% Mn sebagai berikut.

$$Q_{kaca} = Q_{besi\ cor}$$

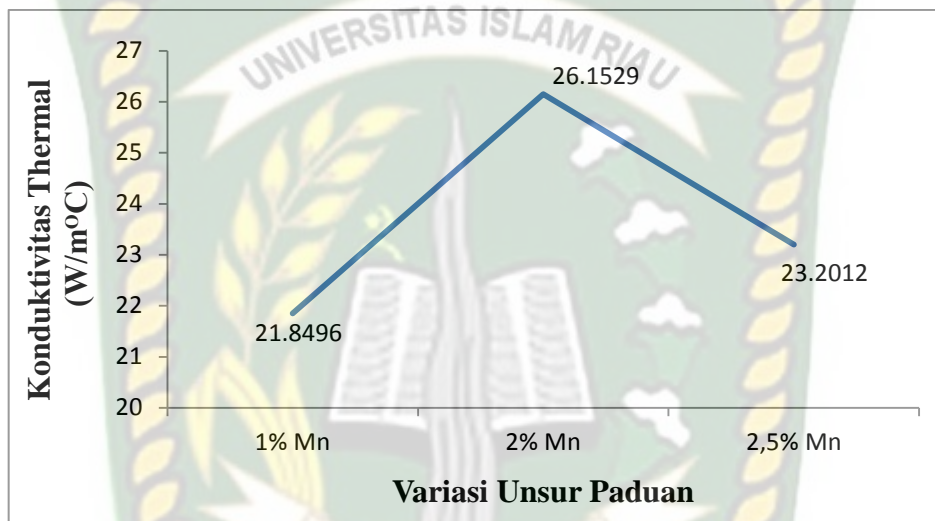
$$\frac{-K_{kaca} \times A_{kaca} (T_4 - T_1)}{L_{kaca}} = \frac{-K_{besi\ cor} \times A_{besi\ cor} (T_3 - T_2)}{L_{besi\ cor}}$$

$$\frac{-0,78 \times 0,017766 (46,8 - 55,96)}{0,005} = \frac{-K_{besi\ cor} \times 0,01766 (48,86 - 52,13)}{0,05}$$

$$-25,23543 = -1,15496 K_{besi\ cor}$$

$$K_{besi\ cor} = 21,8496\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

Adapun perbandingan nilai konduktivitas thermal material besi cor kelabu dengan penambahan unsur Mn dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai Konduktivitas Thermal

Berdasarkan hasil dari pengujian konduktivitas thermal yang dilakukan, menunjukkan bahwa material dengan penambahan unsur paduan 1% Mn memiliki nilai konduktivitas thermal sebesar 21,8496 W/m°C, merupakan nilai terendah dibandingkan dengan material lainnya.

Material dengan penambahan unsur paduan 2% Mn memiliki nilai konduktivitas thermal sebesar 26,1529 W/m°C, naik 4,24% dibandingkan dengan material dengan penambahan unsur 1% Mn.

Material dengan penambahan 2,5% Mn memiliki nilai konduktivitas thermal sebesar 23,2012 W/m°C, turun sebanyak 2,95% dibandingkan dengan

nilai material dengan penambahan unsur paduan 2% Mn. Tetapi nilai ini juga lebih tinggi dibandingkan material dengan penambahan unsur 1% Mn.

Dari analisis diatas dapat disimpulkan bahwa material dengan penambahan unsur paduan berupa Mn memiliki nilai rata-rata konduktivitas thermal yang lebih tinggi. Hal ini mungkin dipengaruhi oleh grafit, karena grafit mempunyai tahanan thermal terbesar sehingga pada besi cor kelabu konduktivitas thermalnya dipengaruhi oleh besar kecilnya distribusi dan bentuk potongan permukaan grafit pada besi cor kelabu. Nilai konduktivitas thermal tertinggi terdapat pada material dengan penambahan unsur 2% Mn sebesar 26,1529 W/m⁰C. Namun penurunan nilai konduktivitas thermal pada masing-masing variasi paduan tidak terlalu signifikan.

4.6 Hasil Pengamatan Metalografi

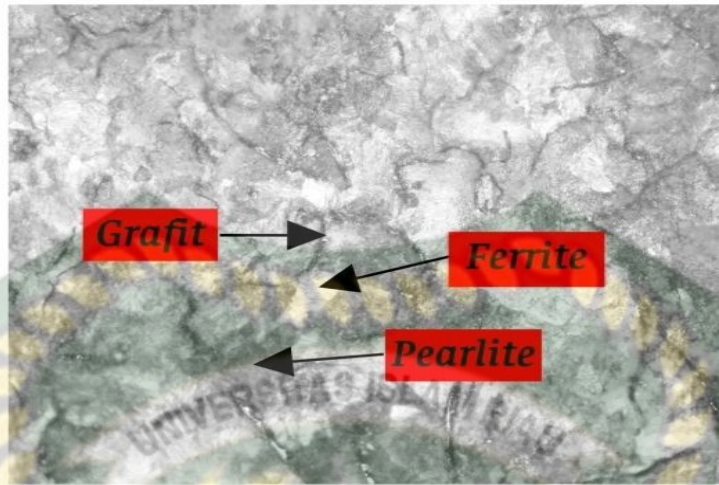
Pengamatan struktur mikro yang dilakukan dengan mengambil foto mikro pada material besi cor kelabu menggunakan mesin uji *MIKROSKOP OPTIK* Laboratorium Material Teknik Universitas Islam Riau dengan pembesaran 50X. Pengamatan yang dilakukan pada struktur mikro dilakukan dengan mengambil foto mikro pada material besi cor kelabu awal penambahan unsur paduan 1% Mn, kedua 2% Mn dan ketiga 2,5% Mn. Selanjutnya masing-masing foto mikro diamati struktur butir dan batas butir untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur pada struktur mikro material.

Gambar 4.5 ini menunjukkan foto struktur mikro pada pembesaran 50x dari material dengan penambahan unsur paduan Mn. Berdasarkan hasil foto

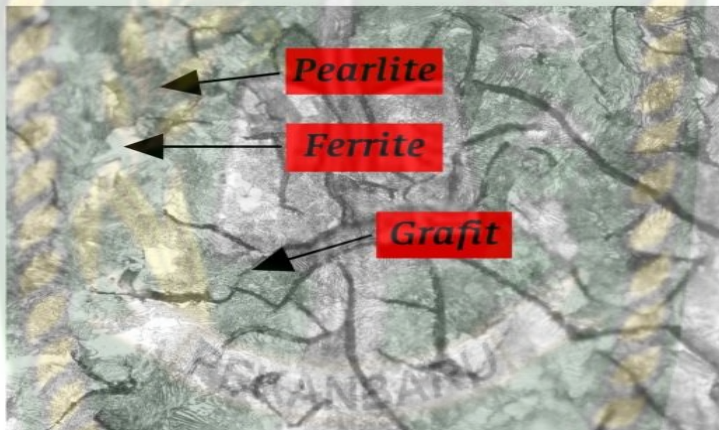
mikroskopik tersebut, didapat bagian terang adalah ferrite dan bagian yang gelap adalah pearlite.

Struktur mikro pada gambar 4.5 (a) (b) dan (c) menunjukkan bahwa metode pencampuran unsur mangan yang dilakukan tidak sesuai dengan perencanaan awal. Hal ini di tunjukkan pada struktur mikro (c) atau campuran 2,5% Mn memiliki matrik pearlit yang lebih banyak sehingga akan mempengaruhi kekerasan dan sifat mekanik dari material itu sendiri.

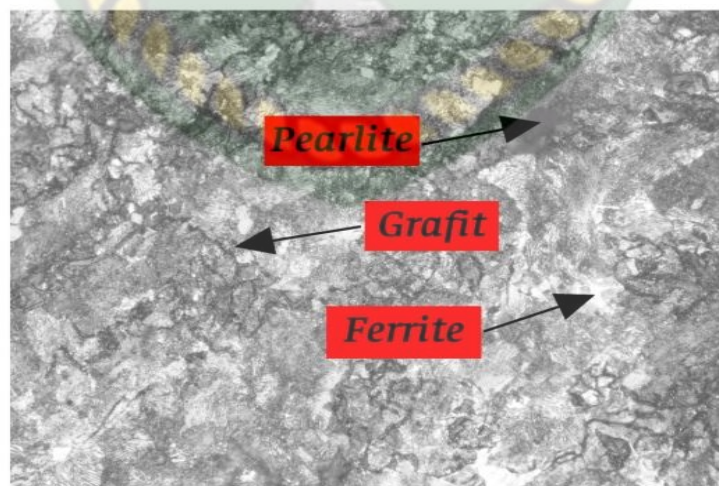
Biasanya semakin besar penambahan unsur paduan semakin mampu meningkatkan kekerasan suatu material. Meskipun demikian peningkatan sifat mekanik lebih lanjut dengan cara tersebut sangat sulit dilakukan lagi. Hal ini disebabkan oleh kelarutan unsur paduan dalam matrik memiliki batas tertentu. Penambahan unsur paduan yang melebihi batas kelarutan menyebabkan unsur tersebut akan terdapat dalam keadaan bebas dan menurunkan sifat mekanik material. Dengan demikian unsur mangan tidak dapat larut padat dengan sempurna dalam matrik. Meskipun dengan fasa matrik yang sama, tetapi kandungan unsur mangan dan unsur lainnya tiap campuran berbeda. Sehingga tiap-tiap campuran memiliki sifat mekanik yang berbeda pula. Foto struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.5 Foto Struktur Mikro Pembesaran 50X: (a)Paduan 1% Mn, (b)Paduan 2% Mn, (c)Paduan 2,5% Mn.

Dari hasil pengujian metalografi pada spesimen besi cor kelabu menunjukkan bahwa bentuk grafit yang ditemukan pada gambar diatas berbentuk grafit serpih. Pada gambar diatas distribusi grafit ditemukan dalam jumlah yang hampir sama banyak.

Pengamatan struktur mikro spesimen yang di etsa dengan nital menunjukkan bahwa terdapat struktur galap-terang berselang seling yang merupakan ciri khas pearlite. Struktur berwarna putih/terang berupa fasa ferrite. Pearlite memiliki sifat keras dan ulet sedangkan ferrite memiliki sifat lunak dan ulet. Fasa matrik yang terdapat pada spesimen besi cor kelabu adalah pearlit, selain pearlite terdapat pula grafit serpih + ferrite bebas dalam jumlah yang lebih rendah dengan sifat agak getas yang dikarenakan ujung-ujung grafit berbentuk tajam, akibatnya konsentrasi tegangan tinggi sehingga mudah patah.

Dari semua pengujian yang telah dilakukan diatas dapat dilihat pada Tabel berikut :

| NO | Paduan (%) | Tensile Strength (MPa) | Kekerasan (HBW) | Modulus Elastisitas (GPa) | Konduktivitas Thermal (W/m°C) |
|----|------------|------------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|
| 1 | 1% Mn | 225,96 | 310 | 89,312 | 21,8496 |
| 2 | 2% Mn | 163,65 | 310 | 3,877 | 26,1529 |
| 3 | 2,5% Mn | 231,87 | 300,22 | 5,489 | 23,2012 |

Berdasarkan hasil penelitian dari variasi mangan diperoleh hasil terbaik adalah komposisi 2% Mn, karena memiliki nilai kekerasan, modulus elastisitas dan nilai konduktivitas thermal yang tinggi. Karena didalam penelitian ini nilai modulus elastisitas yang rendah dan nilai konduktivitas thermal yang tinggi sangat diperlukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian percobaan dan analisa yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan mengenai pengaruh penambahan unsur paduan krom dan nikel pada besi cor kelabu antara lain sebagai berikut.

1. Dengan penambahan Mn pada material besi cor kelabu, dapat diketahui sebagian besar matriks yang terbentuk pada struktur mikro adalah ferrite dan pearlite.
2. Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada material paduan 2,5% Mn sebesar 225,96 MPa, sedangkan pada material 2% Mn memiliki kekuatan tarik terendah sebesar 163,65 MPa.
3. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada material 1% Mn dan 2% Mn sebesar 310 Kg/mm², sedangkan material 2% Mn memiliki kekerasan terendah sebesar 310 Kg/mm².
4. Nilai modulus elastisitas terendah terdapat pada material material 2% Mn sebesar 3,877 Gpa, sedangkan pada material 1% Mn memiliki modulus elastisitas tertinggi sebesar 89,312 GPa.
5. Nilai konduktivitas thermal tertinggi terdapat pada material 2% Mn sebesar 26,1529 W/m⁰C, sedangkan pada material 1% Mn memiliki konduktivitas thermal terendah sebesar 21,8496 W/m⁰C.

6. Dari seluruh data hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa persentase terbaik penambahan unsur mangan adalah sebanyak 2%, karena menghasilkan modulus elastisitas terendah, konduktivitas termal tertinggi, dan kekerasan yang tinggi. Nilai kekerasan 310 Kg/mm², nilai modulus elastisitas 3,877 Gpa, nilai konduktivitas thermal 26,1529 W/m^oC, nilai kekuatan tarik 163,65 MPa, dan struktur mikro berupa ferrite dan pearlite dengan bentuk grafit yang sedikit lebih besar.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan penulis sehubungan dengan penelitian ini adalah peneliti menyarankan kepada kalangan akademis, praktisi bahwa :

1. Untuk pengembangan lebih lanjut perlu kiranya dilakukan penelitian dengan menambahkan unsur lain pada besi cor kelabu.
2. Karena banyaknya biaya yang dibutuhkan pada pengujian dan pembuatan spesimen maka sebaiknya dosen/mahasiswa mempertimbangkan jumlah spesimen yang akan diuji.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfijar Julian dan Purnomo, 2006. *Pengembangan Material Tromol Rem Bus/Truk Produk UKM Lokal. Artikel* (diakses 2019).
- Anonim. 1987. *Manual book of ASTM Standart, American Society for Testing Material, Piladelpia.PA.*
- Arda. Pengertian, *Klasifikasi, Tipe Besi Cor-Tuang, Cast Iron*. Retrieved from <http://arda.biz/metalurgi/besi-cor-cast-iron>
- ASM Handbook. 1992. *Metallography And Microstructures. Volume Nine.* American Society For Metal.
- Binudi, R. Adjiantoro, B. 2014. *Pengaruh Unsur Ni, Cr dan Mn Terhadap Sifat Mekanik Baja Kekuatan Tinggi Berbasis Laterit.* Tangerang Selatan.
- Callister, W. D. and Appendix, B. 2003. *Material Science and Engineering and Introduction.* John Wiley & Sons, Inc.
- Callister, W. D. 1940. *Material Science and Engineering and Introduction.* New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Darmadi Wahyu. 2015. *Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pada Besi Cor.* Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Dieter, G. E. 1986. *Metalurgi Mekanik.* Jakarta: Erlangga.

Gunawan, M. S. 2016. *Pengaruh Penambahan Kromium (Cr) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Ni Melalui Proses Pengecoran Menggunakan Electric ARC Furnace*. ITSN. Surabaya.

J. P. Holman. 1993. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga

J. P. Holman. *Heat Transfer. Eight Edition*.

Purnomo dan Alfajar. 2006. "*Pengembangan Material Tromol Rem Bus/Truk UKM Lokal*". UNIMUS.

Suarsana, I. K. (2017). *Ilmu Material Teknik*, 47-52.

Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam*. Jilid 2. Jakarta. Departemen Pendidikan Nasional.

Suprihanto, A. Satrio D, Dkk. 2007. *Pengaruh Penambahan Unsur Cr dan Cu Terhadap Kekuatan Tarik Besi Cor Kelabu FC20*. Semarang: Teknik Mesin Undip.

Surdia, T. Saito, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.

Umardani dan Nurferdian. 2009. *Pengaruh Penambahan Kandungan Silicon Pada Besi Cor Kelabu Dengan Metode Fluiditas Strip Mould Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro*. Semarang: Teknik Mesin Undip.

Yunus, A. dan Cengel. 1998. *Heat Transfer, A Practical Approach*. McGraw-Hill. ISBN 0-07-115223-7.