

SKRIPSI

KARAKTERISTIK PATAH DAN KETAHANAN LELAH BESI COR *MALLEABLE*

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



M DZAKY HAFIDZ

03051281823046

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2022

SKRIPSI

KARAKTERISTIK PATAH DAN KETAHANAN LELAH BESI COR *MALLEABLE*

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH:
M DZAKY HAFIDZ
03051281823046**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2022

HALAMAN PENGESAHAN

KARAKTERISTIK PATAH DAN KETAHANAN LELAH BESI COR *MALLEABLE*

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

M DZAKY HAFIDZ

03051281823046

Indralaya, Agustus 2022

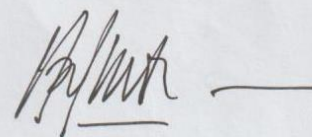
Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



The stamp is circular with a purple border. The text inside the stamp reads: 'KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, DAN KEMERDEKAAN BERKUALITAS' at the top, 'UNIVERSITAS SRIWIJAYA' in the center, and 'FAKULTAS TEKNIK' at the bottom. A large, stylized handwritten signature in black ink is written over the stamp.

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hendri Chandra', followed by a horizontal line.

Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.
NIP. 196004071990031003

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

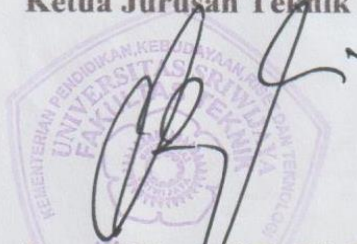
SKRIPSI

NAMA : M DZAKY HAFIDZ
NIM 03051281823046
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : KARAKTERISTIK PATAH DAN KETAHANAN
LELAH BESI COR *MALLEABLE*.

DIBUAT TANGGAL : 8 SEPTEMBER 2021

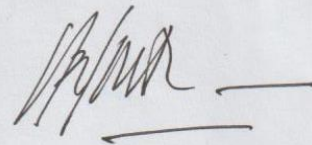
SELESAI TANGGAL: 28 JULI 2022

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yan, S.T., M. Eng., Ph. D.
NIP. 197112251997021001

Indralaya, Agustus 2022
Diperiksa dan Disetujui oleh:
Pembimbing



Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T
NIP.196004071990031003

HALAMAN PERSETUJUAN

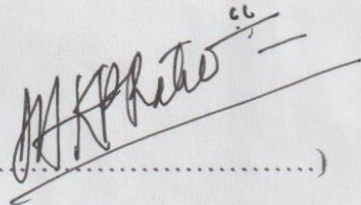
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “KARAKTERISTIK PATAH DAN KETAHANAN LELAH BESI COR *MALLEABLE*” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 28 Juli 2022.

Palembang, Agustus 2022

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi


Ketua :

1. Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T
NIP. 196307191990032001

()

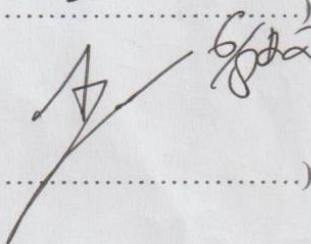
Sekretaris :

2. Nurhabibah Paramitha Eka Putri, S.T, M.T
NIP. 198911172015042003

()

Anggota :

3. Agung Mataram, S.T, M.T, Ph.D
NIP. 197901052003121002

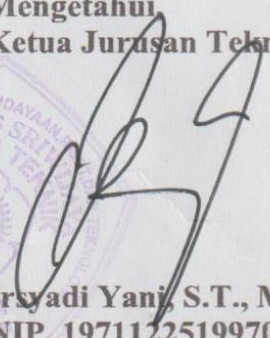
()

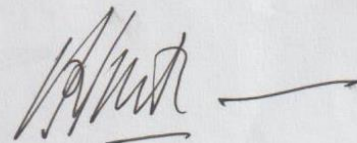
Palembang, Agustus 2022

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Diperiksa dan disetujui oleh :
Pembimbing




Irsyadi Yanji, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001



Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.
NIP. 196004071990031003

KATA PENGANTAR

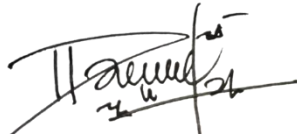
Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi yang berjudul “Karakteristik Patah dan Ketahanan Lelah Besi Cor *Malleable*”, disusun untuk melengkapi salah satu syarat mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terimakasih yang tak terhingga atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan proposal ini kepada:

1. Gunadi dan Sri Andriani, kedua orang tua penulis yang telah memberikan do'a dan dukungan.
2. Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T. selaku dosen pembimbing.
3. Ketua jurusan, dosen-dosen, dan jajaran staf dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T, selaku dosen PA penulis.
5. Faris, Rafi dan Adib selaku saudara penulis yang selalu memberikan semangat.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam hal pembelajaran khususnya bagi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Indralaya, Agustus 2022



M Dzaky Hafidz

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : M Dzaky Hafidz

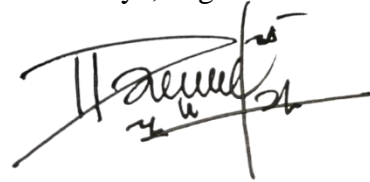
NIM : 03051281823046

Judul : Karakteristik Patah Dan Ketahanan Lelah Besi Cor *Malleable*.

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (Corresponding author)

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, Agustus 2022

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M Dzaky Hafidz', with a date '20/8/22' written below it.

M Dzaky Hafidz

NIM. 03051281823046

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama: M Dzaky Hafidz

NIM : 03051281823046

Judul : Karakteristik Patah Dan Ketahanan Lelah Besi Cor *Malleable*.

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian, saya buat pernyataan ini dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan siapapun.



Indralaya, Agustus 2022



M Dzaky Hafidz

NIM. 03051281823046

RINGKASAN

KARAKTERISTIK PATAH DAN KETAHANAN LELAH BESI COR
MALLEABLE.

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, 28 Juli 2022

M Dzaky Hafidz : Dibimbing oleh Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

KARAKTERISTIK PATAH DAN KETAHANAN LELAH BESI COR
MALLEABLE.

XLII+40 Halaman, 6 Tabel, 17 gambar.

RINGKASAN

Seiring dengan perkembangan teknologi yang begitu pesat, khususnya di bidang industri. Bahan utama operasional atau bahan baku produksi industri dengan penggunaan besi cor semakin besar. Salah satunya besi cor *malleable*, pada industri konstruksi dan produksi di teknik mesin, besi cor jenis ini adalah salah satu material yang sangat di butuhkan. Walaupun besi cor *malleable* memiliki mampu tempa yang sangat baik. Seiring dengan pemakaian material dengan waktu yang cukup lama, sifat mekanik pada besi cor *malleable* juga akan semakin menurun, karena beban yang diterima besi cor *malleable* akan melebihi beban maksimum material jika digunakan secara terus-menerus dengan waktu yang lama, sehingga dapat terjadinya kegagalan pada material besi cor *malleable* tersebut. Salah satu kegagalan yang sering terjadi adalah kegagalan *fatigue*, Maka daripada itu dalam penggunaan besi cor *malleable* perlu diketahui jumlah tegangan *fatigue* yang dapat diterima oleh material tersebut dan kemampuan material dalam menerima pembebanan. Pada pengujian Metalografi yang mana yang diamati adalah struktur mikro dari besi cor *malleable* tampak bahwa besi cor *malleable* memiliki grafit berbentuk *rosette* dan dikelilingi oleh matrix ferrit hal ini menandakan spesimen merupakan besi cor *malleable* berjenis ferritic.

Pada pengujian *fatigue*, menggunakan pembebanan yang berupa besar sudut yang bermacam-macam, yaitu sudut 1°, 2°, 3°, 4° dan 5°. Dari data yang diperoleh diketahui bahwa, semakin besar sudut yang diberikan maka ketahanan lelah yang dimiliki oleh spesimen akan semakin menurun. Hal ini dapat dilihat pada sudut pembebanan 1° waktu patah adalah 16543 detik dengan tegangan 100,4 MPa membutuhkan siklus sebesar 827150 siklus, pada sudut 2° dengan tegangan 200,8 MPa memiliki waktu patah 7653 detik dan siklus sebesar 382650 siklus, pada sudut 3° dengan tegangan 307,1 MPa memiliki waktu patah 648 detik dan 32400 siklus, pada sudut 4° dengan tegangan 407,1 MPa memiliki waktu patah 259 detik dan siklus sebesar 12950 siklus. Sedangkan untuk sudut 5° dengan tegangan 513,8 MPa mengalami waktu patah yang sangat cepat sekali yaitu 23 detik dengan siklus 1150 siklus. Siklus merupakan banyaknya putaran yang dilakukan oleh mesin uji lelah agar spesimen mengalami patahan. Pada sudut pembebanan 5° terjadi perpatahan *fatigue* dengan sangat cepat, hal ini karena nilai tegangan pada sudut pembebanan 5° lebih besar dari nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* pada besi cor malleable, menyebabkan proses patah pada pengujian *fatigue* sangat cepat terjadi. Dari kurva S-N didapatkan nilai *fatigue limit* besi cor *malleable* yaitu berada pada tegangan dibawah 100,4 MPa. Pengujian SEM pada besi cor *malleable* dapat dilihat permukaan dari patahan bahwa patah yang terjadi adalah patah transgranular, yaitu patah yang terjadi melalui batas-batas butir. Juga dilihat dari pengamatan visual pada permukaan patahan besi cor *malleable*, semakin kecil sudut pembebanan maka akan semakin besar area perambatan retak yang dibuktikan dengan adanya *beachmarks*.

Kata Kunci : Batas Lelah, *Beachmarks*, Besi Cor *Malleable*, Uji Lelah, Kurva S-N, SEM.

SUMMARY

FRACTURE CHARACTERISTIC AND FATIGUE RESISTANCE OF MALLEABLE CAST IRON.

Scientific paper in the form of Thesis, 28 Juli 2022

M Dzaky Hafidz : Suvervised by Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

FRACTURE CHARACTERISTIC AND FATIGUE RESISTANCE OF MALLEABLE CAST IRON.

XLII+40 Pages, 6 Tables, 17 images.

SUMMARY SIFAT

Along with the rapid development of technology, especially in the industrial field. The main operational material or raw material of industrial production with the use of cast iron is getting bigger and bigger. One of them is malleable cast iron, in the construction and production industries in mechanical engineering, this type of cast iron is one of the materials that is needed. Although malleable cast iron has excellent forging. Along with the use of materials for a long time, the mechanical properties of malleable cast iron will also decrease, because the load received by malleable cast iron will exceed the maximum load of the material if used continuously for a long time, so that failures can occur in the malleable cast iron material. One of the failures that often occurs is fatigue failure, therefore in the use of malleable cast iron it is necessary to know the amount of fatigue voltage that can be received by the material and the material's ability to accept loading. In metallographic testing, which is observed is the microstructure of malleable cast iron, it appears that malleable cast iron has a rosette-shaped graphite and is surrounded by matrix ferrite, this indicates that the specimen is a ferritic type malleable cast iron. In fatigue testing, using loading in the form of various angles, namely angles of 1 °, 2 °, 3 °, 4 ° and 5 °.

From the data obtained, it is known that, the greater the angle given, the fatigue resistance possessed by the specimen will decrease. This can be seen at a loading angle of 1° the fracture time is 16543 seconds with a voltage of 100.4 MPa requires a cycle of 827150 cycles, at an angle of 2° with a voltage of 200.8 MPa has a fracture time of 7653 seconds and a cycle of 382650 cycles, at an angle of 3° with a voltage of 307.1 MPa has a fracture time of 648 seconds and 32400 cycles, at an angle of 4° with a voltage of 407.1 MPa has a fracture time of 259 seconds and a cycle of 12950 cycles. As for the 5° angle with a voltage of 513.8 MPa, it experiences a very fast break time of 23 seconds with a cycle of 1150 cycles. Cycles are the number of revolutions performed by the fatigue testing machine so that the specimen is faulted. At a loading angle of 5° there is a rapid break in fatigue, this is because the voltage value at the loading angle of 5° is greater than the ultimate tensile strength and yield strength values in malleable cast iron, causing the process of breaking in fatigue testing very quickly occurs. From the S-N curve, the fatigue limit value of malleable cast iron is obtained, which is at a voltage below 100.4 MPa. SEM testing on malleable cast iron can be seen on the surface of the fault that the fault that occurs is a transgranular fracture, that is, a fracture that occurs through the boundaries of the grain. Also seen from visual observations on the surface of malleable cast iron faults, the smaller the loading angle, the larger the area of crack propagation as evidenced by the presence of beachmarks.

Keywords: *Fatigue Limit, Beachmarks, Malleable Cast Iron, Fatigue Testing, S-N Curve, SEM.*

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kajian Pustaka.....	5
2.2 Besi Cor.....	5
2.3 Besi Cor <i>Malleable</i>	9
2.4 Sifat Mekanik Material.....	10
2.5 Kegagalan <i>fatigue</i>	11
2.6 Kurva S-N.....	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.2 Studi Literatur.....	19
3.3 Persiapan Spesimen	19
3.4 Alat dan Bahan	19
3.5 Metode Pengujian.....	21
3.5.1 Pengujian <i>Fatigue</i>	22

3.5.2	Pengamatan Visual.....	22
3.5.3	Pengamatan Metalografi	23
3.5.4	Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i>	24
3.6	Waktu dan Tempat.....	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Pengujian <i>Fatigue</i>	27
4.1.1	N (Siklus)	28
4.1.2	Sudut (θ).....	29
4.1.3	Tegangan (τ)	29
4.1.4	Kurva S-N (<i>Wohler Curve</i>)	31
4.2	Pengamatan Metalografi.....	32
4.3	Pemeriksaan <i>Scanning Electron Microscopy</i>	33
4.4	Pengamatan Visual	35
4.5	Analisa Data	39
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran	43
DAFTAR RUJUKAN		i
LAMPIRAN		i

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Mikro Besi Cor <i>Malleable</i>	10
Gambar 2. 2 Dimensi Sampel Uji <i>fatigue</i> sesuai standar JIS Z 2273	13
Gambar 2. 3 Kurva S-N.....	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	18
Gambar 3. 2 Dimensi Spesimen Uji <i>fatigue</i> Besi Cor <i>Malleable</i>	19
Gambar 3. 3 <i>Torsion Repeated and Bending Fatigue Machine</i>	22
Gambar 3. 4 Mikroskop Optik PME 3 11 B.....	24
Gambar 3. 5 Alat Uji SEM EVO Tipe MA10.....	25
Gambar 4. 1 Kurva S-N Pengujian <i>fatigue</i> Besi Cor <i>Malleable</i>	31
Gambar 4. 2 Hasil Pengamatan metalografi Pembesaran 450x	33
Gambar 4. 3 Hasil Pengujian SEM pada sudut 3° Pembesaran 2000x	34
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian SEM pada sudut 4° Pembesaran 2000x	34
Gambar 4. 5 Permukaan Patahan sudut 1°	36
Gambar 4. 6 Permukaan Patahan sudut 2°	36
Gambar 4. 7 Permukaan Patahan sudut 3°	37
Gambar 4. 8 Permukaan Patahan sudut 4°	37
Gambar 4. 9 Permukaan Patahan sudut 5°	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Besi Cor.	7
Tabel 2. 2 Sifat mekanik besi cor <i>malleable</i>	10
Tabel 3. 1 Sifat Mekanik Bahan dari Toko Online.	20
Tabel 3. 2 Komposisi Kimia Bahan dari Toko Online.....	20
Tabel 4. 1 Data waktu hasil pengujian <i>fatigue</i>	27
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian <i>fatigue</i> Besi Cor <i>Malleable</i>	31

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dewasa ini begitu pesat, khususnya di bidang industri. Bahan utama operasional atau bahan baku produksi industri dengan penggunaan logam semakin besar. Logam mempunyai peran penting dalam kehidupan manusia, karena sumber bahan baku logam yang melimpah serta sifat karakteristiknya yang mudah diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan. Begitu banyak jenis logam seperti logam murni dan logam paduan. Logam memiliki sifat mekanik yaitu kekuatan, keuletan, kekerasan dan kekakuan.

Besi cor adalah besi paduan yang mengandung besi dan karbon. Besi cor mengandung unsur karbon, silium, mangan, fosfor dan belerang. Besi cor merupakan salah satu logam yang paling banyak digunakan, volume produksi dari besi cor cenderung stabil karena memiliki kualitas yang baik. Besi cor mempunyai kelebihan yaitu, merupakan bahan yang murah dan serba guna jika ditinjau dari segi desain produk (Purkuncoro & Taufik, 2016).

Besi cor terdiri dari 4 macam, yaitu besi cor kelabu, besi cor nodular, besi cor putih, dan besi cor *malleable*. Pada industri konstruksi dan produksi di teknik mesin, besi cor adalah salah satu material yang sangat di butuhkan, terkhususnya besi cor *malleable*. Besi cor jenis ini memiliki sifat yang sama seperti baja ringan. Besi cor *malleable* memiliki mampu tempa yang sangat baik, serta ketahanan terhadap beban kejut dan mampu mesin yang baik. Besi cor *malleable* banyak digunakan sebagai fitting pipa kecil, fitting listrik dan perangkat keras pembangun, terutama untuk coran bagian tipis dan coran yang kemudian digalvanis

Besi cor *malleable* memiliki mampu tempa yang sangat baik. Seiring dengan pemakaian material dengan waktu yang cukup lama, sifat mekanik pada

besi cor *malleable* juga akan semakin menurun, karena beban yang diterima besi cor *malleable* akan melebihi beban maksimum material jika digunakan secara terus-menerus dengan waktu yang lama, sehingga dapat terjadinya kegagalan pada material besi cor *malleable* tersebut. Salah satu kegagalan yang sering terjadi adalah kegagalan lelah (Wheeler, 2000). Maka daripada itu dalam penggunaan besi cor *malleable* perlu diketahui nilai batas lelah dari material tersebut dan kemampuan material dalam menerima pembebanan.

Kegagalan *fatigue* atau kelelahan, adalah kegagalan pada material akibat beban atau tegangan berulang-ulang (*Cyclic stress*). Karenanya kelelahan, khususnya pada komponen dan material merupakan sifat yang sangat penting untuk dikaji dan diteliti (Hendri Chandra et al., 2018). Pengujian *fatigue* atau kelelahan merupakan pengujian untuk mengetahui sebagian beban yang dapat diterima oleh suatu material. Sehingga dapat mengetahui nilai ketahanan lelah suatu material (Nugroho et al., 2020).

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, diperlukan pengujian dengan memberikan beban lelah yaitu beban dinamis yang diberi beban secara terus menerus terhadap besi cor *malleable*. Sehingga material tersebut patah, dan penulis dapat mengidentifikasi karakteristik patah dan menganalisa ketahanan lelah yang terjadi pada besi cor *malleable*. Sehingga penelitian kali ini berjudul "Karakteristik Patah dan Ketahanan Lelah Besi Cor *Malleable*".

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana ketahanan lelah material besi cor *malleable* terhadap variasi sudut pembebanan 1° , 2° , 3° , 4° dan 5° dengan menggunakan metode pembebanan *repeated Torsion*.

Permukaan patahan besi cor *malleable* akibat pengujian *fatigue* akan diamati melalui visual dan pengamatan *scanning electron microscopy* untuk melihat dan menganalisa karakteristik patah yang terjadi.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali ini adalah:

1. Material yang digunakan adalah Besi Cor *Malleable*.
2. Variasi sudut pembebanan pada pengujian lelah besi cor *malleable* adalah 1° , 2° , 3° , 4° dan 5° .
3. Pengujian menggunakan metode *Repeated Torsion*.
4. Pengamatan struktur mikro pada besi cor *malleable* menggunakan pengamatan metalografi.
5. Permukaan patahan pada spesimen besi cor *malleable* diamati melalui pengamatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan pengamatan visual.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mampu menganalisa nilai ketahanan Lelah besi cor *Malleable* dengan menggunakan metode *Repeated Torsion* sehingga menghasilkan kurva S-N.
2. Memahami dan menganalisa struktur mikro besi cor *Malleable*.
3. Memahami dan menganalisa perambatan retak pada permukaan patahan yang terjadi pada besi cor *malleable*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pengetahuan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik besi cor *Malleable* setelah diberi beban lelah.
2. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui nilai ketahanan lelah besi cor *Malleable*.
3. Dari penelitian ini, diharapkan menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya mengenai material besi cor, khususnya pada material besi cor *malleable*.

DAFTAR RUJUKAN

- Amirudin, A & Lubis, F. A. (2018). Analisa Pengujian Lelah Material Tembaga Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.30596/rmme.v1i1.2430>
- ASM Metal Handbook Vol 12. (1992). Fractography. In ASM International (Vol. 12, Issue 249). <https://doi.org/10.2472/jsms.23.479>
- ASM Metals Handbook Vol 1. (1990). ASM HANDBOOK Vol 1. Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys (10th ed.). ASM International. Handbook Committee.
- ASM Metals Handbook Vol 11. (2002). ASM Metals Handbook Vol 11 : Failure Analysis and Prevention. In Technology (Vol. 11). ASM International. Handbook Committee. [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(03\)90166-8](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(03)90166-8)
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering - An Introduction 10th Edition*.
- Cardarelli, F. (2008). *MATERIALS HANDBOOK: A Concise Desktop Reference (2nd Editio)*. <https://doi.org/DOI 10.1007/978-1-84628-669-8>
- Chandra, H. (2019). Mechanical fracture characterization of rice kernel under milling process. *Journal of Physics: Conference Series*, 1198(4), 42011.
- Chandra, H, & Lestari, V. (2021). Analysis of the Effect of Stop Drilled Hole Diameter Variation on Fatigue Resistance in Medium Carbon Steel DIN HQ 705. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 810(1), 12016.
- Chandra, H, Mataram, A., & Utami, N. P. E. (2019). The characterization of mechanical property and fatigue life of betel-falm fiber composite as environmentally-friendly material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 620(1), 12119.
- Chandra, Hendri. (2012). Perancangan Mesin Fatigue Pembebanan Tiga Titik dan Empat Titik dalam Menciptakan Retak Awal dan Perambatan Retak.

<https://repository.unsri.ac.id/6969/>

- Chandra, Hendri. (2013). The Carburizing Process of Low Carbon Steel with Charcoal Media. *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 1(1), 1–6.
- Chandra, Hendri. (2020). Geochemical Studies of Claystone Based on Analysis of Scanning Electron Microscope (SEM), Talangsawah, Merapi District and Surroundings of Lahat Regency, South Sumatra. *Journal of Physics: Conference Series*, 1500(1), 12079.
- Chandra, Hendri, & Basri, H. (2007). ANALISIS FATIGUE POROS POMPA VAKUM. Seminar Nasional Sains Dan Teknologi. <https://repository.unsri.ac.id/9483/>
- Chandra, Hendri, Nukman, & Sianturi, B. (2019). Analysis of Fatigue Life and Crack Propagation Characterization of Gray Cast Iron under Normalizing Process. *Journal of Physics: Conference Series*, 1198(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/3/032006>
- Chandra, Hendri, Pratiwi, D. K., & Zahir, M. (2018). High-temperature quality of accelerated spheroidization on SUP9 leaf spring to enhance machinability. *Heliyon*, 4(12), e01076.
- Collins, J. A. (1981). Fatigue testing procedures and statistical interpretations of data. *Failure of Materials in Mechanical Design Analysis, Prediction, Prevention*. John Wiley, New York, 360–378.
- D.M. Stefanescu. (2001). *ASM Metals Handbook - Casting. Technology*, 15,2002.
- Deutschman, A. D., Michels, W. J., & Wilson, C. E. (1975). *Machine design; theory and practice*. Prentice Hall.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2013). *Manufacturing Engineering and Technology*, SI Edition. Singapore: Pearson Publications.
- Mardhi, A., & Himawan, R. (2011). Estimasi umur fatik menggunakan pembebanan. *Sigma Epsilon*, 15(1), 31–38.
- Nguyen, T. S., Yoon, K. B., Choi, J. H., & Song, J. S. (2016). Failure of malleable cast iron sprinkler pipe end cap due to freezing of water within. *Engineering Failure Analysis*, 70, 364–374.

<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.09.013>

- Nugroho, E., Handono, S. D., & Budiyo, E. (2020). Analisa uji ketahanan fatigue Aluminium scrap hasil remelting sepatu rem (brake shoe) terhadap variasi beban menggunakan tipe rotary bending. 1(2), 96–107.
- Pokrovskii, A. I., Chaus, A. S., & Kunovskii, E. B. (2011). Effect of the shape of graphite inclusions on acoustic characteristics of articles from cast and deformed iron. *Metal Science and Heat Treatment*, 53(7), 311–317.
- Purkuncoro, A. E., & Taufik, A. (2016). Analisis Perbandingan Model Cacat Coran Pada Bahan Besi Cor Dan Aluminium Dengan Variasi Temperatur Tuang Sistem Cetakan Pasir. *Industri Inovatif*, 6(1), 38–44.
- Stefanescu, D. M. (2018). Classification and Basic Metallurgy of Cast Iron. Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, 1, 3–11. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v01.a0009206>
- Sugiarto, T., Zulhanif, & Sugiyanti. (2013). Analisis Uji Ketahanan Lelah Baja Karbon Sedang Aisi 1045 Dengan Heat Treatment (Quenching). *JURNAL FEMA*, Volume 1, Nomor 3, Juli 2013, 1(Nomor 3), 1–8.
- Theuwissen, K., Laffont, L., Véron, M., & Lacaze, J. (2016). Crystallography of graphite spheroids in cast iron. *International Journal of Cast Metals Research*, 29, 12–16. <https://doi.org/10.1080/13640461.2016.1142233>
- Utami, N. P. E., & Chandra, H. (2017). Mechanical properties analysis of Al-9Zn-5Cu-4Mg cast alloy by T5 heat treatment. *MATEC Web of Conferences*, 101, 1009.
- Van Ettinger, C. J. (2010). Oil quenched malleable iron, the strength of an old material in a “ green cast” development and a new future. 69th World Foundry Congress 2010, WFC 2010, 2, 427–435.
- Velichko, A., Holzapfel, C., & Muecklich, F. (2007). 3D characterization of graphite morphologies in cast iron. *Advanced Engineering Materials*, 9(1-2), 39–45.
- Wheeler, E. C. (2000). Malleable Cast Iron. *Journal of the American Society for Naval Engineers*, 11(1), 161–172. <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.1899.tb02456.x>
- William D. Callister, J. (2001). *Fundamentals of Materials Science and*

Engineering An Interactive. Engineering, Department of Metallurgical Utah, The University of.

William D. Callister, J. (2007). Materials Science and Engineering An Introduction. In Journal of Materials Science (Vol. 26, Issue 14).
<https://doi.org/10.1007/BF01184995>

Zhao, H., Wang, G., Wang, H., Bi, Q., & Li, X. (2017). Fatigue life analysis of crawler chain link of excavator. Engineering Failure Analysis.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.04.034>