

ANALISA KEGAGALAN PADA SPIDER THRESHER DI PABRIK

KELAPA SAWIT (PKS)

TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memeperoleh Gelar Sarjana Strata Satu Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Islam Riau*



Oleh:

RIKI ANDRI ANSIA

14.331.0021

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2020

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**ANALISA KEGAGALAN PADA SPIDER THRESHER
DI PABRIK KELAPA SAWIT (PKS)**

Disusun Oleh :

RIKI ANDRI ANSIA
14.331.0021

**Telah Diuji Didepan Dewan Penguji Pada Tanggal
11 Mei 2020 dan Dinyatakan
Telah Memenuhi Syarat Diterima**

Disetujui oleh :

Pembimbing

DODY YULIANTO, ST., MT
NIDN. 1029077302

Disahkan Oleh :

**Pekanbaru, Mei 2020
Ketua Program Studi
Teknik Mesin**

DODY YULIANTO, ST., MT
NIDN. 1029077302

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Riki Andri Ansia
NPM : 14.331.0021
Fakultas/Prodi : TEKNIK / Program Studi Teknik Mesin
Judul TA : Analisa Kegagalan Pada Siper Thresher di Pabrik Kelapa Sawit (PKS)

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa penulisan Tugas Akhir ini adalah hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari Karya Tulis saya sendiri, baik dari naskah laporan maupun data – data yang tercantum sebagai bagian dari Tugas Akhir ini. Jika terdapat Karya Tulis milik orang lain, saya akan mencantumkan sumber dengan jelas di Daftar Pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Riau – Pekanbaru.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan kondisi sehat serta tanpa paksaan dari siapapun.

Pekanbaru, Mei 2020
Yang Membuat Pernyataan,




Riki Andri Ansia
14.331.0021

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, karunia dan hidayahnya serta memberikan kesempatan pada penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan judul “Analisa Kegagalan Pada Spider Thresher Di Pabrik Kelapa Sawit (PKS).” skripsi ini penulis susun guna memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Strata 1 (S1) Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Shalawat dan salam senantiasa selalu diucapkan kepada baginda Rasulullah Muhammad saw, yang telah membawa kita dari zaman kebodohan hingga zaman yang penuh ilmu seperti sekarang ini, sekaligus menjadi sosok panutan dan tauladan yang sempurna untuk menjalani hidup dan keselamatan jiwa diakhirat kelak. Penyelesaian penulisan skripsi ini dilakukan melalui tahap yang sesuai dengan prosedur, namun demikian penulis menyadari sepenuhnya bahwa isi dari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna baik dari sisi sistematika maupun dalam penggunaan Bahasa tak luput dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kepada semua pihak dapat memberikan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan skripsi untuk masa yang akan datang, demikianlah skripsi ini dibuat semoga bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Pekanbaru, Mei 2020
Penulis,

Riki andri ansia

UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah, puji syukur penulis ucapkan kepada ALLAH SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Tak lupa pula penulis mengirimkan salam dan shalawat kepada Nabi Besar Muhammad SAW yang telah membawa umat islam ke jalan yang diridhoi ALLAH SWT.

Penulisan skripsi ini tidak akan terselesaikan jika tidak ada dorongan dari berbagai pihak yang telah membantu. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya dan sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang digerakkan hatinya oleh Allah Subhanahu wata'ala untuk membantu hingga pada penyelesaian skripsi ini.

Ucapan terima kasih yang sangat istimewa yang tidak dapat digambarkan dengan kata-kata untuk Ayahanda Sayat, dan Ibunda Semi tercinta yang senantiasa mendo'akan, membimbing, memberikan restu, mendidik, memberikan semangat, dan motivasi yang sangat besar sehingga penulis menjadi sosok seperti yang sekarang ini.

Penulis juga menyadari dalam proses penyelesaian skripsi ini tentu banyak pihak-pihak yang membantu dengan ketulusan dan keikhlasan hati memberikan adil yang positif, untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi SH., MCL. sebagai Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, ST., MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
3. Bapak Dody Yulianto ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin sekaligus sebagai pembimbing tugas akhir yang telah banyak meluangkan banyak waktu dan senantiasa memberi dukungan dan menyumbangkan pikiran yang sangat luar biasa selama penyusunan tugas akhir penulis.
4. Bapak Dr. Dedi Karni, ST., M.Sc. selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak dan ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik yang telah tulus sepenuh hati memberikan ilmu kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Keluarga kecil penulis ditengah orang (anak-anak kos) Prima Ardianto ST, Eko Vanbudi SH (muler), dan Teguh Nuryadin ST (ondeng).
7. Teman-teman penulis Andi Anjaswara ST (contong), M Bram Akmaja ST, Astra Wijaya ST (kreak), Budi Saputra ST, Fajar Ramadhani ST (Bolot), Arif Dedikurniawan ST (kiteng), Pandu Pratama ST, Yudi Syahbadri ST, Yudo Siswanto ST, Herdiansyah Putra ST, Danang Rianto, Baharudin Efendi S ST (udin), Samuel Alfon ST (tarigan), Afrizal Fadli S (aseng), Eko saputra ST (wakwaw), Syafril Oktari ST, dan Tri Putra Rizky. yang selalu memberikan motifasi, semangat, dan bantuan yang sangat berharga, terima kasih atas semua tingkah laku kalian selama ini.

8. Kepada teman-teman seperjuangan Angkatan 14 yang telah banyak memberikan cerita dan pengalaman dalam kehidupan penulis selama masa studi (salam solidarity forever).
9. Keluarga dan saudara yang selalu memberikan dorongan dan semangat yang berulang-ulang selama penyusunan tugas akhir penulis.
10. Kepada semua pihak yang tidak sempat penulis tuliskan satu persatu dan telah memberikan kontribusi secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian studi, penulis mengucapkan banyak terimakasih atas bantuannya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masi banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis memohon maaf bila ada kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Kritik dan saran kami hargai demi kesempurnaan penulisan serupa dimasa yang akan datang. Besar harapan penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dapat bernilai positif bagi semua pihak yang membutuhkan.

Pekanbaru, April 2020

Penulis,

Riki andri ansia

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GRAFIK	x
DAFTAR NOTASI	xi
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Stasiun Thresher	5
2.1.1 Bagian-Bagian Utama Stasiun Thresher.....	5
2.1.2 Tujuan Dari Disain Stasiun Thresher.....	6
2.2 Baja.....	7
2.2.1 Klarifikasi Baja	8
2.2.2 Baja Paduan	10
2.2.3 Pengaruh Unsur Paduan.....	12

2.3 Kegagalan.....	15
2.3.1 Pengujian Logam	21
2.3.2 Uji Kekerasan	22
2.3.3 Pengamatan Visual	27
2.3.4 Pengamatan Struktur Mikro.....	27
2.3.5 Uji komposisi Kimia.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Diagram Alir Penelitian	32
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.3 Alat dan Bahan	33
3.3.1 Alat.....	33
3.3.2 Bahan	34
3.4 Metode Pengujian Bahan	34
3.4.1 Uji Kekerasan	34
3.4.2 Pengamatan Visual	35
3.4.3 Pengamatan Struktur Mikro.....	35
3.4.4 Uji Komposisi kimia.....	37
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Hasil Penelitian	39
4.1.1 Pengamatan Hasil Visual.....	39
4.1.2 Hasil Komposisi Kimia.....	41
4.1.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro	42
4.1.4 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> Material.....	44
4.2 Pembahasan.....	46
BAB V PENUTUP.....	48
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran.....	49

DAFTAR PUSTAKA 50

LAMPIRAN



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Drum Thresher	6
Gambar 2.2 <i>Station Streshing</i>	7
Gambar 2.3 Ferrite	11
Gambar 2.4 Flakes Graphite Pada struktur Pearlite	12
Gambar 2.5 Patah Ulet	18
Gambar 2.6 Patah Getas	19
Gambar 2.7 Patah Lelah	19
Gambar 2.8 Retak Korosi	20
Gambar 2.9 Parameter-parameter dasar pada pengujian Brinell	23
Gambar 2.10 Tipe-tipe lekukan piramid intan	25
Gambar 2.11 Pengamatan Struktur Mikro	30
Gambar 2.12 <i>Spectrometer</i>	31
Gambar 3.1 Spesimen uji Kekerasan ASTM E-92	35
Gambar 3.2 Spesimen pengamatan mikrostruktur	36
Gambar 3.3 Spesimen Uji Komposisi	38
Gambar 4.1 Foto <i>spider thresher</i> bagian belakang	39
Gambar 4.2 Foto <i>spider thresher</i> bagian depan	40
Gambar 4.3 Sampel uji komposisi kimia	41
Gambar 4.4 Sampel pengamatan struktur mikro	42
Gambar 4.5 Foto struktur mikro perbesaran 100 X	43
Gambar 4.6 Sampel uji kekerasan	44

DAFTAR TABEL

Table 4.1 Data hasil uji komposisi kimia.....	41
Table 4.2 Data hasil uji kekerasan vickers.....	45



DAFTAR GRAFIK

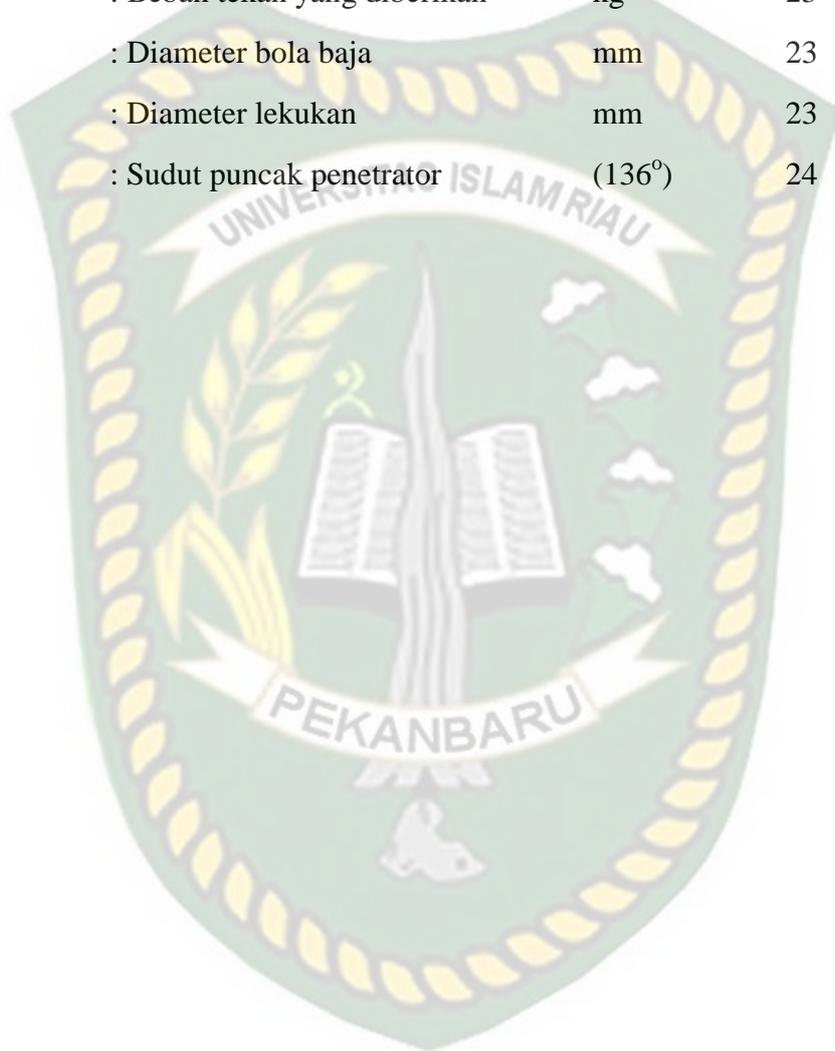
Grafik 4.1 Nilai kekerasan pada material..... 45



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR NOTASI

<u>Symbol</u>	<u>Uraian symbol</u>	<u>Satuan</u>	<u>Halaman</u>
P	: Beban tekan yang diberikan	kg	23
D	: Diameter bola baja	mm	23
d	: Diameter lekukan	mm	23
θ	: Sudut puncak penetrator	(136°)	24



ANALISA KEGAGALAN PADA SPIDER THRESHER DI PABRIK KELAPA SAWIT (PKS)

Riki Andri Ansia, Dody Yulianto

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Email: Rikiandriansia@gmail.com

ABSTRAK

Thresher merupakan salah satu stasiun inti didalam pabrik kelapa sawit yang berfungsi untuk memisahkan buah dari janjangan sawit. *Spider thresher* berfungsi sebagai penyangga antara poros ke drum *thresher*. Komponen *spider thresher* merupakan batang yang berbentuk persegi yang tersambung dari poros ke drum *thresher*. Dalam penelitian ini, dilakukan analisa penyebab terjadinya kegagalan pada *spider thresher* di pabrik kelapa sawit (PKS) dengan tujuan menganalisa faktor penyebab dan mekanisme terjadinya kegagalan komponen *spider thresher* pada pabrik kelapa sawit. Pengujian yang dilakukan untuk menganalisa kegagalan ini adalah uji komposisi, pengamatan visual, pengamatan mikrostruktur dan uji kekerasan. Nilai kekerasan dari tiga titik indentasi adalah 1 : 158 HV, 2 : 172 HV, dan 3 : 169 HV memiliki nilai rata-rata sebesar 166 HV, setelah dilakukan pengujian tersebut didapatkan faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *spider thresher* pada pabrik kelapa sawit yaitu kesalahan pemilihan material. Mekanisme kegagalan komponen *spider thresher* pada pabrik kelapa sawit diawali oleh *initial crack* ditengah lengkungan spider dikarenakan adanya tegangan yang berulang yang kemudian tegangan merambat pada permukaan *spider thresher* sebelum terjadinya *final fracture* dikarenakan *spider shresher* tidak mampu menahan tegangan yang terjadi sehingga menyebabkan *fatigue failure*.

Kata Kunci: *Spider thresher*, Kegagalan, Keretakan.

FAILURE ANALYSIS OF SPIDER THRESHER IN PALM OIL MILLS (PKS)

Riki Andri Ansia, Dody Yulianto

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

Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
Email: Rikiandriansia@gmail.com

Abstract

Thresher is one of the core stations in the palm oil mill that functions to separate the fruit from the palm oil branches. Spider thresher serves as a buffer between the shaft to the drum thresher. The spider thresher component is a square rod that is connected from the shaft to the drum thresher. In this study, an analysis of the causes of spider thresher failure in palm oil mills (PKS) was conducted with the aim of analyzing the causal factors and mechanisms for the failure of spider thresher components in oil palm mills. Tests conducted to analyze this failure are composition test, visual observation, microstructure observation and hardness test. The hardness value of the three indentation points is 1: 158 HV, 2: 172 HV, and 3: 169 HV has an average value of 166 HV, after testing it is found that the factors that cause the failure of spider thresher components in the palm oil plant are an error material selection. The failure mechanism of the spider thresher component in the palm oil mill is initiated by the initial crack in the middle of the spider arch due to the repetitive stress which then the voltage propagates on the surface of the spider thresher before the final fracture occurs because the spider shresher is unable to withstand the stresses that occur causing a fatigue failure.

Keywords: Spider thresher, Failure, Cracks.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam upaya memperlancar pengolahan CPO di PKS, dibutuhkan peralatan pendukung produksi. Salah satunya adalah stasiun *thresher*, yang berfungsi untuk memisahkan buah dari janjangannya dengan cara membanting tandan buah segar (TBS) ke dalam drum *thresher*.

Saat pabrik beroperasi kondisi *thresher* harus dijaga dengan baik sehingga proses produksi tidak terganggu. Jika terjadi masalah pada unit *thresher* maka proses produksi pengolahan kelapa sawit menjadi minyak sawit/cpo akan terhenti, dan berimbas kepada kurangnya stok minyak sawit/cpo selanjutnya dapat menghambat pengiriman pesanan minyak sawit/cpo kepada konsumen. Hal tersebut dapat menurunkan kepercayaan konsumen.

Selain itu dampak yang timbul akibat terjadinya kerusakan pada *spider thresher* adalah menumpuknya tandan buah segar (TBS) di *loading ramp* yang sudah siap diolah, sehingga TBS akan terlalu matang dan mulai mengalami pembusukan, hal ini sangat berpengaruh terhadap kualitas CPO.

Stasiun *thresher* sangat dibutuhkan pada saat PKS beroperasi, saat dilakukan *maintenance* rutin selama seminggu sekali di stasiun *thresher* sering dijumpai retakan-retakan halus yang menyebar dibagian-bagian *spider thresher*, keretakan ini terjadi pada saat umur pakai *thresher* sudah berjalan selama 1-2

tahun, sedangkan umur pakai *thresher* sendiri sudah ditentukan selama 4 tahun masa pemakaian.

Melihat pentingnya unit *thresher* pada pabrik kelapa sawit (PKS) dan untuk menghindari/meminimalisir kerusakan yang sama, maka dilakukan suatu studi mengenai penyebab kerusakan/kegagalan dengan cara pengamatan visual dan pengamatan uji laboratorium. Dengan dilakukannya kajian kerusakan tersebut diharapkan dapat mengetahui faktor-faktor penyebab kerusakan dari *thresher* tersebut, sehingga dapat diambil kesimpulan atau pencegahan timbulnya kerusakan yang sama yang berguna dimasa yang akan datang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis merumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan penyebab kegagalan pada *spider thresher* tersebut?
2. Bagaimana cara meningkatkan umur pemakaian dari kegagalan pada *spider thresher*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Supaya *spider thresher* bisa bertahan lebih lama dari pada sebelumnya.
2. Agar proses produksi mengalami peningkatan.
3. Waktu *maintenance* bisa dikurangi.

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. Hanya menganalisa kegagalan pada *spider thresher*.
2. Pengujian menggunakan uji komposisi kimia material, pengamatan visual, pengamatan struktur mikro, dan uji kekerasan.
3. Menggunakan bahan baja karbon rendah.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan melalui pengujian laboratorium diharapkan adanya manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini, yaitu:

1. Pengembangan Akademis

Penyusun dapat menerapkan ilmu yang telah dipelajari dan dapat memberi pengetahuan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan kepada pembaca atau ahli permesinan dan konsumen sebagai referensi pengembangan penelitian selanjutnya sehingga bermanfaat untuk memperkaya khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi.

2. Pengembangan Industri

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada dunia permesinan serta kemajuan industri terutama diindustri kelapa sawit, komponen mesin industri dan industri lain yang menggunakan baja karbon rendah sebagai material pendukungnya.

1.6 Sistematika penulisan

Penyusunan ini bisa dijadikan untuk tugas akhir terbagi dalam lima bab secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bagian pendahuluan berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan analisa kegagalan pada spider thresher yang berkaitan dengan masalah yang dibahas.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini memberikan informasi mengenai tempat dan waktu pelaksanaan penelitian, peralatan yang digunakan, tahapan, dan prosedur penelitian.

Bab IV Hasil Dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang hasil penelitian dan pembahasan dari analisa kegagalan pada spider thresher.

Bab V Penutup

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stasiun Thresher

Thresher adalah alat yang berfungsi untuk memisahkan buah dari janjangan sawit dengan cara membanting tandan buah segar (TBS) didalam drum *thresher* secara berulang-ulang yang sudah direbus di *sterilizer*. *Thresher* ini berupa drum silinder berdiameter 210 cm dan Panjang 590 cm yang berputar secara horizontal dengan kecepatan konstan putaran antara 23-24 rpm. Drum dirancang memiliki kisi-kisi yang berjarak antara 40 mm sampai 50 mm untuk proses keluarnya buah dan dilengkapi dengan sirip (*Stripper*) untuk mengangkat janjangan dan membawanya keujung drum sehingga tandan buah yang kosong bisa keluar dari drum *thresher*. *Thresher* ini berkapasitas 40 ton/jam. Stasiun *thresher* ini terdiri dari berbagai bagian alat dan mesin dan dalam proses pengoperasiannya sangat berkaitan antara satu dengan yang lainnya.

2.1.1 Bagian-bagian utama stasiun thresher

1. Body.

Body ini sendiri terbuat dari plat yang berbentuk tirus kebawah, bertujuan untuk mengarahkan buah jatuh tepat di *below conveyor* dan akan dibawa ke digester melalui beberapa conveyor dan *fruit elevator*.

2. Drum Thresher.

Drum ini adalah alat utama yang digunakan untuk melakukan pelepasan buah dari tandannya. Pelepasan ini berlangsung didalam drum thresher oleh shaft drum yang berputar sehingga terjadi bantingan.



Gambar 2.1 Drum Thresher

(<https://uwa-pabriksawit.blogspot.com>)

2.1.2 Tujuan dari disain stasiun thresher

1. Untuk melepaskan buah dari tandan buah (tandan buah segar yang sudah direbus) dengan cara dibanting.
2. Untuk menjaga kestabilan yang kontinu sehingga kapasitas pengolahan tandan buah segar bisa tercapai sesuai dengan disain pabrik.

3. Kapasitas disain saja tidak cukup untuk mendapatkan tujuan diatas tanpa pengoperasian alat yang benar pada stasiun ini maupun dukungan-dukungan dari stasiun lainnya (Ucok damanik, 2012).



Gambar 2.2 *Station Streshing*.
(<https://rendemen.wordpress.com>)

2.2 Baja

Baja adalah besi karbon campuran logam yang dapat berisi konsentrasi dari elemen campuran lainnya, ada ribuan campuran logam lainnya yang mempunyai perlakuan bahan dan komposisi berbeda. Sifat mekanis pada baja bergantung kepada kandungan karbon, dimana secara normal kandungan karbonnya kurang dari 1,0%. Sebagian dari baja umumnya digolongkan menurut konsentrasi karbonnya, yaitu jenis karbon rendah, karbon sedang dan karbon tinggi.

Baja merupakan bahan dasar vital untuk industri. Semua segmen kehidupan, mulai dari peralatan dapur, transportasi, generator pembangkit listrik, sampai kerangka gedung dan jembatan menggunakan baja. Besi baja menduduki peringkat pertama diantara barang tambang logam dan produknya melingkupi hampir 90% dari barang berbahan logam.

2.2.1 Klasifikasi Baja

Berdasarkan tinggi rendahnya prosentase karbon didalam baja, baja dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*).

Baja jenis ini mempunyai kandungan karbon dibawah 0,30%. Baja karbon rendah tidak merespon pada perlakuan panas (*heat treatment*) yang bertujuan untuk mengubah struktur mikronya menjadi martensit. Penguatan (*strengthening*) dapat dilakukan dengan perlakuan dingin (*cold work*). Struktur mikro baja karbon rendah terdiri dari unsur pokok ferit dan perlit, karena itu baja ini relatif lunak dan lemah tapi sangat bagus pada kelenturannya dan kekerasannya serta baja jenis ini *machinable* dan kemampulasan yang baik. Baja karbon rendah sering digunakan pada:

- Baja karbon rendah yang mengandung 0,04% - 0,10% C untuk dijadikan baja-baja plat atau strip.
- Baja karbon rendah yang mengandung 0,05% C digunakan untuk keperluan badan-badan kendaraan.

- Baja karbon rendah yang mengandung 0,15% - 0,30% C digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, membuat baut atau dijadikan baja konstruksi.

Biasanya karbon jenis ini memiliki sifat-sifat mekanik antara lain memiliki kekuatan luluh 275 MPa (40.000 psi), kekuatan maksimum antara 415 dan 550 MPa (60.000 sampai 80.000 psi), dan kelenturan 25% EL (elongation).

2. Baja Karbon Sedang (*medium carbon steel*).

Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon antara 0,30 dan 0,60%. Baja jenis ini dapat diberi perlakuan panas austenizing, quenching, dan tempering untuk memperbaiki sifat-sifat mekaniknya. Baja karbon sedang memiliki kemampukerasan yang rendah serta dapat berhasil diberi perlakuan panas hanya dibagian-bagian yang sangat tipis dan dengan rasio *quenching* yang sangat cepat. Penambahan kromium, nikel dan *molybdenum* dapat memperbaiki kapasitas logam ini untuk diberikan perlakuan panas, untuk menaikkan kekuatan-kelenturannya yang berdampak pada penurunan nilai kekerasannya. Baja karbon sedang ini biasa dipakai untuk roda dan rel kereta api, *gears*, *crankshafts*, dan bagian-bagian mesin lainnya yang membutuhkan kombinasi dari kekuatan tinggi, tahan aus dan keras.

3. Baja Karbon Tinggi.

Baja karbon tinggi biasanya memiliki kandungan karbon antara 0,60 dan 1,50%. Baja karbon tinggi adalah adalah baja yang paling keras dan kuat serta

paling rendah kelenturannya diantara baja karbon lainnya. Baja ini mempunyai tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat perkakas seperti palu, gergaji, atau pahat potong. Selain itu baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lain sebagainya.

2.2.2 Baja Paduan.

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran. Seperti nikel, kromium, *molybdenum*, vanadium, mangan dan *wolfram* yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat yang dikehendaki (kuat, keras). Suatu kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran, misalnya baja yang dicampur dengan unsur kromium dan *molybdenum*, akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras yang baik dan sifat kenyal (sifat logam ini membuat baja dapat dibentuk dengan cara dipalu ditempa, digiling, dan ditarik). Jika dicampur dengan krom dan molibdenum akan menghasilkan sifat kenyal yang memuaskan serta tahan terhadap panas. Baja paduan dihasilkan dengan biaya untuk penambahannya yang khusus yang dilakukan dalam industri pabrik.

terdapat 2 bentuk utama Kristal saat karbon mengadakan ikatan dengan besi, yaitu:

- a) *Ferrit*, yaitu besi murni (*fe*) terletak sangat rapat dan berdekatan tetapi tidak teratur, baik bentuk atau pun besarnya, ferit ini adalah jenis baja yang paling lunak sehingga tidak cocok jika digunakan sebagai bahan benda kerja karena kekuatannya sangat kecil.



Gambar 2.3 Ferrite

(Sudjana, H. 2008. Teknik Pengecoran logam.)

- b) *Perlit*, merupakan campuran dari *ferrit* dan *sementit* dengan kandungan karbon sebesar 0,8% struktur ini memiliki kristal *ferrit* sendiri.



Gambar 2.4 Flakes Graphite Pada struktur Pearlite
(Sudjana, H. 2008. Teknik Pengecoran logam.)

2.2.3 Pengaruh Unsur Paduan

Baja memiliki kandungan utama Fe dan C, kemudian ditambahkan unsur paduan dengan jumlah tertentu. Jumlah unsur paduan sangat rendah biasanya sedikit mempengaruhi sifat mekanik atau sifat-sifat khusus dari baja tersebut. Baja yang memiliki unsur paduan rendah dalam penggunaannya tanpa mempertimbangkan sifat mekanis atau sifat khusus, baja ini dikenal dengan baja karbon biasa atau sering disebut dengan *plain carbon steel*, tetapi untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis dan sifat-sifat khusus sesuai dengan yang diinginkan maka didalam baja ditambahkan unsur paduan dalam persentase yang relatif tinggi. Setiap unsur paduan yang ditambahkan memiliki pengaruh yang berbeda dan pada prinsipnya adalah memperbaiki kekurangan dari sifat-sifat yang dimiliki oleh baja karbon. Berikut adalah pengaruhnya terhadap paduan baja:

1. Karbon (C)

Logam baja ditambahkan dengan unsur karbon akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan melalui perlakuan pemanasan tapi penambahan karbon dapat memperlebar range nilai kekerasan dan kekuatan bahan. Selain itu, karbon larut dalam ferit dan membentuk sementit, perlit dan bainit, mempermudah dalam proses pemesinan dan pengelasan.

2. Silikon (Si)

Mempunyai sifat elastis / keuletannya tinggi. Silikon mampu menaikkan kekerasan dan elastisitas akan tetapi menurunkan kekuatan tarik dan keuletan dari baja. Tapi penambahan silikon yang berlebihan akan menyebabkan baja tersebut mudah retak. Silikon berupa massa hitam mirip logam yang meleleh pada 1410°C. Unsur ini mempunyai kecenderungan yang kuat untuk berikatan dengan oksigen dan sifat seratnya tahan api.

3. Mangan (Mn)

Mempunyai sifat yang tahan terhadap gesekan dan tahan tekanan (impact load). Unsur ini mudah berubah kekerasannya pada kondisi temperatur yang tidak tetap dan juga digunakan untuk membuat *alloy* mangan tembaga yang bersifat *ferromagnetic* Selain itu mangan berfungsi sebagai bahan oksidiser (mengurangi kadar O dalam baja), menurunkan kerentanan *hot shortness* pada aplikasi pengerjaan panas. Mangan dapat larut, membentuk *solid solution strength* dan *hardness*. Dengan S membentuk Mangan Sulfida, meningkatkan sifat pemesinan

(*machineability*). menurunkan sifat mampu las (*weldability*) dan keuletannya serta meningkatkan *hardenability* baja.

4. Posfor (P)

Dengan penambahan sedikit unsur Posfor, maksimum 0,04% dapat membantu meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosi. Kehadiran Posfor didalam *stainless steel* austenitik dapat meningkatkan kekuatan. Penambahan Posfor juga dapat meningkatkan kerentanan terhadap *crack* saat pengelasan.

5. Belerang (S)

Sulfur dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat mampu mesin. Keuntungan sulfur pada temperatur biasa dapat memberikan ketahanan pada gesekan tinggi.

6. *Chromium* (Cr)

Chromium dengan karbon membentuk karbida dapat menambah dan menaikkan daya tahan korosi dan daya tahan terhadap oksidasi yang tinggi dan berdampak keuletan paduannya berkurang. Selain itu, dapat digunakan untuk meningkatkan mampu las dan mampu panas baja. Kekuatan tarik, ketangguhan serta ketahanan terhadap abrasi juga bisa meningkat. Bisa juga meningkatkan *hardenability* material jika mencapai kandungan 50%.

7. Nikel (Ni)

Nikel memberi pengaruh sama seperti Mn yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Ni membuat struktur butiran menjadi halus dan menambah keuletan. Nikel sangat penting untuk

kekuatan dan ketangguhan dalam baja dengan cara mempengaruhi proses transformasi fasanya. Jika kandungan Ni banyak maka austenit akan stabil hingga mencapai temperatur kamar. Selain itu nikel juga mampu menaikkan kekuatan, ketangguhan dan meningkatkan ketahanan korosi.

8. Molibdenum (Mo)

Molibdenum mengurangi kerapuhan pada baja karbon tinggi, menstabilkan karbida serta memperbaiki kekuatan baja Meningkatkan kemampukerasan baja, menurunkan kerentanan terhadap *temper embrittlement* (400 – 500 °C), meningkatkan kekuatan tarik pada temperatur tinggi dan kekuatan *creep*.

9. Titanium (Ti)

Titanium adalah logam yang lunak, tapi bila dipadukan dengan nikel dan karbon akan lebih kuat, tahan aus, tahan temperatur, dan tahan korosi Unsur titanium (Ti) dapat berfungsi sebagai deoksidiser dan pengontrolan dalam pertumbuhan butir.

2.3 Kegagalan

Kegagalan dapat diartikan sebagai kerusakan yang tidak wajar atau kerusakan yang terjadi sebelum habis waktu pakai yang sudah diperkirakan/ditentukan atau rusak sebelum waktunya. Sedangkan analisa kegagalan (*Failure analysis*) adalah suatu analisa yang bertujuan untuk mengetahui penyebab-penyebab kerusakan yang bersifat spesifik yang terjadi pada peralatan utama, peralatan pendukung, dan peralatan instalasi pabrik. Jenis-

jenis Analisa kegagalan pada material berupa patahan, retakan, dan korosi. Kegagalan tersebut bisa saja terjadi pada saat proses manufacturing, perakitan, pembuatan atau pun pengoperasian yang tidak sesuai dengan prosedur disain. Sehingga diperlukan Analisa kegagalan untuk mengetahui penyebab-penyebab kerusakan dan sebagai timbal balik perbaikan disain, material, dan perlakuan panas terhadap komponen. Suatu komponen atau peralatan dapat dikatakan gagal, jika:

1. Sama sekali tidak dapat dioperasikan.
2. Dapat dioperasikan, tetapi tidak berfungsi dengan baik.
3. Ada kerusakan, sehingga tidak aman jika dioperasikan.

Ada empat faktor yang berhubungan dengan Analisa kegagalan, yaitu:

1. Seleksi material.

Kegagalan terjadi pada proses seleksi material yang terlalu terburu-buru, sering terjadi pada plastic ataupun industry lain. Data pemilihan material tidak lengkap.

2. Disain.

Disain yang menyimpang dari tujuan yang sebenarnya.

3. Proses.

Proses-proses yang menimbulkan tegangan sisa seperti forming, machining, dan grinding ataupun proses yang menyebabkan keretakan seperti celup cepat.

4. Kondisi service.

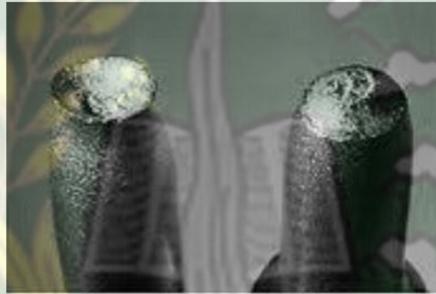
Walaupun panduan peringatan dan panduan penggunaan sudah ada, kegagalan karna kondisi service juga sering terjadi. tiga kategori kondisi service yang sering terjadi:

- a) Pemakaian produk yang tidak tepat.
 - b) Batas pemakaian produk sudah melewati jangka penggunaan (life time).
 - c) Kondisi kegagalan akibat perlakuan service yang tidak teratur.
- 1) Berikut metode dasar untuk menganalisa kerusakan:
- a) Pengamatan visual.
 - b) Anlisa stress.
 - c) Microtoming.
 - d) Uji mekanik.
 - e) Analisa termal.
- 2) Komponen dikatakan gagal apabila masuk dalam kriteria sebagai berikut:
- a) Komponen tidak dapat beroperasi atau tidak dapat digunakan.
 - b) Komponen dapat digunakan tetapi masa umurnya terlalu pendek (tidak sesuai dengan umur yang dikehendaki).
 - c) Bentuk komponen mengalami kelainan bila digunakan bisa membahayakan.

3) Kegagalan biasanya diawali dengan perambatan retak sehingga menyebabkan kegagalan. Retakan yang terjadi dapat dikategorikan melalui ciri-ciri mikroskopis sebagai berikut:

a) Patah Ulet (*Ductile fracture*).

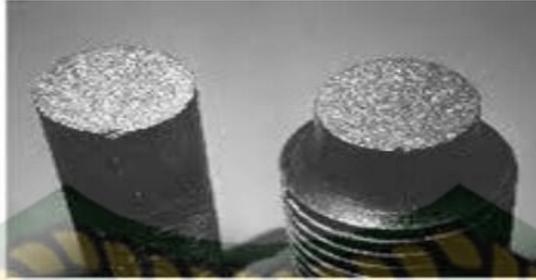
Patah ulet disebabkan oleh beban statis apabila beban dihilangkan maka perambatan retak akan berhenti, bentuk patahan pun akan nampak kasar.



Gambar 2.5. Patah Ulet
(Ilhamudzakir, n.d.)

b) Patah Getas (*Brittle Fracture*).

Patah getas biasanya ditandai dengan perambatan retak yang sangat cepat dan penyerapan energi yang lebih sedikit dan tidak disertai dengan deformasi plastis. Permukaannya pun tampak rata.



Gambar 2.6. Patah Getas
(Ilhammudzakir, n.d.)

c) Patah Lelah (*Fatigue Fracture*).

Patah lelah terjadi akibat pembebanan yang terjadi secara berulang-ulang meskipun harga nominal tegangannya dibawah kekuatan luluh material, patah lelah berawal dari pemusatan tegangan yang sangat tinggi dan akan menimbulkan deformasi plastis, ditempat ini lah retakan mulai terjadi yang selanjutnya retakan tersebut merambat lebih jauh sehingga luas penampang yang tersisa tidak mampu lagi menahan beban dan terjadi patahan.

Patah Lelah

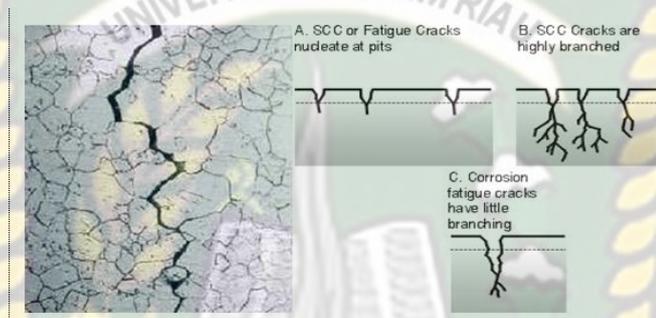


Sebuah poros engkol yg mengalami patah lelah

Gambar 2.7. Patah Lelah
(Ilhammudzakir, n.d.)

d) Retak Korosi Tegangan (*Stress Corrosion Cracking*).

Retak korosi adalah tegangan yang terjadi akibat gabungan antara tegangan Tarik dan ion-ion atau bahan kimia yang berada di lingkungan material retak ini mengikuti alur batas butir, jika dilihat secara makro retakan ini seperti ranting atau akar pohon yang menyabang.



Gambar 2.8. Retak Korosi

(Ilhamudzakir, n.d.)

e) Penggetasan (*Embrittlement*).

Penggetasan ini terjadi pada material yang peka terhadap beban akibat penggetasan hydrogen. Atom-atom hydrogen yang larut interstisi dapat bertemu dan menyatu menjadi molekul gas hydrogen yang menyebabkan patahnya material karena gas yang terperangkap tersebut tidak memiliki ruang yang cukup dan menimbulkan tegangan yang tinggi, gas ini masuk akibat pengerjaan atau pengelasan di lingkungan yang banyak mengandung gas hydrogen.

f) Mulur (*Creep*) dan *Stress Rupture*.

Peristiwa mulur yang dimaksud adalah deformasi yang terjadi seiring dengan berjalannya waktu, peristiwa mulur ini terjadi apabila komponen bekerja pada suhu yang tinggi diatas 0,4 atau 0,5 titik cair, sedangkan *stress rupture* selain disertai dengan deformasi plastis juga disertai dengan retakan intergranular yang terjadi disekitar retakan (Ilhammudzakir, n.d.)

2.3.1 Pengujian Logam

Pengujian logam adalah proses yang dilakukan untuk pemeriksaan bahan-bahan sehingga kita dapat mengetahui sifat-sifat dan karakteristiknya, seperti sifat fisik, sifat mekanik, bentuk struktur, dan unsur-unsur kimia yang terkandung didalam material logam tersebut.

Pengujian dikelompokkan menjadi tiga bagian berdasarkan peroses pengujiannya, yaitu:

1. *Destructive test* (DT), yaitu proses pengujian material logam yang menimbulkan kerusakan pada material atau benda uji.
2. *Non Destructive Test* (NDT), yaitu proses pengujian material logam yang tidak menimbulkan kerusakan pada material atau benda uji.
3. *Metallography*, yaitu proses pengamatan komposisi kimia, unsur-unsur lain, dan bentuk struktur mikro yang terdapat didalam logam (Robbina, 2012).

2.3.2 Uji Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Untuk para insinyur perancang, kekerasan sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam.

Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu: (1) Kekerasan goresan (scratch hardness); (2) Kekerasan lekukan (indentation hardness); (3) Kekerasan pantulan (rebound). Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa. Terdapat berbagai macam uji kekerasan lekukan, antara lain: Uji kekerasan Brinell, Vickers, Rockwell.

1) Uji kekerasan *Brinell*

Metode uji kekerasan yang diajukan oleh J.A. Brinell pada tahun 1900 ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembakuannya. Uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam memakai bola baja yang dikeraskan yang ditekan dengan beban tertentu. Beban diterapkan selama waktu tertentu, biasanya 30 detik, dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop, setelah beban tersebut dihilangkan. Permukaan yang akan dibuat lekukan harus relatif halus, rata dan bersih dari debu atau kerak.

Angka kekerasan brinell (BHN) dinyatakan sebagai beban P dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran

mikroskopik panjang diameter jejak. BHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$\text{BHN} = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

P = beban yang digunakan (kg)

D = diameter bola baja (mm)

d = diameter lekukan (mm)

Dari gambar 2.9, tampak bahwa $d = D \sin \theta$. Dengan memasukkan harga ini ke dalam persamaan (1) akan dihasilkan bentuk persamaan kekerasan brinell yang lain, yaitu:

$$\text{BHN} = \frac{P}{\left(\frac{\pi}{2}\right)D^2(1 - \cos \theta)} \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 2.9 Parameter - parameter dasar pada pengujian Brinell.

(Dieter, 1987)

Jejak penekanan yang relatif besar pada uji kekerasan brinell memberikan keuntungan dalam membagikan secara pukul rata ketidak seragaman lokal. Selain itu, uji brinell tidak begitu dipengaruhi oleh goresan dan kekasaran permukaan dibandingkan uji kekerasan yang lain. Disisi lain, jejak penekanan yang besar

ukurannya, dapat menghalangi pemakaian uji ini untuk benda uji yang kecil atau tipis, atau pada bagian yang kritis terhadap tegangan sehingga lekukan yang terjadi dapat menyebabkan kegagalan (failure).

2) Uji kekerasan *Vickers*

Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujursangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell.

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:

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots (3)$$

dengan:

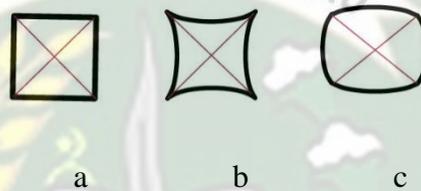
P = beban yang digunakan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°

Karena jejak yang dibuat dengan penekan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka VHN tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji Vickers berkisar antara 1 hingga

120 kg. tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji. 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 yang hati-hati, dan (3) Terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal. Tipe-tipe lekukan pyramid intan dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Tipe-tipe lekukan piramida intan: (a) lekukan bujur sangkar, (b) lekukan bantal jarum, (c) lekukan berbetuk tong.

(Dieter, 1987)

Lekukan yang benar yang dibuat oleh penekan piramida intan harus berbentuk bujur sangkar (gambar 2.10a). Lekukan bantal jarum (gambar 2.10b) adalah akibat terjadinya penurunan logam disekitar permukaan piramida yang datar. Keadaan demikian terjadi pada logam-logam yang dilunakkan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan. Lekukan berbentuk tong (gambar 2.10c) akibat penimbunan ke atas logam-logam di sekitar permukaan penekan tedapat pada logam-logam yang mengalami proses pengerjaan dingin.

3) Uji kekerasan *rockwell*

Pengujian rockwell mirip dengan pengujian brinell, yakni angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi derajat indentasi. Beban dan indenter yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Berbeda dengan pengujian brinell, indenter dan beban yang digunakan lebih kecil sehingga menghasilkan indentasi yang lebih kecil dan lebih halus. Banyak digunakan di industri karena prosedurnya lebih cepat.

Indenter atau “penetrator” dapat berupa bola baja atau kerucut intan dengan ujung yang agak membulat (biasa disebut “brale”). Diameter bola baja umumnya 1/16 inci, tetapi terdapat juga indenter dengan diameter lebih besar, yaitu 1/8, 1/4, atau 1/2 inci untuk bahan-bahan yang lunak. Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu memberikan beban minor 10 kg, dan kemudian beban mayor diaplikasikan. Beban mayor biasanya 60 atau 100 kg untuk indenter bola baja dan 150 kg untuk indenter brale. Meskipun demikian, dapat digunakan beban dan indenter sesuai kondisi pengujian.

Karena pada pengujian rockwell, angka kekerasan yang ditunjukkan merupakan kombinasi antara beban dan indenter yang dipakai, maka perlu diberikan awalan huruf pada angka kekerasan yang menunjukkan kombinasi beban dan penumbuk tertentu untuk skala beban yang digunakan.

Dial pada mesin terdiri atas warna merah dan hitam yang didesain untuk mengakomodir pengujian skala B dan C yang seringkali dipakai. Skala kekerasan B digunakan untuk pengujian dengan kekerasan medium seperti baja karbon rendah dan baja karbon medium dalam kondisi telah dianil (dilunakkan). Range

kekerasannya dari 0–100. Bila indenter bola baja dipakai untuk menguji bahan yang kekerasannya melebihi B 100, indenter dapat terdefomasi dan berubah bentuk. Selain itu, karena bentuknya, bola baja tidak sesensitif brale untuk membedakan kekerasan bahan-bahan yang keras. Tetapi jika indenter bola baja dipakai untuk menguji bahan yang lebih lunak dari B 0, dapat mengakibatkan pemegang indenter mengenai benda uji, sehingga hasil pengujian tidak benar dan pemegang indenter dapat rusak.

2.3.3 Pengamatan Visual

Pengamatan visual adalah proses pengujian bahan dengan menggunakan mata terbuka dengan tujuan untuk memeriksa celah atau patahan dalam permukaan bahan. Pengamatan visual dilakukan menggunakan kamera untuk mengamati bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan makro.

Adapun perlakuan terhadap sampel material sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan fotografi dengan kamera DSLR untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.

2.3.4 Pengamatan Struktur Mikro

Mikrostruktur adalah gambaran dari sejumlah fasa yang dapat dilihat/diamati melalui Teknik metalografi. Struktur mikro baja dapat dilihat menggunakan mikroskop. Mikroskop yang bisa digunakan untuk melihat struktur mikro baja adalah mikroskop optic dan miskroskop electron, sebelum struktur

mikro dilihat melalui mikroskop, permukaan baja harus dibersihkan terlebih dahulu kemudian direaksikan dengan *reaktan* kimia untuk mempermudah pengamatan. Untuk mengetahui sifat suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya, setiap jenis logam memiliki jenis struktur mikronya masing-masing. Melalui diagram fasa, kita bisa mengetahui struktur mikro baja dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu. Dan dari struktur mikro kita dapat melihat:

1. Ukuran dan bentuk butir.
2. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam.
3. Unsur yang terdapat dalam material.

Dari struktur mikro kita juga dapat memprediksi sifat mekanik dari suatu material sesuai dengan yang kita inginkan. (Li & Pustaka, 2006)

Ada pun beberapa cara untuk pengamatan struktur mikro adalah sebagai berikut:

- a. Pemotongan (*sectioning*)

Pemotongan ini dipilih bagian yang akan diamati struktur mikronya. Bahan dipotong dengan ukuran seperlunya.

- b. Pengamplasan Kasar (*Grinding*)

Proses ini dilakukan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan bertujuan untuk menghilangkan retakan dan goresan yang ada di permukaan. Proses ini dilakukan bertahap dari ukuran yang paling kecil hingga besar.

- c. Pemolesan (*Polishing*)

Tahap ini dilakukan agar permukaan mengkilap dan tidak ada goresan. Permukaan dipoles dengan kain yang sudah diolesi autosol.

Untuk mendapatkan hasil yang baik ada beberapa cara yang harus diperhatikan sebagai berikut:

1) Pemolesan

Sebaiknya pemolesan di lakukan dengan satu arah sehingga meminimalisir goresan.

2) Penekanan

Dalam proses pengamplasan jangan terlalu ditekan, agar posisi pemolesan tidak berubah sehingga tidak terjadi goresan-goresan yang tidak teratur.

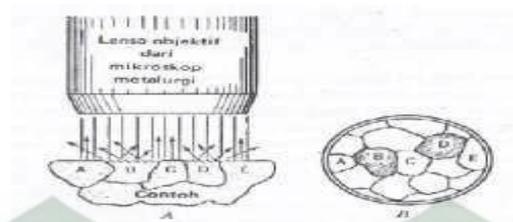
d. Pengetsaan (*Etching*)

Pemolesan permukaan akan mendapatkan hasil permukaan yang mengkilap seperti cermin, untuk mendapatkan hasil mikro struktur permukaan harus di etsa. Pengetsaan jangan terlalu kuat agar tidak terjadi kegosongan di permukaan.

e. Pemotretan

Pemotretan dilakukan untuk mendapatkan hasil dari pengamatan mikro struktur spesimen setelah difokuskan menggunakan mikroskop uji.

(Robbina, 2012)



Gambar 2.11 Pengamatan Struktur Mikro

(Robbina, 2012)

2.3.5 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 masi memiliki unsur-unsur lain yang terkandung didalam baja hanya saja kandungan-kandungan lain tersebut masih dalam 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 belerang, posfor, oksigen, nitrogen, dan unsur lain dan biasanya unsur tersebut ditahan sampai kadar yang sangat kecil. Baja dengan kadar mangan kurang dari 0,8 %, silikon 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/diinginkan. (Suarsana, 2017).



Gambar 2.12 *Spectrometer*

Sumber: (Suarsana, 2017).

a) Spectrometer Emisi Optic

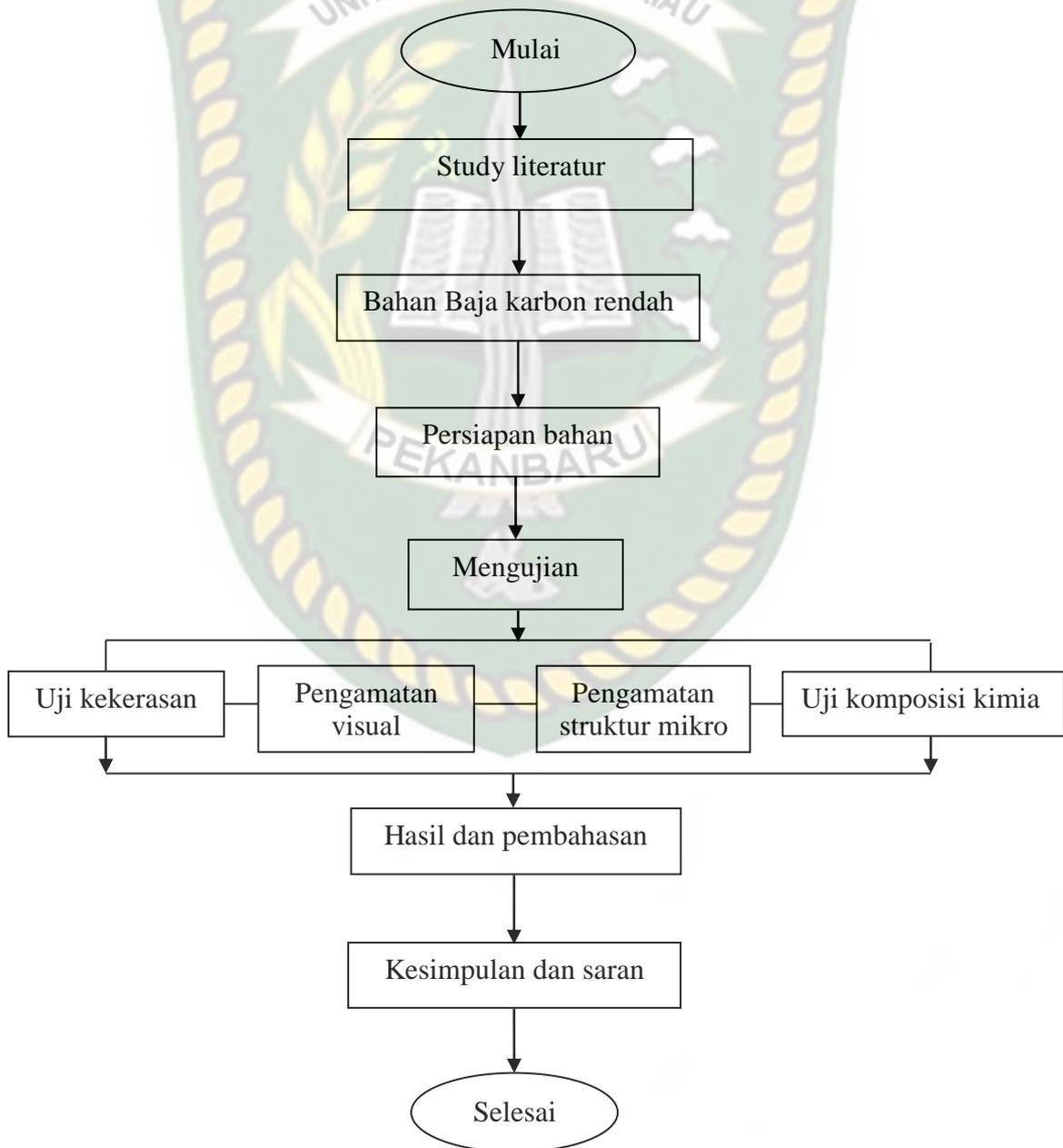
Alat ini digunakan untuk mengukur intensitas dari energi radiasi yang dipancarkan dalam bentuk sinar oleh atom-atom yang mengalami perubahan tingkat energi elektron (eksitasi, de-eksitasi). Atom-atom tereksitasi dihasilkan dari proses pembakaran lokal pada permukaan bahan, pembakaran ini mengakibatkan molekul-molekul menguap dan terurai menjadi atom-atom unsur yang bersangkutan. Pada keadaan ini, terjadi eksitasi elektron dari tingkat energi terendah ke tingkat tinggi kemudian sambil kembali ke daerah dasar elektron akan mengemisikan energi melalui pancaran sinar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, baja karbon rendah akan di uji kekerasan, pengamatan visual, pengamatan struktur mikro, dan uji komposisi kimia.



3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap dimulai dari pemotongan spesimen/material dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Islam Riau Pekanbaru. persiapan alat untuk pengujian, dan Proses pengambilan data dilakukan di Laboratorium Politeknik Manufaktur Bandung.

3.3 Alat Dan Bahan

Didalam penelitian, alat dan bahan merupakan komponen utama yang harus dipersiapkan, dimana alat digunakan sebagai penunjang utama untuk memperoleh hasil dari penelitian. Sedangkan bahan digunakan sebagai spesimen untuk mendapatkan hasil penelitian yang maksimal. Dalam penelitian ada beberapa alat dan bahan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

3.3.1 Alat

Adapun alat-alat yang gunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- Mesin potong abrasive, mesin poles, amplas.
- Peralatan spectrometer dan system computerisasi untuk analisa komposisi kimia.
- Peralatan uji struktur mikro berupa mikroskop optic.
- Gerinda.
- Tang penjepit.
- Perlengkapan keselamatan kerja.
- Mesin uji kekerasan.

- Jangka sorong.
- Palu.
- Kamera.

3.3.2 Bahan

Dipenelitian terdapat bahan-bahan yang digunakan sebagai berikut:

- Material *spider thresher* yang mengalami patah (baja karbon rendah).

3.4 Metode Pengujian Bahan

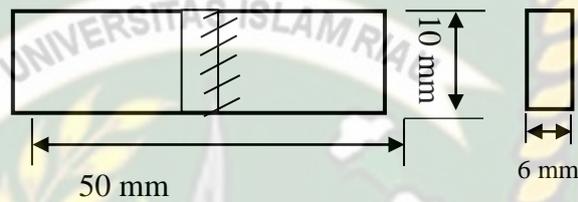
Metode pengujian yang dilakukan pada baja karbon rendah adalah sebagai berikut:

3.4.1 Uji Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan material baja karbon rendah. Metode yang digunakan dalam uji kekerasan adalah *Micro Hardness Vickers* (HV). Alat pengujian kekerasan ini memakai indenter terbentuk pyramid yang membuat jejak pada material dengan pembebanan tertentu. Pengujian ini dilakukan di Politeknik Manufaktur Bandung. Dimana proses pengujian adalah sebagai berikut:

1. Menyalakan mesin *micro Vickers*
2. Meletakkan benda uji pada dudukannya
3. Mikroskop difokuskan melalui pengatur kasar

4. Penjejak atau diamond diarahkan pada posisi penjejakan
5. Indentor ditekan ke benda uji dengan beban 1000 gram
6. Tunggu penekanan sampai selesai
7. Bebaskan gaya dan lepaskan indentor dari benda uji
8. Ukur diagonal lekukan persegi menggunakan mikroskop pengukur



Gambar 3.1 Spesimen Uji Kekerasan ASTM E-92

3.4.2 Pengamatan Visual

Pengamatan visual dilakukan untuk mengamati bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan makro menggunakan kamera.

Adapun perlakuan terhadap sampel material sebagai berikut:

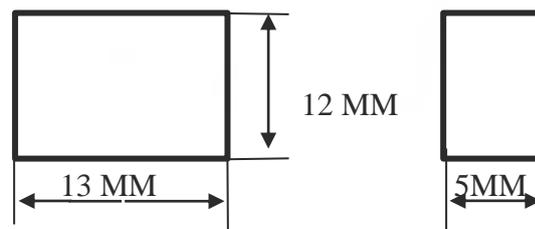
1. Melakukan pengambilan fotografi dengan kamera pada komponen yang mengalami patahan.

3.4.3 Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian mikrostruktur dilakukan untuk mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan. Untuk memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui. Struktur mikro baja dapat dilihat menggunakan mikroskop. Mikroskop yang bisa digunakan untuk melihat struktur mikro baja adalah mikroskop optic dan miskroskop electron, sebelum

struktur mikro dilihat melalui mikroskop, permukaan baja harus dibersihkan terlebih dahulu kemudian direaksikan dengan *reaktan* kimia untuk mempermudah pengamatan. Pengujian ini dilakukan di Politeknik Manufaktur Bandung. Dimana proses pengujian adalah sebagai berikut:

1. Permukaan spesimen yang akan dilihat struktur mikronya diampelas hingga halus dengan menggunakan ampelas yang sudah disediakan memakai mesin pemoles. Agar permukaan tidak terlihat bercak ampelas maka permukaan spesimen dipoles menggunakan pasta alumina.
2. Kekasaran ampelas adalah 180, 240, 400, 800, 1000, 1200, 1500, 2000.
3. Permukaan yang telah dihaluskan dan dipoles kemudian *dietsa* menggunakan campuran cairan kimia yaitu; Nitric Acid + Ethanol (1:50).
4. Bagian yang telah *dietsa*, dilihat strukturnya menggunakan mikroskop dengan maksimal pembesaran 500x. Pada proses ini struktur mikro dari spesimen dilihat dan ditentukan.
5. Foto hasil pengamatan mikrostruktur dengan menggunakan kamera.



Gambar 3.2 Spesimen pengamatan mikrostruktur

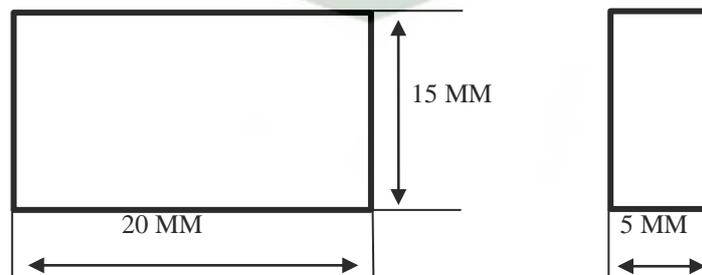
3.4.4 Uji Komposisi Kimia

Pengujian komposisi ini dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung didalam baja juga untuk mengetahui jenis baja yang digunakan sehingga bisa mengetahui sifat mekanis baja yang diuji. Menggunakan alat *ARL 34600 Optical Emission Spectrometer*.

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 tekanan 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 programe* 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 tobol *enter*.
17. Memeriksa apakah data yang muncul dari beberapa kali sudah memenuhi standar deviasi yang di tentukan atau belum. Jika belum maka kembali ke langkah 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.



Gambar 3.3 Spesimen Uji Komposisi

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil penelitian

Setelah dilakukan pemotongan pada material *spider thresher* sesuai dengan ukuran pengujian yang diperlukan seperti pengujian komposisi kimia, pengamatan struktur mikro, dan uji kekerasan *Vickers*. Hasil pengujian akan dijelaskan pada bagian berikut.

4.1.1 Pengamatan Hasil Visual

Pengamatan visual menggunakan kamera DSLR pada komponen *spider thresher* yang mengalami patah. Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan permukaan bagian spider thresher yang mengalami kegagalan secara horizontal dan vetikal dengan sudut pengambilan gambar yang berbeda.



Gambar 4.1 Foto *spider thresher* yang mengalami kegagalan pada bagian belakang

Sumber: (PT Kimia Tirta Utama).

Gambar 4.1 menunjukkan permukaan *spider thresher* yang mengalami kegagalan secara vertikal dengan sudut pengambilan gambar bagian belakang. Dapat dilihat awal mula perambatan retak pada gambar 4.1 dimulai pada titik A dan mengalami perambatan retakan ke arah titik B, karena terjadi pembebanan yang berulang retakan tersebut melebar sehingga terjadi patahan pada bagian retakan tersebut.



Gambar 4.2 Foto *spider thresher* yang mengalami kegagalan pada bagian depan
Sumber: (PT Kimia Tirta Utama).

Gambar 4.2 ini menunjukkan permukaan *spider thresher* yang mengalami kegagalan secara vertikal dengan sudut pengambilan gambar bagian depan. Awal mula retakan berada ditengah lengkungan *spider thresher* yang dekat dengan poros dapat dilihat pada titik A, kemudian retakan merambat pada permukaan *spider thresher* yang dapat dilihat pada titik B

4.1.2 Hasil Komposisi kimia



Gambar 4.3 Sampel Uji Komposisi Kimia.

Sumber: (Dokumen pribadi).

Komposisi kimia dilakukan menggunakan *Spektrometer 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 didalam baja *spider thresher* sehingga baja lebih mudah diklasifikasikan menjadi dua kelompok baja karbon yaitu baja tanpa paduan dan baja paduan.

Data pengujian diperoleh dengan menunjukkan unsur-unsur yang terkandung didalam baja. Hasil uji komposisi kimia ini ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Uji Komposisi Kimia

Unsur/Elemen	C	Mn	Si	Al	P	S
Nilai %	0,15	0,93	0,21	0,03	0,016	0,008

Tabel 4.1 menunjukkan komposisi kimia pada benda uji dari *spider thresher*. Berdasarkan hasil pengujian komposisi diatas, komposisi kimia *spider thresher* terbuat dari baja karbon rendah yang memiliki sifat getas dan elastisitas yang bagus.

Baja karbon rendah ini tidak merespon pada perlakuan panas (*heat treatment*) yang bertujuan untuk mengubah struktur mikronya menjadi martensit. Penguatan (*strengthening*) dapat dilakukan dengan perlakuan dingin (*cold work*).

4.1.3 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

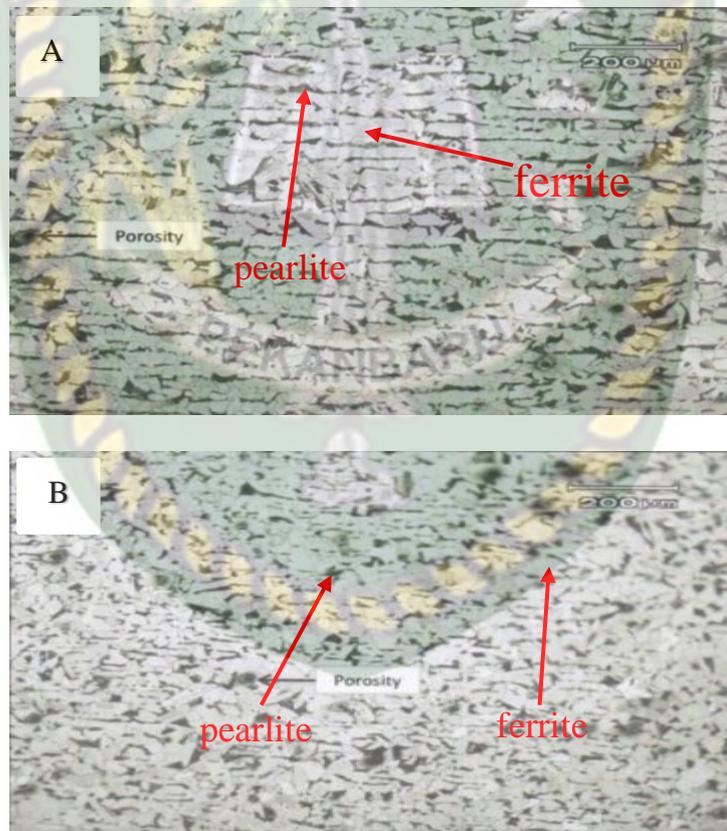


Gambar 4.4 Sampel Pengamatan Struktur Mikro.

Sumber: (Dokumen pribadi).

Pengamatan struktur mikro yang dilakukan dengan mengambil foto mikro pada material *spider thresher* menggunakan mesin uji *MIKROSKOP OPTIK OLYMPUS GX71* di Politeknik Manufaktur Bandung. Pengujian ini dilakukan pada daerah yang dekat dari patahan dan jauh dari patahan dengan perbesaran 100x, sehingga dapat diamati perubahan struktur mikro yang menyebabkan perubahan sifat dari material tersebut dan memicu terjadinya patahan.

Gambar 4.5 ini menunjukkan foto struktur mikro pada perbesaran 100x dari material yang jauh dari patahan dan yang dekat dari patahan juga menunjukkan perbedaan morfologi butir dari material tersebut. Berdasarkan hasil foto mikroskopik tersebut, didapat bagian terang adalah fasa ferrite dan bagian gelap adalah fasa pearlite. Gambar 4.5 (a) menunjukkan fasa ferrite yang jauh dari patahan memiliki susunan fasa yang teratur dan rata. (b) selain itu bagian ferrite dari material yang dekat dengan patahan memiliki fasa ferrite yang tidak teratur dibandingkan dengan fasa ferrite yang jauh dari patahan.



Gambar 4.5 Foto struktur mikro perbesaran 100 X: (a) jauh dari patahan (b) dekat dari patahan.

Sumber: (Politeknik Manufaktur Bandung).

Dari hasil pengamatan struktur mikro jenis fasa yang terkandung didalam sampel *spider* terdiri dari dua fasa yaitu fasa ferrite dan pearlite, fasa yang terdapat didalam baja karbon rendah.

Ferrite (α) merupakan larutan padat dari atom-atom karbon pada besi murni fasa yang terbentuk pada temperatur sekitar 300-723 °C, pada daerah ini kelarutan karbon maksimalnya adalah 0,025% pada temperature 723 °C turun drastis menjadi 0% pada 0 °C. Fasa ini terjadi bersamaan dengan cementite membentuk pearlite pada pendinginan lambat.

4.1.4 Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Material



Gambar 4.6 Sampel Uji Kekerasan.

Sumber: (Dokumen pribadi).

Pengujian *hardness* dilakukan menggunakan metode *Vickers*. Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari sampel *spider thresher* yang mengalami kegagalan. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 3 titik dengan beban sebesar 1000 gr.

Pada tabel 4.2 diperlihatkan nilai kekerasan yang didapatkan pada daerah patahan serta grafik distribusi kekerasan.

Dari tabel 4.2 tersebut bisa kita lihat nilai kekerasan memiliki rata-rata sebesar 166 HV, pada grafik 4.1 menunjukkan kekerasan dari material dari tiga titik indentasi yang berbeda.

Tabel 4.2 Data Hasil Uji Kekerasan *vickers*

NO	D1	D2	D Avg	HV
1	107,6	108,9	108,3	158
2	103,5	104,3	103,9	172
3	103,3	106,3	104,8	169
Avg HV				166



Grafik 4.1: nilai kekerasan pada material.

Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan sampel *spider thresher* yang dilakukan dengan tiga titik indentasi pada satu sampel pengujian didapatkan nilai kekerasan yang berbeda-beda. Pada titik indentasi 1 didapat nilai kekerasan sebesar 158 HV, pada titik indentasi 2 didapat nilai sebesar 172 HV, dan pada titik indentasi 3 di dapat nilai sebesar 169 HV. Dari ketiga titik indentasi tersebut didapat nilai rata-rata sebesar 166 HV.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan pada penelitian ini faktor faktor penyebab kegagalan dapat dibagi menjadi beberapa faktor, yaitu kesalahan pemilihan material, beban yang berlebih, dan tegangan berulang pada material. Sedangkan cara meningkatkan umur pemakaian adalah dengan cara membatasi waktu pengoperasian bahan dan pengecekan secara kontinu.

Pada hasil uji komposisi kimia material yang digunakan untuk bahan *spider thresher* saat ini adalah baja karbon rendah yang memiliki sifat yang getas. Struktur mikro terdiri dari unsur pokok ferit dan perlit, karena itu baja ini relatif lunak dan lemah tapi sangat bagus pada kelenturannya juga tidak responsive terhadap perlakuan panas.

Hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa awal patah biasanya dimulai dari permukaan. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar/berlebih dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan yang terjadi secara berulang-ulang bisa juga terjadi karena adanya perubahan dimensi

pada permukaan atau proses pengerjaan tertentu pada material. Adanya cacat dalam juga menyebabkan konsentrasi tegangan.

Berdasarkan hasil pengamatan mikroskopik didapat fasa ferrite dan perlit dari material *spider thresher* dan juga tidak terdapat sertifikasi material *spider thresher* di pabrik kelapa sawit, sehingga tidak diketahui perlakuan yang sudah dilakukan pada material *spider thresher* tersebut. Pada material yang jauh dan dekat dari patahan didapatkan morfologi butir yang berbeda. Pada material yang dekat dari patahan memiliki morfologi butir ferrite tidak teratur yang menyebabkan penurunan kekerasan pada bagian retakan, sedangkan morfologi butir yang jauh dari patahan memiliki susunan fasa ferrite yang teratur dan rata

Berdasarkan uji kekerasan ditemukan fenomena penurunan kekerasan pada bahan karena pada hasil yang dilakukan dari ketiga titik indentasi terjadi kenaikan dan penurunan nilai kekerasan yang dapat dilihat pada tabel 4.2, penurunan ini terjadi karena adanya perubahan bentuk fasa. Nilai kekerasan rata-rata yang didapat pada material adalah 166 HV, hal ini menunjukkan pada satu daerah memiliki kekerasan yang berbeda-beda.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian percobaan dan Analisa yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan mengenai kegagalan *spider thresher* di pabrik kelapa sawit antara lain sebagai berikut:

1. Faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *spider thresher* di pabrik kelapa sawit yaitu kesalahan pemilihan material dan juga tidak ada standar khusus dari pabrik untuk material dari *thresher* itu sendiri sehingga bahan yang dibuat tidak cocok untuk dijadikan unit *thresher* baru. Pada hasil uji kekerasan juga terjadi perbedaan dari ketiga titik pengujian, titik pertama memiliki nilai 158 HV, titik ke dua memiliki nilai 172 HV, dan titik ketiga memiliki nilai 169 HV. Dilihat dari hasil pengujian kekerasan ini bisa disimpulkan bawa *thresher* mengalami pembebanan yang berulang.
2. Mekanisme kegagalan komponen *spider thresher* pada stasiun *thresher* di pabrik kelapa sawit diawali oleh *initial crack* pada tengah lengkungan *spider* yang berada dekat dengan poros penggerak *spider thresher* dikarenakan adanya tegangan yang berulang yang kemudian retakan merambat pada permukaan *spider thresher* yang bertumpu pada poros sebelum terjadinya *final fracture* dikarenakan *spider thresher* tidak mampu menahan tegangan yang terjadi sehingga menyebabkan *fatigue failure*.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan penulis kepada pengelola pabrik kelapa sawit adalah:

1. Pembelian unit *thresher* harus disertakan dengan sertifikat komposisi kimia dan sifat mekanik dari unit *thresher* serta harus sesuai dengan standar yang sesuai untuk unit *thresher*.
2. Umur pemakaian unit *thresher* harus jelas dan dilakukan penggantian berkala apabila umur pemakaian stasiun *thresher* sudah habis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abi L. Hakim, Eko B. Jatmiko, Murdjito, 2012. *Analisa Umur Kelelahan Kaki jack up Dengan Mudmat Pada Maleo MOPU Dengan Pendekatan Fracture Mechanics*. Jurnal Teknik Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya-Indonesia.
- Cahyo Sutoyo, Galih Senopati, Ika Kartika, Budi Priono, 2016. *Analisa Kegagalan Retak Material Besi Cor Kelabu Untuk Aplikasi Cylinder Block*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Prodi Teknik Mesin Universitas Pamulang Tangerang-Indonesia.
- Cahyo Sutoyo, Budi Priyono, 2014. *Analisa Kegagalan Pada Poros Baja Carbon S45C Aplikasi Komponen As Sink Roll*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta-Indonesia.
- ilhammuzakir. (n.d.). Failure Analysis (Analisis Kegagalan). Retrieved from <https://materialengineeringrangaagung.wordpress.com/2017/07/06/failure-analysis-analisis-kegagalan/>
- Prasetyo, Y. (2009). martensite. Retrieved from <http://strukturmikro.blogspot.com/2009/04/martensite.html>
- Purwo Subekti, 2010. *Analisa Kerusakan Short Drive Shaft Kempa Ulir Pada Pabrik Kelapa Sawit*. Jurusan Mesin dan Peralatan Pertanian Universitas Pasir Pengaraian Riau-Indonesia.
- Suarsana, I. K. (2017). Ilmu Material Teknik, 47–52.
- Ucok damanik. (2012). THRESHING STATION. Retrieved from <http://surgapetani.blogspot.com/2012/11/threshing-station.html>
- Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: dapertemen pendidikan nasional