

SKRIPSI

**ANALISIS KERUSAKAN PADA BUSHING APRON
FEEDER**



ABRAHAM PARTOGI HUTABARAT

03051281621056

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2021

SKRIPSI

ANALISIS KERUSAKAN PADA BUSHING APRON FEEDER

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



Oleh :

ABRAHAM PARTOGI HUTABARAT

03051281621056

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KERUSAKAN PADA BUSHING APRON
FEEDER**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

Oleh:

ABRAHAM PARTOGI HUTABARAT

03051281621056

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

Palembang, Juli 2021

Diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Skripsi



**Nurhabibah Paramitha Eka
Utami, S.T, M.T**
NIP. 196902131995031001

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :**

SKRIPSI

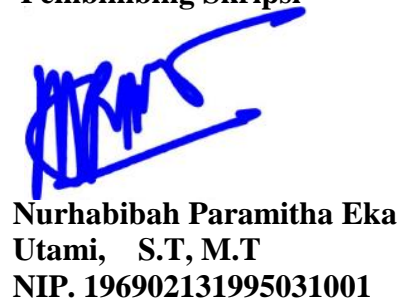
**NAMA : ABRAHAM PARTOGI HUTABARAT
NIM : 03051281621056
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL : ANALISIS KERUSAKAN PADA *BUSHING APRON
FEEDER*
DIBERIKAN : NOVEMBER 2019
SELESAI : JUNI 2021**

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

**Palembang, Juli 2021
Diperiksa dan disetujui oleh :
Pembimbing Skripsi**



**Nurhabibah Paramitha Eka
Utami, S.T, M.T
NIP. 196902131995031001**


HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Kerusakan pada Bushing Apron Feeder” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 23 Juni 2021


Palembang, Juli 2021

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi



Ketua:

1. (Ir. Helmy Alian, M.T) ()
NIP. 195910151987031006

Sekretaris:

2. (Nurhabibah Paramitha ()
Eka Utami, S.T., M.T.)
NIP. 198911172015042003

Anggota:

3. (Agung Mataram, S.T., M.T., P.h.D.) ()
NIP. 197901052003121002
4. (Dr.Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T.) ()
NIP. 196307191990032001

Mengetahui,

 Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Abraham Partogi Hutabarat
NIM : 03051281621056
Judul : Analisis Kerusakan pada *Bushing Apron Feeder*

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 2021



Abraham Partogi Hutabarat

NIM. 03051281621056

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Abraham Partogi Hutabarat

NIM : 03051281621056

Judul : Analisis Kerusakan pada *Bushing Apron Feeder*

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, Juli 2021



Abraham Partogi Hutabarat

NIM. 03051281621056

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir (Skripsi) yang dibuat untuk memenuhi syarat mengikuti sidang sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul “Analisis Kerusakan Pada *Bushing Apron Feeder*”.

Pada kesempatan kali ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas semua bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan Tugas Akhir ini kepada:

1. Tuhan Yesus atas segala kasih dan penyertaan-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan penyusunan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir;
2. Kedua Orang Tua penulis yaitu Bapak Jhonny Hutabarat dan Ibu Roslin Hutapea, dan kelima saudari kandung penulis yaitu Lestarina Hutabarat, Nadia Lindsay Hutabarat, Sonya Angelina Hutabarat, Olivia Cristina Hutabarat, dan Exaudi Cecilia Hutabarat yang senantiasa mendukung, mendoakan, dan memberikan motivasi berupa moril dan materiel kepada penulis dari awal perkuliahan hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini;
3. Ibu Nurhabibah Paramitha Eka Utami, S.T, M.T. dan Ibu Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T. selaku Dosen pembimbing penulis yang sudah memberikan ilmu yang bermanfaat, arahan dan motivasi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini;
4. Bapak Irsyadi Yani, S.T, M.Eng, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya;
5. Bapak Amir Arifin, S.T, M.Eng, Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya;
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Kaprawi Sahim, DEA selaku pembimbing akademik penulis di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
7. Karyawan dan staff jurusan Teknik Mesin yaitu Bapak Yanuar, Bapak Guntur, Bapak Iwan, dan Bapak Yahya selaku koordinator Laboratorium

Metallurgi Teknik Mesin, dan seluruh koordinator Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya;

8. Rekan – rekan Jurusan Teknik mesin khususnya angkatan 2016 yang telah membantu dan memberikan saran kepada penulis selamat proses penelitian
9. Sahabat-sahabat penulis yaitu anggota dari “Kelakar Bos Lanang” yang telah mendukung, menemani, memberi masukan, dan menjatuhkan penulis selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak yang berkepentingan, khususnya pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

Indralaya, Juni 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Abraham Partogi Hutabarat', with a horizontal line underneath.

Abraham Partogi Hutabarat

NIM. 03051281621056

RINGKASAN

ANALISIS KERUSAKAN PADA *BUSHING APRON FEEDER*.

Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi, Juni 2021

Abraham Partogi Hutabarat ; Dibimbing oleh Nurhabibah Paramitha Eka Utami,
S.T., M.T.

FAILURE ANALYSIS OF BUSHING APRON FEEDER.

XXVII + 42 halaman, 8 tabel, 22 gambar,

RINGKASAN

Pada industri pertambangan khususnya pada pertambangan batubara terdapat proses pengangkutan hasil bongkar muat (*Unloading*) dari gerbong kereta api menuju *Belt Conveyor* menggunakan *Apron Feeder* yang dapat menampung beban sebesar 90 ton. Proses pengiriman biasanya terhambat dikarenakan terjadinya kerusakan pada komponen, kerusakan sangat dihindari karena dapat menyebabkan kerugian berupa ancaman keselamatan dan kerugian lain-lain. Proses kerja secara terus-menerus dan pembebanan yang diberikan berulang dapat menyebabkan komponen pada alat ini mengalami kerusakan, salah satu contoh yang sering mengalami kerusakan adalah *bushing*. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dilakukan penelitian terkait analisis kerusakan pada *bushing apron feeder*, tujuannya untuk menganalisa dan mengetahui penyebab kerusakan pada *bushing* melalui nilai kekerasan, struktur mikro, dan melihat cacat permukaan pada material. Metode pada penelitian ini dilakukan dengan memulai studi literatur berupa buku, jurnal, dan karya ilmiah untuk mendukung penelitian yang dilakukan. Untuk mengetahui sifat mekanis material, dilakukan pengujian kekerasan *Brinell* dengan menggunakan *brinell hardness tester* dan menggunakan standar uji JIS Z 2202, dan melakukan pengujian *Dye Penetrant Test* untuk mengetahui jika adanya cacat berupa porositas, retakan, dan sebagainya pada permukaan *bushing*, dan dilakukan pengujian metalografi untuk melihat struktur

mikro. Untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro, spesimen dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu : spesimen bagus, spesimen rusak, dan spesimen di-*annealing* dimana spesimen dipanaskan menggunakan *furnace* dengan temperatur 900 C, kemudian didiamkan di dalam *furnace* dengan *holding time* selama 1 jam dan didinginkan bersama tungku selama 24 jam. Untuk pengujian kekerasan vickers dan metalografi spesimen dipotong menjadi lebih kecil dan kemudian di-*mounting* untuk mempermudah proses pengujian. Dari pengujian *Dye Penetrant Test* terdapat cacat permukaan berupa goresan dan porositas yang ditemukan pada permukaan spesimen bagus maupun spesimen rusak, hal ini dapat menjadi penyebab terjadinya kerusakan pada *bushing*. Dari hasil pengujian kekerasan vickers spesimen *bushing* bagus menunjukkan nilai VHN rata-rata 160,58437 N/mm², kemudian pada spesimen rusak menunjukkan nilai VHN rata-rata 255,82869 N/mm², kemudian pada *bushing* yang di-*annealing* menunjukkan nilai VHN rata-rata 108,438601 N/mm², hal ini menunjukkan bahwa spesimen rusak memiliki nilai kekerasan tertinggi karena telah mengalami deformasi yang diakibatkan operasi dan kondisi kerja, sedangkan nilai terendah dimiliki spesimen yang di-*annealing* dikarenakan tujuan *annealing* adalah untuk melepaskan tegangan sisa dan mengembalikan sifat awal material ke kondisi semula. Untuk pengamatan struktur mikro menggunakan pengujian metalografi dengan pembesaran sebesar 200x, 500x, dan 1000 kali terdapat banyak porositas pada spesimen, baik itu spesimen bagus, rusak, dan *annealing*, dan ditemukan martensit dengan jumlah yang cukup banyak pada spesimen rusak yang menunjukkan bahwa spesimen telah mengalami deformasi plastis, dan pada spesimen yang telah di-*annealing* ditemukan bahwa struktur pearlite menjadi lebih besar yang mengakibatkan material menjadi lebih lunak.

Kata Kunci : analisis kerusakan, apron feeder, *bushing*, kekerasan vickers.

Kepustakaan : 21 (2001 -2020)

SUMMARY

FAILURE ANALYSIS OF BUSHING APRON FEEDER

Scientific Writing in the Form of a Thesis, June 2021

Abraham Partogi Hutabarat; Supervised by Nurhabibah Paramitha Eka Utami, S.T., M.T.

ANALISIS KERUSAKAN PADA BUSHING APRON FEEDER.

XXVII + 42 pages, 8 tables, 22 pictures,

SUMMARY

In the mining industry, especially in coal mining, there is a process of loading and unloading from the train carriage to the Belt Conveyor using an Apron Feeder which can accommodate a load of 90 tons. The delivery process is usually hampered due to damage to components, damage is avoided because it can cause losses in the form of safety threats and other losses. The continuous work process and repeated loading can cause the components of this tool to be damaged, one example of which is often damaged is the bushing. Based on the background that has been explained, research related to the analysis of damage to the apron feeder bushing was carried out, the aim was to analyze and determine the causes of damage to the bushing through the value of hardness, microstructure, and see surface defects in the material. The method in this research is carried out by starting a literature study in the form of books, journals, and scientific works to support the research carried out. To determine the mechanical properties of the material, a Brinell hardness test was carried out using a Brinell hardness tester and using the JIS Z 2202 test standard, and a Dye Penetrant Test was carried out to determine if there were defects in the form of porosity, cracks, and the like on the bushing surface, and metallographic testing was carried out to look at the microstructure. For hardness and microstructure testing, specimens are divided into three types, namely: good specimens, damaged specimens, and annealed

specimens where the specimen is heated using a furnace at a temperature of 900 C, then allowed to stand in the furnace with a holding time for 1 hour and cooled together. furnace for 24 hours. For Vickers hardness and metallographic testing, the specimens are cut into smaller pieces and then mounted to simplify the testing process. From the Dye Penetrant Test, there are surface defects in the form of scratches and porosity found on the surface of good specimens and damaged specimens, this can be the cause of damage to the bushing. From the results of the Vickers hardness test, good bushing specimens show an average VHN value of 160.58437 N/mm², then the damaged specimen shows an average VHN value of 255.82869 N/mm², then the annealed bushing shows an average VHN value. an average of 108.438601 N/mm², this indicates that the damaged specimen has the highest hardness value because it has undergone deformation caused by operation and working conditions, while the lowest value is owned by the annealed specimen because the purpose of annealing is to release residual stresses and restore initial properties. material to its original state. For the observation of the microstructure using metallographic testing with magnifications of 200x, 500x, and 1000 times there is a lot of porosity in the specimens, both good, damaged, and annealed specimens, and martensite is found in sufficient quantities in damaged specimens which indicate that the specimen has undergone plastic deformation, and in annealed specimens it was found that the pearlite structure became larger which resulted in a softer material.

Key Word : Failure Analysis, Apron Feeder, Bushing, Vickers Hardness.

Literature : 21 (2005 -2020)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL.....	xxv
DAFTAR RUMUS	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Kegagalan	5
2.2 Teknologi Membran	7
2.2.1 Jenis-Jenis Kegagalan.....	7
2.2.2 Keausan	9
2.2.3 Fatigue	10
2.3 Pencegahan Kegagalan.....	12
2.4 Apron Feeder	12
2.5 Bushing.....	14
2.6 Baja Karbon (Carbon Steel)	15
2.6.1 Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel).....	17
2.6.2 Baja Karbon Sedang (Medium Carbon Steel).....	17
2.6.3 Baja Karbon Tinggi (High Carbon Steel).....	18
2.7 Baja SCM 415	18
2.8 Contoh Kasus Kerusakan Bushing	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	21

3.1	Diagram Alir Penelitian	21
3.2	Studi Literatur	22
3.3	Persiapan Alat Pengujian	22
3.4	Persiapan Bahan Pengujian.....	22
3.5	Metode Pengujian	23
3.5.1	Pengujian Kekerasan Vickers	23
3.5.2	Pengujian Dye Penetrant Test.....	24
3.5.3	Pengujian Metalografi.....	25
3.5.4	Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF).....	26
3.6	Analisa Pengolahan Data	27
3.7	Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
3.8	Hasil yang Diharapkan.....	27
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		29
4.1	AISI 4140.....	29
4.2	Pengujian Dye Penetrant.....	29
4.3	Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF)	32
4.4	Pengujian Kekerasan (Vickers).....	33
4.4.1	Hasil Pengujian Spesimen Bagus	34
4.4.2	Hasil Pengujian Spesimen Rusak	35
4.4.3	Hasil Pengujian Spesimen Annealing.....	36
4.5	Pengujian Metalografi.....	38
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41
DAFTAR RUJUKAN		i
LAMPIRAN		i

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Patah lelah	10
Gambar 2.2	<i>Apron Feeder</i>	12
Gambar 2.3	Gambar Teknik <i>Apron Feeder</i>	13
Gambar 2.4	<i>Bushing</i>	14
Gambar 2.5	Gambar Teknik <i>Bushing</i>	14
Gambar 2.6	Komposisi Baja Karbon	15
Gambar 2.7	Diagram Fasa Baja Karbon	16
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2	<i>Vickers Hardness Tester</i>	24
Gambar 3.3	Cairan Dye Penetrant Test	25
Gambar 3.4	Metalografi <i>Tester</i>	26
Gambar 3.5	<i>Handheld XRF Analyzer</i>	26
Gambar 4.1	Hasil <i>Dye Penetrant</i> pada Permukaan <i>Bushing</i> Bagus	30
Gambar 4.2	Hasil <i>Dye Penetrant</i> pada Permukaan <i>Bushing</i> Rusak	31
Gambar 4.3	<i>Handheld XRF Analyzer</i>	33
Gambar 4.4	Pengujian Kekerasan pada Spesimen Bagus	34
Gambar 4.5	Pengujian Kekerasan pada Spesimen Rusak	35
Gambar 4.6	Pengujian Kekerasan pada Spesimen yang telah di- <i>Annealing</i>	36
Gambar 4.7	Grafik Nilai Kekerasan <i>Bushing</i>	37
Gambar 4.8	Hasil Metalografi <i>Bushing</i> Bagus dengan Pembesaran 200x	38
Gambar 4.9	Hasil Metalografi <i>Bushing</i> Rusak dengan Pembesaran 500x	39
Gambar 4.10	Hasil Metalografi <i>Annealing</i> dengan Pembesaran 500x	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi baja SCM415	18
Tabel 2.2	<i>Mechanical Properties</i> SCM 415.....	18
Tabel 2.3	<i>Physical Properties</i> SCM 415.....	18
Tabel 4.1	<i>Mechanical Properties</i> AISI 4140	29
Tabel 4.2	Hasil Pengujian <i>XRF</i> pada AISI 4140	32
Tabel 4.3	Data Pengujian Vickers pada Spesimen Bagus.....	34
Tabel 4.4	Data Pengujian Vickers pada Spesimen Rusak.....	35
Tabel 4.5	Data Pengujian Vickers pada Spesimen yang di- <i>Annealing</i>	36

DAFTAR RUMUS

Rumus 3.1 Nilai Kekerasan Vickers.....	23
--	----

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pertambangan khususnya pada pertambangan batubara mempunyai proses pengangkutan dan pengiriman dari lokasi penambangan menuju lokasi selanjutnya. Pada proses pengangkutan biasanya mengalami kendala karena terjadi kerusakan pada komponen sehingga menghambat proses pengiriman. Seringnya terjadi kerusakan komponen pada suatu sistem merupakan hal yang sangat tidak diinginkan dan sangat dihindari karena dapat menyebabkan kemungkinan bahaya bagi manusia yang berada di sekitarnya dan dapat menyebabkan kerugian lainnya (Thike et al., 2019). Untuk mencegah agar tidak terjadi kerusakan yang menyebabkan kegagalan, maka terlebih dahulu dilakukan analisa terhadap kemungkinan kegagalan yang mungkin dapat terjadi pada sebuah sistem. Salah satu alat pengangkutan yang sering mengalami kegagalan adalah *apron feeder*.

Apron feeder adalah salah satu alat yang digunakan dalam proses pengangkutan, tepatnya untuk menampung hasil pembongkaran (*unloading*) batubara dari gerbong kereta api lalu diangkat untuk dipindahkan ke *belt conveyor*. Apron feeder dapat menampung beban sebesar 90 ton dan digerakkan oleh motor berdaya 55 KW, 1500 RPM, dan beroperasi selama 24 jam, *apron feeder* dapat menampung beban bongkar batubara dari 8 rangkaian kereta, waktu proses pembongkaran batubara dari setiap rangkaian kereta dapat menggunakan waktu selama 45 menit sampai dengan 75 menit bergantung jumlah pekerja yang melakukan proses pembongkaran. Proses kerja yang bekerja secara terus – menerus dan pembebanan secara berulang – ulang dapat menyebabkan komponen – komponen pada alat ini mengalami kerusakan, salah satu alat yang sering mengalami kerusakan adalah *bushing*.

Bushing adalah salah satu komponen yang ada pada *apron feeder* yang berperan dalam pergerakan *apron feeder*. *Bushing* adalah komponen yang fungsinya menggantikan *bearing* dan sebagai penahan poros (Barun and Hilman, 2008). *Bushing* terbuat dari bahan baja karbon rendah (*low carbon steel*) dan memiliki kode material SCM415. *Bushing* sering mengalami kerusakan berupa patah yang kemungkinan terjadinya disebabkan akibat *fatigue* karena diberikan pembebanan siklik (berulang – ulang).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis mengambil judul “**Analisis Kerusakan pada *Bushing Apron Feeder***”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dituliskan, terdapat banyak kerusakan yang terjadi pada *bushing apron feeder* seperti penipisan, retak dan deformasi (perubahan bentuk) pada *bushing* saat sedang beroperasi yang dapat menyebabkan menghambat hingga berhentinya proses pengangkutan. Maka penelitian ini akan membahas tentang penyebab kerusakan pada *bushing apron feeder* dengan berfokus pada struktur mikro dan nilai kekerasan material.

1.3 Batasan Masalah

Tidak sedikitnya permasalahan yang muncul maka dibutuhkan pembatasan masalah. Adapun beberapa batasan masalah untuk penelitian ini, antara lain:

1. Menganalisa spesifikasi material *Bushing*.
2. Menganalisa komposisi material *bushing*, mengetahui sifat mekanis material menggunakan pengujian metalografi, dan pengujian kekerasan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa dan mengetahui penyebab kerusakan yang terjadi pada *bushing apron feeder* melalui struktur mikro dari material, nilai kekerasan dari material, melihat cacat permukaan menggunakan *dye penetrant*, dan memberikan rekomendasi perlakuan kepada perusahaan agar kerusakan yang terjadi tidak berulang.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah penulis dapat menerapkan ilmu yang dipelajari, mengetahui sifat fisik dan mekanik setelah melakukan pengujian dan analisa, menambah wawasan tentang analisa kegagalan, dan dapat dijadikan kajian literatur pada penelitian atau pokok bahasan yang sama.

DAFTAR RUJUKAN

- Abri, T. Al et al. (2017) 'Bushing Failure- Investigation process & findings', *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 202, pp. 88–108. doi: 10.1016/j.proeng.2017.09.697.
- Barun, A. and Hilman (2008) 'Perancangan Bushing Metal Bronze Pengganti Bearing pada Mesin Pabrik Gula', pp. 36–45.
- Chandra, T. (2019) 'Analisi Kerusakan pada Bucket Apron Feeder'.
- Didik, E. (2015) 'Analisa Pengaruh Deformasi Plastis Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Baja St 42', XI, pp. 19–26.
- Farrow, D., Baker, J. and Macmahon, C. (2015) 'Introduction to Materials Science and Engineering', *Nhk技研*, 151, pp. 10–17. doi: 10.1145/3132847.3132886.
- Gandy, D. (2007) 'Carbob Steel Handbook', 3(3). Available at: <http://wiki.olisystems.com/wiki/images/0/0c/Carbon-Steel-Handbook.pdf>.
- Goleman, Daniel; Boyatzis, Richard; Mckee, A. (2019) 'No Title', *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), pp. 1689–1699. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Haryono, G., Sugiarto, B. and Farid, H. (2010) 'Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi', *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, pp. 1–6.
- Kurniawan, R. T., Wibisono, A. T. and Noerochim, L. (2017) 'Analisis Kegagalan Komponen Spring Rod dalam Spring Suspension Assembly pada Coal Mill Tuban I PT. Semen Indonesia Tbk.', *Jurnal Teknik ITS*, 6(2). doi: 10.12962/j23373539.v6i2.24476.
- Liu, L. D. and Chen, F. S. (2003) 'The influences of alloy elements on the carburized layer in steels using vacuum carburization in an acetylene atmosphere', *Materials Chemistry and Physics*, 82(2), pp. 288–294. doi: 10.1016/S0254-0584(03)00239-6.
- M, M. Z. and Magga, R. (2017) 'Komersil Dalam Media Air Laut', 8(2), pp. 737–741.
- Miracle, D. B. et al. (2001) 'ASM handbook', 21, p. 3470.
- Murtiono, A. (2012) 'Pengaruh Quenching dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang untuk Mata Pisau Pemanen Sawit', *e-Dinamis*, II(2), pp. 57–70.

- Nusa, M. N. S. (2015) 'Kerusakan Pada Material Baut Pin Akibat Patah Lelah = Cause of Pin Bolt Failure Is Fatigue Fracture', *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 9(3), p. 105. doi: 10.29122/mipi.v9i3.2845.
- Orosa, N. R. (2012) 'Analisis Kegagalan Rear Axle Shaft Truck Kapasitas 7 . 5 Ton Universitas Indonesia Analisis Kegagalan Rear Axle Shaft Truck'.
- pattireuw Kevin J, Rauf F. A, L. R. (2013) 'Analisis Laju Korosi Pada Baja Karbon Dengan Menggunakan Air Laut Dan H 2 So 4', Universitas Sam Ratulangi Manado. doi: 10.1097/00012272-200209000-00004.
- Pramono, B. B. (2019) 'Penggunaan Dye Penetrant dan Ultrasonic Testing pada Kolimator Nikel Murni : metode Non-Destructive Testing'.
- Prastowo, A. E. (2008) 'Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Baja Karbon Rendah'.
- Purkuncoro, A. E. (2018) 'Analisis Pengaruh Proses Annealing Untuk Menghilangkan Tegangan Sisa Akibat Proses Pengelasan pada Pembuatan Drum Ketel Uap', pp. 36–44.
- Puspasari, V. et al. (2020) 'Pengaruh Annealing Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Tahan Karat AISI 410', pp. 75–82.
- Rahmatullah, R. and Ahmad, R. (2018) 'Analisa Pengujian Lelah Material Bronze Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine', *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 1(1), pp. 1–11. doi: 10.30596/rmme.v1i1.2430.
- Rohman, H. F. et al. (2014) 'Pengaruh Proses Heat Treatment Annealing Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Pada Sambungan Las Thermite Baja Np-42', *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 2(3), pp. 195–203.
- Rosika, K., Dian, A. and Djoko, K. (2007) 'Pengujian Kemampuan XRF untuk Analisis Komposisi Unsur Paduan Zr-Sn-Cr-Fe-Ni', *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR – BATAN Bandung*, 17 – 18 Juli 2007, pp. 17–18.
- Sachs, N. W. (2005) 'Understanding the surface features of fatigue fractures: How they describe the failure cause and the failure history', *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 5(2), pp. 11–15. doi: 10.1361/15477020522924.
- Sidiq, M. F. (2013) 'Analisa Korosi dan Pengendaliannya', 3(1).
- Suarsana, I. K. (2016) 'Analisa perpatahan', Diklat.
- Syofyan, A. and D.N.Adnyana (2018) 'Analisa Kegagalan Swing Drive Wheel Exavator M 322 C', 2(1), pp. 227–249.
- Thike, P. H. et al. (2019) 'Materials failure analysis utilizing rule-case based hybrid reasoning method', *Engineering Failure Analysis*. Elsevier, 95(February 2018), pp. 300–311. doi: 10.1016/j.engfailanal.2018.09.033.

- Utomo, B. (2012) 'Jenis Korosi Dan Penanggulangannya', *Kapal*, 6(2), pp. 138–141. doi: 10.12777/kpl.6.2.138-141.
- Wardoyo, J. T. (2005) 'Metode Peningkatan Tegangan Tarik dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah Melalui Baja Fasa Ganda', *Teknoin*, 10(3), pp. 237–248. doi: 10.20885/teknoin.vol10.iss3.art6.