SKRIPSI

KETAHANAN LELAH BESI COR NODULAR DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED TORSION*

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

POLADO POWER BUTAR BUTAR

03051281722059

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2022

SKRIPSI

KETAHANAN LELAH BESI COR NODULAR DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED TORSION*

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

Oleh:

POLADO POWER BUTAR BUTAR

03051281722059

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2022

HALAMAN PENGESAHAN

KETAHANAN LELAH BESI COR NODULAR DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED TORSION*

SKRIPSI
Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

POLADO POWER BUTAR BUTAR

03051281722059

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

Inderalaya, Juni 2022
Diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing Skripsi

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

JURUSAN TEKNIK MESIN		**Agenda No.**	**:**
FAKULTAS TEKNIK		**DiterimaTanggal**	**:**
UNIVERSITAS SRIWIJAYA		**Paraf**	**:**

SKRIPSI

NAMA	**:**	**POLADO POWER BUTAR BUTAR**
NIM	**:**	**03051281722059**
JURUSAN	**:**	**TEKNIK MESIN**
JUDUL	**:**	**KETAHANAN LELAH BESI COR NODULAR DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED TORSION***
DIBUAT	**:**	**JUNI 2021**
SELESAI	**:**	**JULI 2022**

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

Indralaya, 18 Juli 2022
Diperiksa dan disetujui oleh :
Pembimbing Skripsi

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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "KETAHANAN LELAH BESI COR NODULAR DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED TORSION*" telah dipertahankan di hadapan tim penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada Tanggal 18 Mei 2022.

Palembang, 20 Juni 2022

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. Nukman M.T. (.....)
   NIP. 195903211987031001

Sekertaris :

2. Qomarul Hadi, S.T., M.T. (.....)
   NIP. 196902131995031001

Amggota :

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

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112351997021001

Indralaya, 20 Juni 2022
Diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing Skripsi

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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dalam rangka Tugas Akhir (Skripsi) yang dibuat untuk memenuhi syarat Seminar dan Sidang Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul "Ketahanan Lelah Besi Cor Nodular Dengan Pembebanan *Repeated Torsion*".

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala macam bimbingan dan bantuan yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan kasih karunia-NYA.
2. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Amir Arifin, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing, mendidik, memotivasi, serta banyak memberikan saran kepada penulis dari awal hingga skripsi ini selesai.
5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
6. Kedua Orang Tua dan Adik penulis Priskila yang selalu mendukung penulis baik moral dan materi serta doa yang tulus untuk penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini.
7. Teman sepenelitian Andri, Alfian, Dzaky yang telah memberi dukungan dan semangat serta berjuang bersama untuk menyelesaikan skripsi ini.
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T. sebagai kepala Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah memberikan izin melakukan penelitian di Laboratorium Metalurgi

9. Bapak Yahya sebagai penjaga Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang membantu saya dalam mengerjakan penelelitian di Laboratorium Metalurgi.

Penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar penelitian ini menjadi lebih baik. Semoga penulisan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak yang berkepentingan.

Indralaya, Juli 2022

Polado Power Butar Butar

03051281722059

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Polado Power Butar Butar
NIM : 03051281722059
Judul : KETAHANAN LELAH BESI COR NODULAR DENGAN PEMBEBANAN REPEATED TORSION

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, 18 Juli 2022

Polado Power Butar Butar
NIM. 03051281722059

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Polado Power Butar Butar
NIM : 03051281722059
Judul : KETAHANAN LELAH BESI COR NODULAR DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED TORSION*

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

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

Indralaya, Juli 2022

Polado Power Butar Butar
NIM. 03051281722059

RINGKASAN

KETAHANAN LELAH BESI COR NODULAR DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED TORSION*

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juli 2022

Polado Power Butar Butar;

Dibimbing oleh Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

Fatigue Resistance of Ductile Cast Iron with Repeated Torsion Loading

XXVII + 46 halaman, 6 tabel, 16 gambar

Fatigue atau kelelahan merupakan proses perubahan struktur secara permanen *progressive localized* pada suatu material yang terjadi karena diberikan regangan dan tegangan secara berulang-ulang dibawah batas tegangan yang bisa diterima material tersebut dan pada saat tertentu akan menimbulkan retakan (*crack*) dan kemudian patah (*fracture*) secara menyeluruh sesudah fluktuasi tertentu. Dalam kehidupan sehari-hari kegagalan terjadi pada periode pemakaian yang cukup lama. Adapun kerusakan dari kegagalan ini disebut patah lelah (*fatigue failures*). Pada pengujian besi cor diberi tegangan yang berulang secara cepat agar mendapatkan hasil yang dibutuhkan. Kegagalan yang disebabkan oleh kelelahan lebih berbahaya daripada kegagalan statis dikarenakan kegagalan tersebut terjadi tanpa peringatan terlebih dahulu, secara tiba-tiba dan menyeluruh. Lebih dari 90% penyebab kegagalan mekanik disebabkan oleh kegagalan lelah. Penelitian dilakukan menggunakan alat uji *fatigue* dengan tipe *repeated torsion*. Material yang di analisis adalah besi cor nodular. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 4 variasi sudut pembebanan yang berbeda yaitu 1^o, 2^o, 3^o dan 4^o. Dari hasil pengujian kelelahan (*fatigue*) spesimen besi cor nodular dengan sudut pembebanan 1^o menghasilkan tegangan 89,25 MPa, Siklus 446300 dalam waktu 8926 detik. Pada sudut

pembebanan 2^o menghasilkan tegangan 178,5 MPa, Siklus 222000 dalam waktu 4440 detik. Pada sudut pembebanan 3^o menghasilkan tegangan 273 MPa, Siklus 39900 dalam waktu 798 detik. Pada sudut pembebanan 4^o menghasilkan tegangan 362,25 MPa, Siklus 6550 dalam waktu 131 detik. Maka semakin besar sudut pembebanan yang diberikan kepada spesimen maka semakin cepat spesimen mengalami kegagalan lelah. Melalui bentuk patahan secara visual dapat dilihat bahwa perambatan patahan semakin luas dari pembebanan 1^o sampai pembebanan 4^o. Pada pengujian metalografi besi cor nodular dihaluskan permukaannya menggunakan amplas dengan *grade* 500, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 3000 dan 5000. Kemudian bagian yang sudah diamplas dipoles menggunakan pasta *metal polish*. Selanjutnya permukaan spesimen dietsa dengan menggunakan cairan nital 2%. Dari struktur mikro yang terlihat bahwa besi cor nodular menghasilkan matriks berupa perlit dan grafit yang berbentuk bulat. Grafit bulat membuat besi cor nodular memiliki tingkat keuletan yang tinggi. Semakin banyak grafit bulat yang dihasilkan maka akan semakin ulet besi cor nodular tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar pembebanan yang diberikan maka semakin besar pula deformasi yang terjadi pada spesimen pengujian. Pada semua spesimen terlihat bahwa patahan terjadi pada bagian pangkal spesimen. Hal ini terjadi dimungkinkan karenakan pada saat pembubutan untuk membentuk spesimen sesuai dengan dimensi yang dibutuhkan bagian pangkal dari specimen menerima tekanan yang cukup besar yang mungkin mengakibatkan *crack* pada spesimen. Pada hasil pengujian SEM yang menghasilkan gambar dari permukaan patahan secara mikro dapat dilihat bahwa pada pengujian ketahanan ini meninggalkan beberapa rambatan retakan yang terjadi akibat pembebanan terhadap spesimen selain itu juga dapat lihat bahwa pada pengujian ketahanan ini patah di hasilkan adalah patah getas dimana permukaan patahan memiliki permukaan yang tidak rata dan memiliki permukaan yang membentuk bukit-bukit yang merupakan ciri dari patah getas.

Kata Kunci : Material, *fatigue, fracture, crack*
Kepustakaan : 14(1996-2021)

SUMMARY

FATIGUE RESISTANCE OF DUCTILE CAST IRON WITH REPEATED TORSION LOADING

Scientific Writing in the form of a thesis, July 2022

Polado Power Butar Butar;

Supervised of Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

Ketahanan Lelah Besi Cor Nodular dengan Pembebanan *Repeated Torsion*

XXVII + 46 pages, 6 tables, 16 images

Fatigue is a process of permanent progressive localized structural change in a material that occurs due to repeated stresses and strains below the acceptable stress limit for the material and at a certain point in time it will cause cracks and then fractures. thoroughly after certain fluctuations. In everyday life, failure occurs in a long period of use. The damage from this failure is called fatigue failure. In testing cast iron is given a voltage that is repeated quickly in order to get the required results. Failures caused by fatigue are more dangerous than static failures because they occur without warning, suddenly and completely. More than 90% of the causes of mechanical failure are caused by fatigue failure. The study was conducted using a fatigue test with repeated torsion type. The material analyzed is nodular cast iron. The test was carried out using 4 variations of different loading angles, namely 1o, 2o, 3o and 4o. From the results of fatigue testing, nodular cast iron specimens with a loading angle of 1o produce a stress of 89.25 MPa, 446300 cycles in 8926 seconds. At a loading angle of 2o produces a voltage of 178.5 MPa, 222000 cycle in 4440 seconds. At a loading angle of 3o produces a voltage of 273 MPa, 39900 cycles in 798 seconds. At a loading angle of 4o produces a voltage of 362.25 MPa, 6550

cycles in 131 seconds. Then the greater the angle of loading given to the specimen, the faster the specimen will fail to fatigue. In the metallographic test of nodular cast iron, the surface was smoothed using sandpaper with grades of 500, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 3000 and 5000. Then the sanded parts were polished using metal polish paste. Furthermore, the surface of the specimen is etched using 2% nital liquid. From the microstructure, it can be seen that the nodular cast iron produces a matrix of pearlite and graphite which is spherical in shape. Spherical graphite gives nodular cast iron a high degree of ductility. More round graphite produced, the more ductile the nodular cast iron will be. Through the shape of the fault, it can be seen visually that the propagation of the fault is getting wider from 1^{o} loading to 4^{o} loading. This shows that the greater the load given, the greater the deformation that occurs in the test specimen. In all specimens, it was seen that the fracture occurred at the base of the specimen. This is possible because at the time of turning to shape the specimen according to the required dimensions, the base of the specimen receives considerable pressure which may cause cracks in the specimen. In the results of the SEM test which produces an image of the fracture surface on a micro basis, it can be seen that in this resistance test it leaves several propagation of cracks that occur due to loading on the specimen. which is uneven and has a surface that forms hills which are characteristic of brittle fracture.

Keywords : Material, fatigue, fracture, crack
Literature : 14(1996-2021)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI ..... **xix**

DAFTAR GAMBAR ..... **xxi**

DAFTAR TABEL ..... **xxiii**

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 3

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Besi Cor (*Cast Iron*) 5
2.2.1 Besi Cor Kelabu (*Gray Cast Iron*) 6
2.2.2 Besi Cor Nodular (*Ductile Cast Iron*) 6
2.2.3 Besi Cor Putih (*White Cast Iron*) 7
2.2 Perkembangan Besi Cor Nodular (*Ductile Cast Iron*) 7
2.3 Pembuatan Besi Cor Nodular 9
2.3.1 Base Material 9
2.3.2 Pencairan 10
2.3.3 Desulfurisasi 10
2.3.4 Nodularisasi 10
2.3.5 Inokulasi 11
2.4 Sifat Mekanik Bahan 11
2.5 Kelelahan (*Fatigue*) 14
2.6 Mekanisme Kegagalan *Fatigue* 15
2.7 Kurva S-N 16

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian 19

3.2 Studi Literatur 20
3.3 Persiapan Spesimen 20
3.4 Alat dan Bahan 20
3.4.1 Alat 20
3.4.2 Bahan 21
3.5 Pengujian *Fatigue* 21
3.6 Karakteristik Material Besi Cor Nodular 22
3.7 Pengujian Metalografi 23
3.8 Pengujian SEM 24
3.9 Hasil Yang Diharapkan 25
3.10 Waktu dan Tempat 25
3.11 Analisa data dan Pembahasan 25

BAB 4 PEMBAHASAN

4.3 Pengujian *Fatigue* 33
4.5 Pengujian Metalografi 37
4.6 Hasil Pengamatan Pola Patahan 37
4.7 Hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) 38
4.8 Analisa Data 40

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 43
5.2 Saran 43

DAFTAR RUJUKAN i

LAMPIRAN i

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fase-fase kegagalan lelah (*fatigue*) 16
Gambar 2.2 Kurva S-N (Callister, 2007) 17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 19
Gambar 3.2 Dimensi Spesimen Uji *Fatigue* 21
Gambar 3.3 Mesin Uji *Fatigue* Teknik Mesin Universitas Sriwijaya 22
Gambar 3.4 Measuring mikroskop STM6-LM. 24
Gambar 3.5 SEM (*Scanning Electron Microscpe*) 24
Gambar 4.1 Peletakan specimen uji 29
Gambar 4.2 Penguncian spesimen. 30
Gambar 4.3 Baut pengunci spindel putar. 30
Gambar 4.4 Pengaturan besar sudut pembebanan. 31
Gambar 4.5 Peletakan dan pengaturan pengukur besar sudut pembebanan. 31
Gambar 4.6 Kurva S-N uji *fatigue* besi cor nodular. 36
Gambar 4.7 Struktur mikro besi cor nodular pembesaran 1000X 37
Gambar 4.8 Hasil pengujian SEM besi cor nodular pembesaran 100X 39
Gambar 4.9 Hasil pengujian SEM besi cor nodular pembesaran 500X 39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kandungan besi cor 6
Tabel 3.1 Komposis kimia material besi cor nodular 22
Tabel 4.1 Data Hasil Uji Tarik.....28
Tabel 4.2 Hasil pengolahan data hasil uji tarik.....29
Tabel 4.3 Data hasil pengujian lelah 33
Tabel 4.4 Hasil pengolahan data hasil uji *fatigue* 36

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar 1 spesimen setelah pengujian fatigue dengan sudut 1° i
Gambar 2 spesimen setelah pengujian fatigue dengan sudut 2° i
Gambar 3 spesimen setelah pengujian fatigue dengan sudut 3° ii
Gambar 4 spesimen setelah pengujian fatigue dengan sudut 4° ii
Gambar 5 proses pengujian fatigue iii
Gambar 6 Mesin Uji Fatigue Torsion Repeated and Bending Fatigue Machine dengan standar pengujian JIS Z 2273. iii
Gambar 7 spesimen Uji Tarik..... iv

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Besi cor merupakan besi paduan yang memiliki kandungan karbon, silikon, mangan, fosfor dan sulfur (Karim, 2008). Istilah besi cor merupakan istilah yang digunakan untuk salah satu jenis besi paduan. Perbedaan besi cor dengan besi paduan lainnya adalah besi paduan ini memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dibandingkan besi paduan lainnya. Selain memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi yaitu lebih dari 1,7% (Reynaud, 2010), besi cor juga memiliki suhu cair yang relative rendah yaitu 1150^{o}C - 1300^{o}C (Darmadi, 2015). Hal tersebut membuat besi cor sebagai bahan yang sangat murah karena dalam pembentukannya tidak memakan banyak bahan bakar serta peralatan yang dipakai sederhana.

Dalam pengguanaannya sebagai bahan pembuatan suatu produk ataupun bahan konstruksi, besi cor merupakan bahan yang paling banyak digunakan. Besi cor banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti menjadi bahan dalam bidang otomotif, bidang konstruksi, pembuatan pompa air bahkan dalam pembuatan peralatan rumah tangga. Karena kegunaan yang cukup banyak permintaan pasar akan besi cor cukup banyak juga. Namun banyaknya permintaan pasar akan besi ini tidak diimbangi dengan peningkatan kualitas dari besi cor ini di berbagai pabrik pembuatannya.

Berdasarkan jenisnya besi cor terdiri dari besi cor kelabu (*gray cast iron*), besi cor nodular (*ferro carbon ductile*), besi cor putih (*white cast iron*), besi cor mampu tempa (*malleable cast iron*) (Roman, 2020). Besi cor nodular (*ferro carbon ductile*) merupakan salah satu jenis besi cor yang memiliki sifat mekanik yang lebih baik dari pada besi cor yang lain. Besi cor kelabu memiliki sifat keras namun getas, besi cor mampu tempa memiliki keuletan yang sangat baik namun ketahanannya

terhadap gesekan rendah. Besi cor nodular mempunyai kekuatan yang cukup baik, *machinability* yang baik, keuletan yang cukup tinggi. ketangguhan, *hardenability* serta mampu pemesinan yang baik, sehingga membuat pemakain besi cor nodular sangat menguntungkan.

Meskipun besi cor nodular memiliki sifat mekanik yang cukup baik namun material tersebut dapat mengalami kegagalan akibat adanya pembebanan yang diberikan kepada besi cor tersebut yang melebihi pembebanan maksimum material tersebut. Besi cor nodular banyak digunakan dalam berbagai bidang terutama dalam bidang konstruksi maka dalam penggunaannya sebagai bahan konstruksi perlu diketahui besarnya beban yang dapat di terima oleh material tersebut dan seberapa besar kemampuan material tersebut dalam menerima pembebanan.

Pengujian *fatigue* merupakan suatu pengujian untuk mengetahui seberapa besar beban yang dapat diterima oleh suatu material. Pengujian ini bertujuan agar kita mengetahui seberapa besar nilai ketahanan lelah suatu material jika di berikan suatu pembebanan.

Melalui uraian diatas penulis ingin melakukan penelitian dengan judul "Ketahanan Lelah Besi Cor Nodular dengan Pembebanan *Repeated Torsion*".

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana ketahanan *fatigue* material besi cor nodular dengan mengunakan metode pembebanan *repeated torsion*.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatas untuk tahapan cara penggunaan alat uji untuk proses pengujian, analisa hasil pengujian dalam bentuk kurva S-N dan pengamatan pola patahan terhadap deformasi yang terjadi pada permukaan patahan material besi cor noular menggunakan alat uji lelah dengan pembebanan *repeated torsion.*

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mempublikasikan cara penggunaan alat uji lelah dengan pembebanan *repeated torsion*.
2. Pengujian lelah material besi cor noular dengan menggunakan alat uji lelah dengan pembebanan *repeated torsion* sehingga menghasilkan kurva S-N.
3. Pengamatan pola patahan terhadap deformasi yang terjadi pada permukaan patahan specimen besi cor nodular , sehingga diketahui pengaruh pembebanan terhadap pola patahan.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan selesainya penelitian ini diharapkan alat uji lelah dengan pembebanan *repeated torsion* ini dapat digunakan oleh peneliti yang lain dengan baik, karena cara penggunaan alat uji ini telah dipublikasikan dan juga dapat diketahui sifat lelah material besi cor nodular.

DAFTAR RUJUKAN

Amarudin, A & Lubis, A. 2018. Analisa Pengujian Lelah Material Tembaga Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine. University of Muhammadiyah Sumatera Utara.

Asmadi, A., & Afriany, R. (2017). Pembuatan Besi Cor Nodular. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, *3*(1), 51. https://doi.org/10.35449/teknika.v3i1.39.

Azhar. 2014. Pengujian Kekuatan Lelah Baja Tahan Karat Aisi 304 Menggunakan Alat Uji Lelah Tipe Cantilever Rotating Bending. Universitas Teuku Umar. Aceh.

Basuki, Arif.,dkk. 1986. Pembuatan Besi Cor Nodular dan Metoda Optimasinya. Bandung: ITB

Calalettin Karaagac, 2002, Fracture And Fatigue Analysis Of An Agitator Shaft With A Circumferential Notch, Tesis, Dokuz Eylul University.

Callister, W., 2007. *Materials science and engineering: an introduction* 7th ed. K. S. Hayton Joseph, Frank Lyman, ed., United States Of America.

Chandra Hendri, Nukman, S. Baoadi, 2019. Analysis of Fatigue Life and Crack Propagation Characterization of Gray Cast Iron under Normalizing Proses, Departement of Mechanical Engg. University of Sriwijaya, Indonesia.

Collins., J. A ., 1981, failure of material in mechanical design, Analisis Predection and Prevention, jhon Willey & Son, Inc US.

Darmadi, Wahyu. 2013. Pengaruh Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pada Besi Cor. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dieter, George E., 1992, Metalurgi Mekanik, jilid 1, edisi ketiga, alih bahasa oleh

sriati djafri, Erlangga, Jakarta.

HEARN, E.J., 1997. Mechanics of. In *MECHANICS OF MATERIALS I*. UNITED KINGDOM, p. 1038.

Murtiono, A., 2012. Pengaruh Quenching Dan Tempering Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Permanen Sawit. e-Dinamis, II(2). Medan: Universitas Sumatera Utara.

Oktavianto, Damar Dwi. 2019. Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu FC25 dengan Mangan 1,2%. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.

Rahmatullah. (2018). Analisa Pengujian Lelah Material Bronze Dengan Menggunakan Rotary. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, Vol. 1, No. 1, September 2018, 1-11*.

Saputra, Roman Rio. 2020. Analisa Permukaan Patahan Spesimen Uji Impak Besi Cor Nodular dengan Variasi Kandungan Magnesium 0,0296%, 0,0307% dan 0,0336%. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Setyo, A.N., dan Sri Widodo. 2008. Pengaruh Pusaran Pada Proses Nodullarisasi Besi Cor Bergrafit BulatTerhadap Kekuatan Tarik. Volume 29, No. 1, (hlm. 71-85)