



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - 141584

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN MEDIA
PENDINGIN PADA PROSES *HARDENING*
MATERIAL *CHAIN SHACKLE* TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO UNTUK
KOMPONEN *CHAIN SHACKLE***

AZIZA CHOIRUL ADNAN
0251144000025

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - 141584

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN MEDIA
PENDINGIN PADA PROSES *HARDENING*
MATERIAL *CHAIN SHACKLE* TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO UNTUK
KOMPONEN *CHAIN SHACKLE***

AZIZA CHOIRUL ADNAN
0251144000025

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**ANALYSIS ON EFFECT OF TEMPERATURE AND
COOLING MEDIA IN MATERIAL CHAIN
SHACKLE HARDENING PROCESS ON
MECHANICAL PROPERTIES AND
MICROSTRUCTURE FOR CHAIN SHACKLE
COMPONENTS**

AZIZA CHOIRUL ADNAN
02511440000025

Advisor
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Wikan Jatimurti ST.,M.Sc

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

(This page left intentionally blank)

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN
MEDIA PENDINGIN PADA PROSES *HARDENING*
MATERIAL *CHAIN SHACKLE* TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO UNTUK
KOMPONEN *CHAIN SHACKLE***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Korosi dan Analisis Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AZIZA CHOIRUL ADNAN

0251144000025

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. **Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.** (Pembimbing 1)
2. **Wikan Jatimurti. ST., M.Sc.** (Pembimbing 2)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

Analisis Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin Pada Proses *Hardening* Material *Chain Shackle* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Untuk Komponen *Chain Shackle*

Nama Mahasiswa : Aziza Choirul Adnan
NRP : 0251144000025
Jurusan : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.
Co-Pembimbing : Wikan Jatimurti, ST., M.Sc

Abstrak

Bucket elevator merupakan sebuah komponen yang berfungsi untuk mengangkat material reject yang keluar dari Finish Mill dalam proses produksi semen, *bucket elevator* di hubungkan dengan *chain shackle*. *Chain shackle* pada *bucket elevator* telah mengalami masalah keausan karena material tersebut tidak sesuai dengan standar DIN 745 sehingga diperlukan optimalisasi dengan perlakuan panas. Dalam penelitian ini dilakukan proses analisis pengaruh variasi temperatur dan media mendingin terhadap struktur mikro dan sifat mekanik material *chain shackle* yang di *hardening* sebagai solusi kegagalan pada *chain shackle*. Pengujian yang dilakukan meliputi uji komposisi, metalografi, hardness dan ketahanan aus. Dari hasil uji komposisi didapatkan bahwa material *chain shackle* adalah baja AISI 1030. kemudian diberi pelakuan *hardening* dengan temperatur austenisasi 850°C dan 900°C dengan *holding time* selama 30 menit lalu dilakukan pendinginan dengan air, oli dan *brine*. Kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan temperatur austenisasi 900°C dengan media pendingin *brine* dengan kekerasan sebesar 751.2 HV dengan laju keausan 1.5 mm/jam. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa kekerasan berbanding terbalik dengan laju keausan

Kata Kunci : chain shackle, DIN 745, hardening, media pendingin, hardness, ketahanan aus

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Analysis on Effect of Temperature and Cooling Media in Chain Shackle Material Hardening Process on Mechanical Properties and Microstructure for Chain Shackle Components

Name : Aziza Choirul Adnan
SRN : 0251144000025
Major : Materials Engineering
Advisor : Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.
Co-Advisor : Wikan Jatimurti., ST., M.Sc

Abstract

Bucket Elevator is a component that serves to transport reject material out of Finish Mill in cement production process, bucket elevator in connection with chain shackle. Chain shackle on the bucket elevator has experienced wear problems because the material is not in accordance with DIN 745 standards so optimization is required with heat treatment. In this research, the process of analyzing the effect of temperature and cooling media variations on the microstructure and mechanical properties of shackle chain material that is hardened as a failure solution in chain shackle. The tests include compositional test, metallography, hardness and wear resistance. From the composite test results obtained that the shackle material is steel material AISI 1030. then given the hardening treatment with austenisation temperature 850°C and 900°C with holding time for 30 minutes then cooled with water, oil and brine. The highest hardness is in specimens with austenisation temperature 900°C with brine cooling medium with hardness of 751.2 HV with a wear rate of 1.5 mm / hr. Based on the test results found that the hardness is inversely proportional to the rate of wear.

Keyword : DIN 745, Chain Shackle, hardening, hardness, wear resistan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Serta tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin Pada Proses Hardening Material Chain Shackle Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Untuk Komponen Chain Shackle**”.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan adik penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
2. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
3. Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
4. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material FTI ITS.
6. Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
8. Bapak Avandi selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material.
10. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan temanteman sekalian.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 5 Januari 2018

Penulis,
Aziza Choirul Adnan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
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 II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Bucket Elevator.....	5
2.2 Chain Shackle.....	7
2.3 Material Chain Shackle (AISI 1045).....	9
2.4 Material Chain Shackle yang Mengalami Kegagalan (AISI 1030).....	10
2.5 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	12
2.6 Analisa Kegagalan.....	14
2.7 Pengertian Keausan.....	17
2.8 Pengujian Komposisi.....	21
2.9 Heat Treatment.....	21
2.10 Pengujian Kekerasan.....	31
2.11 Uji Keausan (pin-on-disc).....	32
2.12 Penelitian Sebelumnya.....	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
3.2 Metode Penelitian.....	40

3.3 Material yang Digunakan.....	41
3.4 Peralatan	43
3.5 Tahapan Penelitian.....	45
3.6 Rancangan Penelitian.....	47
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Pengujian	49
4.2 Pembahasan	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	xix
LAMPIRAN.....	xxiii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	xxvii
BIODATA PENULIS.....	xxix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bucket Elevator.....	6
Gambar 2.2 Komponen bucket elevator	7
Gambar 2.3 Belt (a) dan Chain bucket elevator (b).....	7
Gambar 2.4 (a) Chain shackle terpasang pada bucket (b) chain shackle.....	8
Gambar 2.5 Grafik hubungan kadar karbon dengan kekerasan maksimum hardening baja karbon	11
Gambar 2.6 Mikrostruktur baja karbon menengah	12
Gambar 2.7 Diagram Fasa Fe – Fe ₃ C	13
Gambar 2.8 Mekanisme abrasi wear akibat proses cutting..	18
Gambar 2.9 Proses Perpindahan Logam karena Adhesive Wear	18
Gambar 2.10 Flow wear oleh penumpukan aliran geseran.....	19
Gambar 2.11 Fatigue wear karena retak di bagian dalam dan merambat.....	19
Gambar 2.12 Perlakuan panas Hardening-Tempering pada baja	23
Gambar 2.13 Rentang temperature austenitisasi pada perlakuan panas.....	24
Gambar 2.14 Diagram CCT untuk baja <i>low alloy</i> 0,2 %C	26
Gambar 2.15 Tiga Tahapan pada quenching	27
Gambar 2.16 Mekanisme terbentuknya Bainit	29
Gambar 2.17 Gambar Mikrostruktur Bainit atas (a) dan bainit bawah(b).....	30
Gambar 2.18 Martensit dari baja 0.35 %C diquench dari suhu 870 °C.....	31
Gambar 2.19 Tribotester	34
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 3.2 Komponen Chain Shackle yang Aus	41
Gambar 3.3 (A) Spesimen untuk proses perlakuan panas (B) Spesimen untuk uji kekerasan jauh dari daerah aus	

(C) Spesimen untuk uji kekerasan dekat dari daerah aus	42
Gambar 3.4 Mesin Wire Cut.....	43
Gambar 3.5 Mesin OES.....	43
Gambar 3.6 Universal Hardness Tester	44
Gambar 3.7 Olympus BX51 Optical Microscope.....	44
Gambar 3.8 Proses hardening dengan variasi temperatur dan media pendingin.....	46
Gambar 4.1 Desain chain shackle di PT. Semen Indonesia.....	49
Gambar 4.2 Chain Schackle yang mengalami keausan	50
Gambar 4.3 Pengamatan makro komponen Chain Shackle yang Aus (a)bagian kanan (b)bagian kiri.....	51
Gambar 4.4 Struktur Mikro <i>chain shackle</i> tanpa perlakuan dengan etsa nital 74a dan perbesaran 1000x	52
Gambar 4.5 Foto metalografi menggunakan etsa nital 74a dan perbesaran 1000x: (A) CS H820-OQ, (B) CS H820-WQ, (C) CS H820-SQ.....	53
Gambar 4.6 Foto metalografi menggunakan etsa nital 74a perbesaran 1000x: (A) CS H920-OQ, (B) CS H920-WQ, (C) CS H920-SQ.....	54
Gambar 4.7 Chain Shackle yang mengalami keausan	55
Gambar 4.8 (a) spesimen daerah yang dekat dengan daerah aus (b) spesimen daerah yang jauh dengan daerah aus	56
Gambar 4.9 Indentasi uji kekerasan spesimen dekat daerah aus	56
Gambar 4.10 Daerah Indentasi Uji Kekerasan	57
Gambar 4.11 Grafik sifat kekerasan hasil proses hardening baja chain shackle	58
Gambar 4.12 Grafik Nilai Ketahanan Aus.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045	9
Tabel 2.2 Standar sifat mekanik material chain shackle.....	9
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Baja AISI 1030	10
Tabel 2.4 Kekerasan AISI 1030	11
Tabel 2.5 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin....	15
Tabel 2.6 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen.....	15
Tabel 2.7 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin	16
Tabel 2.8 Grossman quench severity factor.....	28
Tabel 2.9 Data Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell Baja AISI 1045(a)Volume Air Quenching 10 Liter(b)Volume Air Quenching 15 Liter(c)Volume Air Quenching 20 Liter(d)Volume Air Quenching 25 Liter	36
Tabel 2.10 Data Nilai Kekerasan dengan Media pendingin (a.) air (b.)air garam (c.) oli (d.)udara.....	38
Tabel 3.1 Tabel Komposisi Kimia Chain shackle	41
Tabel 3.2 Rancangan penelitian.....	47
Tabel 4.1 Data Operasi <i>chain shackle</i> pada <i>Bucket Elevator</i> Finish Mill Tuban 9 PT. Semen Indonesia.....	50
Tabel 4.2 Komposisi kimia material chain shackle dan material standard	51
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan jauh dari Aus	56
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan dekat daerah Aus..	56
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan pada <i>chain shackle</i> yang telah di <i>hardening</i> (HV).....	57
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Ketahanan Aus pada <i>chain shackle</i> yang telah di <i>hardening</i>	59

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia merupakan produsen semen terbesar di Indonesia. Keberhasilan pembangunan pabrik Tuban IV dan Tonasa V, serta akuisisi perusahaan semen Vietnam Thang Long Cement Company pada akhir tahun 2013, maka pada awal tahun 2013 perseroan memiliki kapasitas terpasang sebesar 30 ton/tahun dan telah menjadi perusahaan semen terbesar di Asia Tenggara berdasarkan kapasitas terpasang. Saat 2014 kapasitas terpasang Semen Indonesia meningkat menjadi 31,8 juta ton semen per tahun, dan menguasai sekitar 42% pangsa pasar semen domestik. PT. Semen Indonesia memiliki 4 anak perusahaan yaitu PT. Semen Gresik, PT. Semen Padang, PT. Semen Tonasa, dan Thang Long Cement. Untuk PT. Semen Indonesia sendiri memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kec. Kerek, Tuban, Jawa Timur.

Proses Pembuatan semen PT. Semen Indonesia unit Tuban secara garis besar melalui proses dengan dimulai dari pengambilan bahan baku, proses pembuatan terak (*clinker*), proses penggilingan semen (*milling*), penyimpanan dalam *silo*, dan pengemasan semen (*packing*). Proses pembuatan terak (*clinker*) meliputi pemanasan awal, pengeringan dalam *rotary kiln*, dan pendinginan (*Cooling*). Proses penggilingan meliputi pencampuran dengan aditif, penggerusan dan pembentukan *powder*. Proses *packing* yaitu memasukan semen kedalam kemasan dan menyimpang kedalam gudang.

Bucket elevator merupakan sebuah komponen di PT. Semen Indonesia yang berfungsi untuk mengangkut material reject yang keluar dari Finish Mill dalam proses produksi semen. Dalam



penggunaan *bucket elevator*, *bucket* dihubungkan dengan rantai dengan sepasang *Chain Shackle* dimana dalam masa operasinya semakin lama terjadi keausan terhadap material *chain Shackle*. *Bucket elevator* pada *Finish Mill plant 9 unit Tuban* mulai beroperasi pada bulan Maret 2013 Sampai pada tanggal 31 Agustus 2017 bagian yang aus dari material *chain shackle* cukup besar yang berakibat tidak bisa dilanjutkannya operasi dari *bucket elevator*. Dari kegagalan yang terjadi maka diperlukan peningkatan sifat kekerasan pada material *chain shackle*. Untuk meningkatkan sifat-sifat tersebut maka material *chain shackle* tersebut diberi perlakuan *hardening*. Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui temperatur dan media pendingin yang tepat untuk material *chain shackle* sebagai solusi permasalahan kegagalan komponen *chain shackle* pada *bucket elevator*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh temperatur pada proses *hardening* komponen *Chain Shackle* pada *Bucket Elevator* ?
2. Bagaimana pengaruh media pendingin pada proses *hardening* komponen *Chain Shackle* pada *Bucket Elevator*?

1.3 Batasan Masalah

1. Data operasi seperti temperatur, kecepatan gerak pada *Chain Shackle* sudah memenuhi standar operasional.
2. Desain *Chain Shackle* memenuhi standar operasional.
3. Material dianggap homogen di semua sisi.
4. Pengaruh lingkungan diabaikan.
5. Diasumsikan tidak ada penurunan temperatur saat material uji keluar dari dapur pemanas.



6. Lama waktu pemindahan spesimen uji dari dapur ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua spesimen uji.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh variasi temperature pada proses *hardening* komponen *chain shackle* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sebagai solusi kegagalan komponen *chain shackle* pada *bucket elevator*.
2. Menganalisa pengaruh variasi media pendingin pada proses *hardening* komponen *chain shackle* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sebagai solusi kegagalan komponen *chain shackle* pada *bucket elevator*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak yang berkaitan, yaitu mahasiswa sebagai pelaksana penelitian mampu memahami serta mengaplikasikan ilmu yang telah didapat khususnya cabang ilmu material dan metalurgi. PT. Semen Indonesia Tbk sebagai pihak utama yang menyokong penelitian dapat menerapkan hasil penelitian untuk:

1. Masukan untuk hal-hal yang dapat dilakukan agar kegagalan pada *chain shackle* dapat ditanggulangi.
2. Referensi pemilihan bahan serta *maintenance* pada *chain shackle*.
3. Referensi perlakuan panas pada *chain shackle*.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Bucket Elevator*

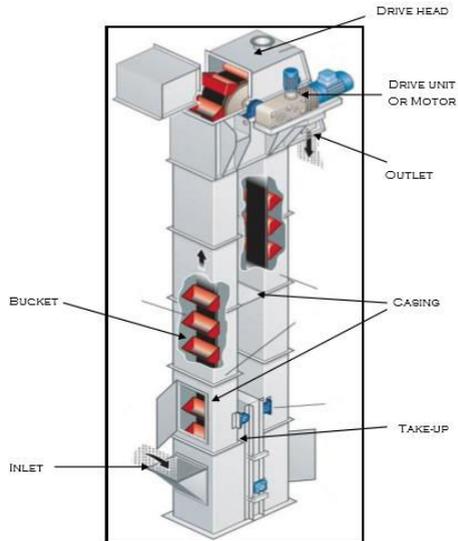
Bucket Elevator adalah suatu alat untuk memindahkan bahan yang arahnya vertikal, atau tinggi. Alat ini terdiri atas rantai yang tidak berujung. *Bucket elevator* digunakan untuk mentransfer material dari permukaan tanah ke ketinggian tertentu. Ini terdiri dari sabuk katun atau karet yang berjalan pada satu pulley drive di bagian atas dan katrol yang satu lagi didorong, yang di bagian bawah di dalam casing palsu. Sabuk dilengkapi dengan ember di beberapa interval tertentu. Bucket mengangkat bahan dari permukaan tanah ke tingkat yang lebih tinggi dan ember dikosongkan sementara bergerak di sekitar katrol atas oleh tindakan sentrifugal.

Bucket Elevator adalah jenis peralatan transportasi vertikal atau miring yang secara efisien memindahkan barang antar lantai, kapal atau bangunan lainnya. *Bucket elevator* umumnya didukung oleh motor listrik yang menggerakkan kabel traksi atau sistem penyeimbang seperti katrol atau pompa cairan hidrolik untuk mengangkat piston silinder seperti soket. Umumnya lebih banyak dipakai untuk jarak pendek dibandingkan dengan *belt conveyor*. Lebih banyak dipakai untuk mengangkat bahan secara vertikal. Contoh foto dari bucket elevator bisa dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Bucket Elevator* (amaravat.2012)

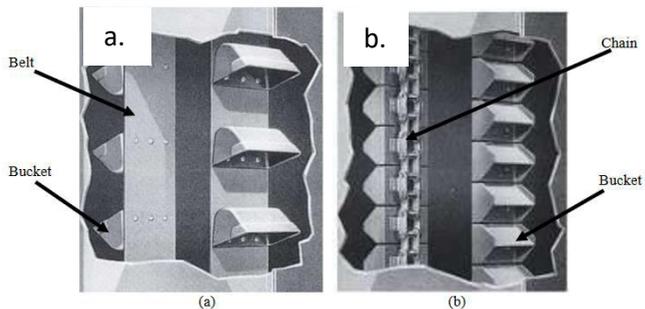
Komponen utama dari Bucket Elevator adalah *Drive head*, *Bottom*, *head Inlet Outlet Buckets*, *Casing*, *Drive unit* dan *Take up* skema dari komponen bucket elevator dapat dilihat pada gambar 2.2. (amaravat.2012)



Gambar 2.2 Komponen *Bucket Elevator* (amaravat.2012)

2.2 Chain Shackle

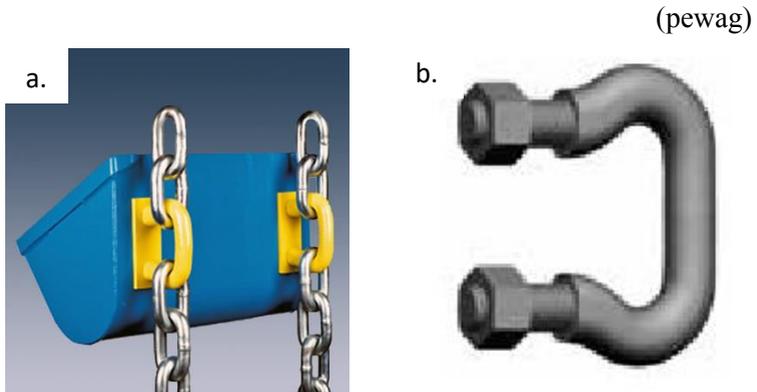
Pada umumnya *bucket elevator* terbagi menjadi 2 tipe yaitu tipe *belt* dan *chain bucket elevator*. Yang dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 *Belt* (a) dan *Chain Bucket Elevator* (b) (Yin, 2016)



Chain shackle adalah komponen yang berada pada *bucket elevator* yang digunakan untuk mengunci bucket pada rantai penarik yang ditarik oleh *drive unit* atau motor. manufaktur *chain shackle* di industri mengikuti standar DIN 745 seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 (a) *Chain shackle* terpasang pada bucket (b) *Chain shackle* (pewag)

Meski bagian lainnya seperti bantalan, poros, dan roda gigi juga bisa mengalami kegagalan ,namun tidak sesering dibandingkan dengan kegagalan *chain shackle*. Kegagalan chain shackle tidak hanya mengurangi produktifitas pabrik, namun juga biaya *maintenance* dikarenakan dengan kerusakan dari *bucket* dan *chain shackle* itu sendiri.

(Yin, 2016)



2.3 Material *Chain Shackle* (AISI 1045)

Material *chain shackle* yang seharusnya dan sesuai dengan standar menurut DIN 745 yaitu Material baja C45/ AISI 1045 berdasarkan komposisi kimia tergolong dalam jenis baja *medium-carbon steel*.

AISI 1045 adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43 - 0,50 dan termasuk golongan baja karbon menengah. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen automotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Komposisi kimia dari baja AISI 1045 dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045 (ASTM A29)

KODE	C%	Si%	Mn%	Mo%	P%	S%
AISI	0,4	0,1	0,060	0,025	0,004	0,005
1045	0,43	0,3	0,90	-	Max	max

Standar sifat mekanik material untuk komponen *chain shackle* bisa dilihat pada tabel 2.2 dibawah.

Tabel 2.2 Standar sifat mekanik material *chain shackle* (pewag, 2009)

Breaking Stress (N/mm²)	280
Surface Hardness HV10	600



2.4 Material *Chain Shackle* yang mengalami kegagalan (AISI 1030)

Material chain shackle yang mengalami kegagalan di PT Semen Indonesia, Tbk adalah termasuk ke dalam kategori baja karbon menengah yaitu AISI 1030. AISI 1030 adalah baja karbon menengah yang memiliki komposisi kimia yang tertera pada tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Baja AISI 1030 (ASTM A29)

KODE	C%	Si%	Mn%	Mo%	P%	S%
AISI	0,27	0,1	0,060	0,025	0,004	0,005
1030	0,34	0,3	0,90	-	Max	max

Baja karbon menengah mampu untuk dilakukan *heat treatment* dengan austenisasi, quenching yang kemudian diikuti dengan temper untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Baja karbon ini umumnya digunakan setelah melalui kondisi *temper*, yang memiliki struktur mikro berupa martensit temper. Baja karbon menengah ini memiliki kemampukerasan/*hardenability* yang rendah, karena itu untuk mendapatkan hasil heat treatment yang baik, maka benda atau komponen harus cukup tipis dan diikuti dengan proses pendinginan cepat. Aplikasi baja ini banyak digunakan sebagai *gear*, *crankshaft*, *chain link*, dan komponen lainnya yang membutuhkan kombinasi antara kekuatan tinggi, ketangguhan dan ketahanan aus yang baik. (Pramudya, 2010)

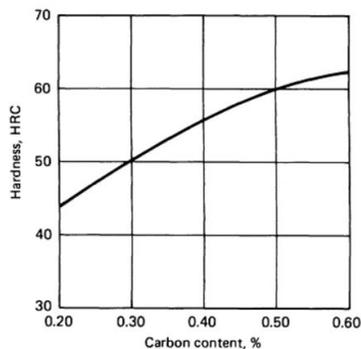
Sifat mekanik dari AISI 1030 juga bermacam-macam, salah satunya adalah kekerasan. Tabel 2.4 menunjukkan kekerasan pada AISI 1030.



Tabel 2.4 Kekerasan AISI 1030(ASM vol. 4)

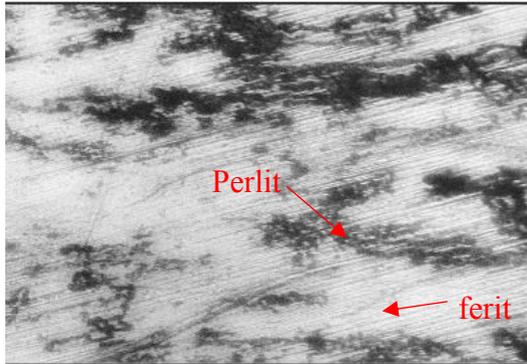
Grade	Cold Drawn BHN
1030	149

Kekerasan AISI 1030 dapat ditingkatkan dengan metode *hardening* dengan temperatur austenisasi yaitu $845^{\circ}\text{C} - 870^{\circ}\text{C}$ (ASM Vol.4) dimana kekerasan maksimum yang bisa didapatkan dengan metode *hardening* pada temperatur ruang dilihat dari kadar karbonnya bisa dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini (ASM vol.4).



Gambar 2.5 Grafik hubungan kadar karbon dengan kekerasan maksimum *hardening* baja karbon (ASM vol.4).

Baja karbon menengah pada temperatur kamar mempunyai mikrostruktur berupa perlit dan ferit yang bisa dilihat pada gambar 2.6. (Ismail, 2016)



Gambar 2.6 Mikrostruktur baja karbon menengah
(Ismail, 2016)

2.5 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa *interstitial* (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit.

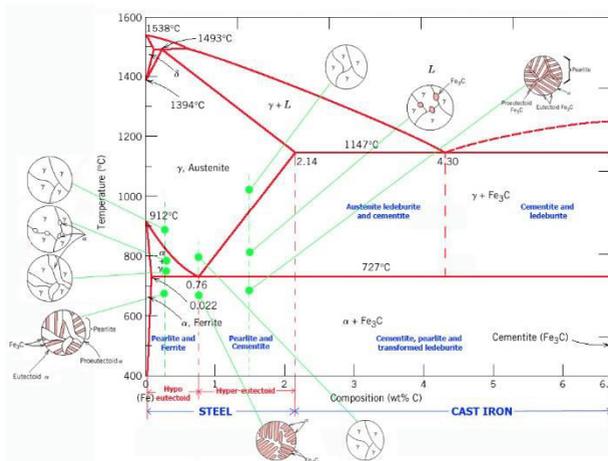
Diagram keseimbangan besi – karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa *interstitial*-nya, karbida besi Fe₃C, yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram Fe – Fe₃C.

Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi

akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil.

Dari Gambar 2.7 tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu:

- Pada 1496°C, kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik. $L + \delta \rightarrow \gamma$ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)
- Pada 1130°C, kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik.
 $L \rightarrow \gamma + Fe_3C$
- Pada 723°C, kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi *eutectoid*. $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$



Gambar 2.7 Diagram Fasa Fe – Fe₃C (Avner, 1974)



2.6 Analisa Kegagalan

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan/pengujian terhadap komponen-komponen atau struktur yang mengalami kerusakan beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan dengan tujuan untuk mengetahui penyebab dari kegagalan tersebut. Jadi tujuan utama dari analisa kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan solusi-solusi yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi masalah kegagalan tersebut.

Dengan kata lain, analisa kegagalan berujung pada observasi pada komponen-komponen yang rusak. Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makrokopis dan mikrokopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.

Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brooks, 2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat di karenakan :

1. Faktor kesalahan pemilihan material

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.5 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material



Tabel 2.5 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin
(Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Kesalahan pemilihan material	38
Cacat produksi	15
Kesalahan perlakuan panas	15
Kesalahan desain mekanik	11
Kondisi operasi yang berlebihan	8
Kondisi lingkungan yang tidak	6
Pemeriksaan yang kurang baik	5
Material yang tidak jelas	2

2. Perawatan komponen yang kurang baik

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.6 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi

Tabel 2.6 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin (Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Perawatan yang kurang	44
Cacat saat fabrikasi	17
Defisiensi desain	16
Pemakaian yang abnormal	10
Cacat material	7
Penyebab yang tidak jelas	6

3. Kesalahan dalam perancangan komponen

Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen



mesin adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
2. Kegagalan getas akibat beban kejut
3. Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
4. *Static delayed fracture*
5. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
6. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*
7. Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.
8. Kondisi kerja yang ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks, 2002)

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan (<i>fatigue</i>)	25
Kegagalan getas (<i>brittle fracture</i>)	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperatur tinggi	7
Korosi retak tegang, korosi	6



penggetasan <i>hydrogen</i> dan korosi lelah	3
Abrasi, Erosi	3

2.7 Pengertian Keausan

Definisi paling umum dari keausan yang telah dikenal sekitar 50 tahun lebih yaitu hilangnya bahan dari suatu permukaan atau perpindahan bahan dari permukaannya ke bagian yang lain atau Bergeraknya bahan pada suatu permukaan. (Almen J.O, 1950). Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif akibat adanya gesekan (friksi) antar permukaan padatan atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya (Yuwono, 2008). Keausan biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respons material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Mekanisme keausan dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku mekanis dari bahan dan keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku kimia dari bahan (Zum Gahr, 1987) sedangkan menurut Koji Kato, tipe keausan terdiri dari tiga macam, yaitu *mechanical*, *chemical* dan *thermal wear* (Hokkirigawa and Kato K, 1989).

2.7.1 Keausan Karena Perilaku Mekanis (*Mechanical Wear*)

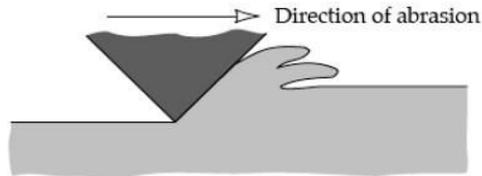
Digolongkan lagi menjadi *abrasive*, *adhesive*, *flow and fatigue wear*.

a. *Abrasive wear*.

Keausan ini terjadi jika partikel keras atau permukaan keras yang kasar menggerus dan memotong permukaan



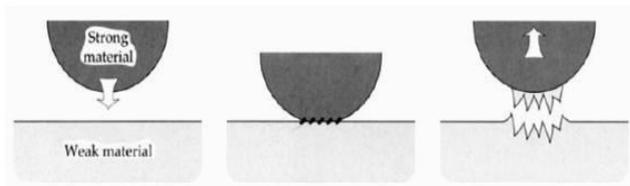
sehingga mengakibatkan hilangnya material yang ada dipermukaan tersebut (*earth moving equipment*) (Zum Gahr, 1987) (Hokkirigawa and Kato K, 1989). Contoh : Proses permesinan seperti *cutting*



Gambar 2.8 Mekanisme *abravise wear* akibat proses *cutting* (Stachowiak, 2000)

b. *Adhesive wear*.

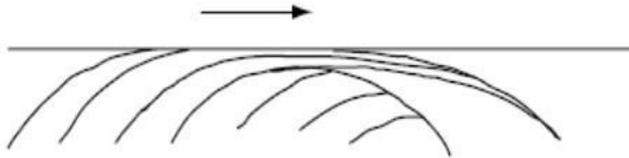
Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak menempel atau melekat pada lawan kontak yang lebih keras.



Gambar 2.9 Proses Perpindahan Logam karena *Adhesive Wear* (Stachowiak, 2000)

c. *Flow wear*.

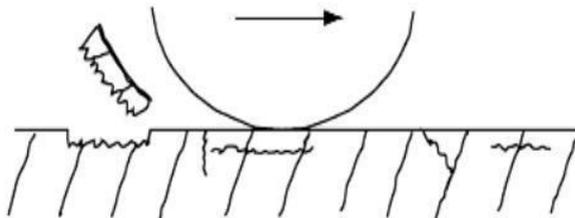
Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak mengalir seperti meleleh dan tergeser plastis akibat kontak dengan lain



Gambar 2.10 *Flow wear* oleh penumpukan aliran geseran plastis (Stachowiak, 2000)

d. *Fatigue wear*.

Fenomena keausan ini didominasi akibat kondisi beban yang berulang (*cyclic loading*). Ciri-ciri nya perambatan retak lelah biasanya tegak lurus pada permukaan tanpa deformasi plastis yang besar, seperti: *ball bearings*, *roller bearings* dan lain sebagainya



Gambar 2.11 *Fatigue wear* karena retak di bagian dalam dan merambat (Stachowiak, 2000)



2.7.2 Keausan Karena Perilaku Kimia (*Chemical*)

a. *Oxidative wear*

Pada peningkatan kecepatan sliding dan beban rendah, lapisan oksida tipis, tidak lengkap, dan rapuh terbentuk. Pada percepatan yang jauh lebih tinggi, lapisan oksida menjadi berkelanjutan dan lebih tebal, mencakup seluruh permukaan. Contoh: Permukaan luncur di dalam lingkungan yang oksidatif.

b. *Corrosive wear*

Mekanisme ini ditandai oleh batas butir yang korosif dan pembentukan lubang. Misalnya, permukaan *sliding* di dalam lingkungan yang korosif.

2.7.3 Keausan Karena Perilaku Panas (*Thermal Wear*)

a. *Melt wear*

Keausan yang terjadi karena panas yang muncul akibat gesekan benda sehingga permukaan aus meleleh.

b. *Diffusive wear*

Terjadi ketika ada pancaran (*diffusion*) elemen yang melintasi bidang kontak misalnya pada perkakas baja kecepatan tinggi.

Dalam banyak situasi keausan, ada banyak mekanisme yang beroperasi secara serempak, akan tetapi biasanya akan ada satu mekanisme penentu tingkat keausan yang harus diteliti dalam hal ini berhubungan dengan masalah keausan. Hubungan antara koefisien gesek dan laju keausan belum ada penjelasan yang tepat, karena hubungan keduanya akan selalu berubah terhadap waktu. (Blau, 2001)



2.8 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi kimia merupakan suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada suatu logam benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk menghasilkan sifat logam yang baik. *Spectrometer* adalah alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan.

Prinsip dasar dari diketahuinya kandungan unsur dan komposisinya pada alat ini adalah apabila suatu logam dikenakan energi listrik atau panas maka kondisi atomnya menjadi tidak stabil. Elektron-elektron yang bergerak pada orbital atomnya akan melompat ke orbital yang lebih tinggi. Apabila energi yang dikenakan dihilangkan maka electron tersebut akan kembali ke orbit semula dan energi yang diterimanya akan dipancarkan kembali dalam bentuk sinar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya, sedangkan intensitas sinar terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unsur. Hal ini menjelaskan bahwa suatu unsur dan kadarnya dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar. (Yogantoro, 2010)

2.9 Heat Treatment

Perlakuan panas adalah kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu, dimaksudkan untuk memperoleh sifat tertentu (avner, 1974). Secara umum heat treatment dibagi dalam tiga tahap, yaitu:

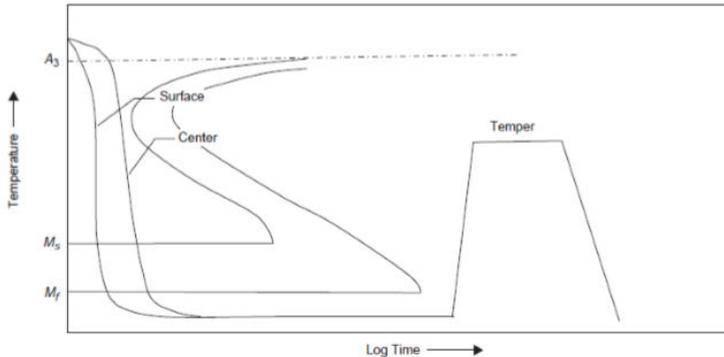
1. Pemanasan sampai suhu tertentu sesuai dengan proses heat treatment dan dengan kecepatan tertentu tergantung dari dimensi dan konduktifitas perpindahan panas benda kerja.



2. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu, sehingga temperaturnya merata pada seluruh bagian benda kerja.
3. Pendinginan dengan media pendingin yang bergantung pada proses heat treatment dan benda kerja. Pada baja karbon rendah dan sedang biasanya digunakan air sebagai media pendingin, karena laju pendinginannya cukup cepat sehingga terbentuk martensit. Sedangkan pada baja karbon tinggi dan baja paduan digunakan minyak sebagai media pendingin dengan laju pendinginan yang lebih lambat. (Rina Dwi Yani, 2008)

2.9.1 Hardening

Baja dikeraskan dengan austenitisasi, pendinginan cepat (*quenching*), dan kemudian tempering untuk mencapai kekerasan akhir. Baja memiliki komposisi yang berbeda-beda maka dari itu penting untuk memahami ketebalan maksimum yang dapat dikeraskan pada suatu media pendingin yang spesifik, misalnya air atau media oli, dan memperkirakan variasi kekuatan akhir dan keuletan yang dapat diperoleh pada temperatur *tempering* yang berbeda-beda. Prosedur untuk *quenching* dan *tempering* seperti pada Gambar 2.12 *Tempering* tidak digunakan untuk mengeraskan baja. Baja dikeraskan dengan austenitisasi dan *quenching*. *Tempering* dilakukan untuk mengembalikan keuletan yang hilang saat dikeraskan dan biasanya penghalusan (*softening*) diperoleh dengan *tempering*.

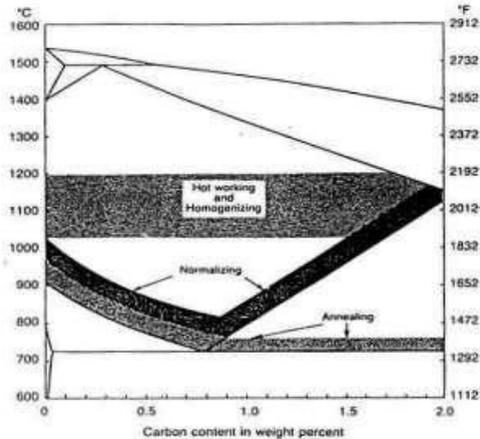


Gambar 2.12 Perlakuan panas Hardening-Tempering pada baja
(Campbell, 2008)

Kandungan karbon sangat penting terhadap kemampuan suatu baja untuk dikeraskan. Keuletan berkurang dengan meningkatnya kandungan karbon, kandungan karbon pada umumnya dijaga sekitar 0,45% pada baja teknik. Penambahan unsur paduan akan menggeser hidung diagram TTT ke kanan, sehingga mempermudah benda kerja yang tebal untuk dikeraskan. Unsur paduan tidak meningkatkan kekerasan martensit secara signifikan, tetapi hardenability, kedalaman dari permukaan struktur mikro martensit dapat dihasilkan pada baja (Campbell 2008).

2.9.2 Austenitizing

Pada proses austenitisasi, baja dipanaskan sampai daerah austenit (γ) dan ditahan selama beberapa waktu tertentu untuk melarutkan karbida sampai menjadi larutan padat austenit. Temperatur yang dibutuhkan untuk melakukan austenitisasi pada kadar karbon tertentu seperti pada Gambar 2.13



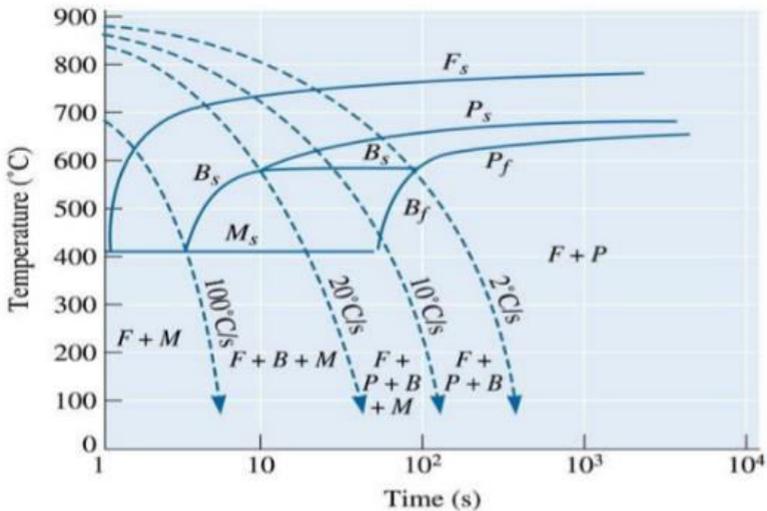
Gambar 2.13 Rentang temperature austenitisasi pada perlakuan panas (Campbell, 2008)

Peningkatan kadar karbon, temperatur berkurang sepanjang garis A3 sampai mencapai minimum pada A1, komposisi eutektoid (0,8%), dan kemudian meningkat sepanjang garis Acm . Tahap pertama pada pembentukan austenit adalah nukleasi dan pertumbuhan austenit dari perlit (ferit+Fe₃C). Pembentukan austenit yang homogen dapat dipercepat dengan meningkatkan temperatur dan meningkatkan kehalusan partikel karbida mula- mula. Meskipun begitu, temperatur austenitisasi perlu dijaga serendah mungkin untuk mengurangi retak dan distorsi, mengurangi oksidasi dan dekarburisasi, dan mengurangi pertumbuhan butir (Campbell, 2008). Temperatur yang dibutuhkan untuk mencapai 100% austenit padaa baja *hypereutektoid* cukup tinggi, meskipun begitu austenit untuk pengerasan pada baja dapat diperoleh pada temperatur sekitar 770°C. Karbida yang tidak terlarut dalam jumlah kecil memiliki pengaruh yang kecil pada sifat mekanik akhir baja.



2.9.3 Cooling

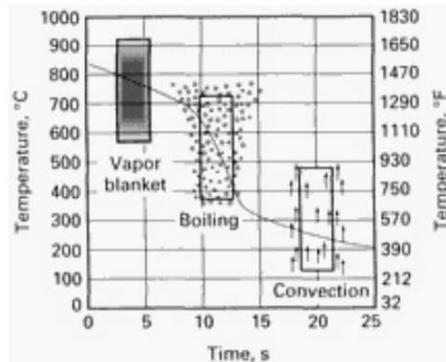
Proses perlakuan panas *hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi, ditahan beberapa waktu tertentu pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat (*quenching*), sehingga diperoleh martensit. Pada suatu benda kerja yang dikeraskan maka kekerasan yang terjadi akan tergantung pada seberapa banyak martensit yang terbentuk dan kekerasan martensit itu sendiri. Banyaknya martensit yang akan terjadi tergantung pada seberapa banyak austenit yang terjadi pada saat pemanasan dan seberapa cepat pendinginannya sedangkan kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon dalam baja yang terlarut dalam austenit. Pada saat baja didinginkan secara cepat dari temperatur austenitisasi (*quench*), karbon tidak memiliki waktu untuk berdifusi dari struktur mikro austenit ketika struktur ini bertransformasi menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*), struktur ini disebut martensit. Saat kondisi perlakuan panas sebenarnya, transformasi umumnya tidak terjadi saat kondisi isothermal tetapi terjadi saat kondisi pendinginan yang terus menerus (*Continuous Cooling*). Proses ini dapat kita lihat pada diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) berikut:



Gambar 2.14 Diagram CCT untuk baja *low alloy* 0,2 %C
(Phulee,2003)

Proses *quenching* merupakan proses mendinginkan pada laju pendinginan tertentu untuk membentuk martensit. Distorsi struktur BCT menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi pada baja yang di-*quench*. Beberapa baja di-*quench* dengan air atau oli untuk menghasilkan laju pendinginan yang cukup. Pendinginan dengan air menghasilkan laju pendinginan tercepat juga menghasilkan tegangan sisa yang paling tinggi sehingga dapat menghasilkan distorsi dan retak. Terdapat tiga tahapan hilangnya panas selama *quenching* pada media *liquid*, seperti pada Gambar 2.14, yaitu *vapor blanket*, *nucleate boiling* dan *liquid cooling*. Tahap *vapor blanket* memiliki karakteristik dengan uap air menyelimuti benda kerja. Hal ini terjadi karena suplai panas dari bagian dalam benda kerja yang menuju permukaan melebihi jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan *quenchant* dan menghasilkan fasa uap air. Laju

pendinginan tertinggi terjadi pada tahap *nucleate boiling*. Selama periode ini uap air terlepas dan laju ekstraksi panas yang dihasilkan berhubungan dengan pendidihan inti (*nucleate boiling*) dari *quenchant* pada logam. Panas secara cepat dilepas dari permukaan akibat kontak cairan pendingin pada logam dan kemudian menguap. Tahap *liquid cooling* dimulai ketika temperatur permukaan logam berkurang sampai dibawah titik didih cairan *quenching*. Dibawah temperatur ini, pendinginan terjadi dengan mekanisme konduksi dan konveksi pada *quenchant*.



Gambar 2.15 Tiga Tahapan pada *quenching* (Campbell, 2008)

Pemilihan media quench yang tepat tergantung pada kemampukerasan/ *hardenability* material, ketebalan dan geometri komponen, serta kecepatan pendinginan untuk mendapatkan struktur mikro yang diinginkan. Media quench atau quenchant yang biasa digunakan antara lain: Air, Oli, Lelehan garam, Lelehan logam, Larutan polimer .(Pramudya, 2010)

Selama proses quenching, bentuk maupun ketebalan juga akan mempengaruhi kecepatan pendinginan dari komponen.



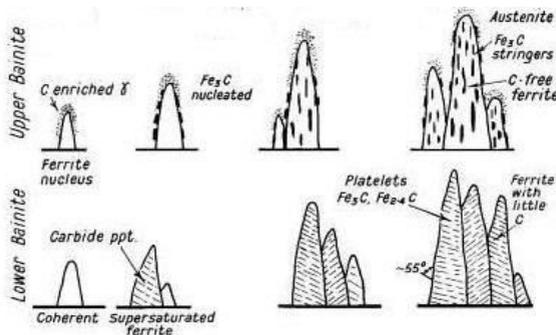
Hal ini terjadi karena energi panas di dalam komponen akan terlebih dahulu mengalir ke permukaan komponen sebelum nantinya dibuang ke media quench. Inilah yang menyebabkan kecepatan pendinginan antara di dalam dan di permukaan komponen berbeda tergantung dari ketebalan dan geometri bentuknya. Penggunaan media quench yang tepat juga ikut berpengaruh pada kecepatan pendinginan. Semakin tinggi kecepatan pendinginan maka semakin dalam juga efek dari pengerasan/pembentukan martensit. Pengaruh media quench dapat diketahui dengan menggunakan *grossman quench severity factor*, H , pada Tabel 2.8 di bawah. Semakin tinggi nilai H , maka semakin tinggi pula kecepatan pendinginan pada komponen. (ASM vol.4)

Tabel 2.8 *Grossman quench severity factor* (ASM vol.4)

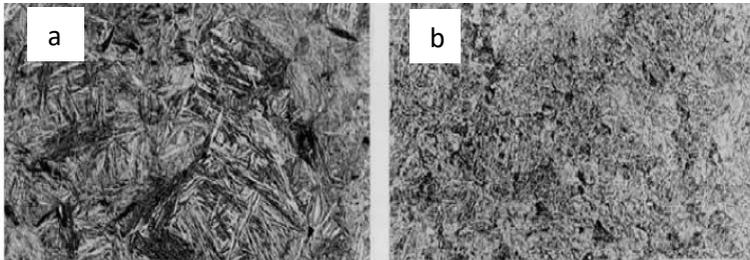
Circulation or agitation	Grossmann quench severity factor, H			
	Brine ^(a)	Water ^(a)	Oil ^(a) and salt	Air ^(b)
None	2	0.9-1.0	0.25-0.30	0.02
Mild	2-2.2	1.0-1.1	0.30-0.35	...
Moderate	...	1.2-1.3	0.35-0.40	...
Good	...	1.4-1.5	0.4-0.5	...
Strong	...	1.6-2.0	0.5-0.8	...
Violent	5	4	0.8-1.1	...

A. Mekanisme Terbentuknya Bainit

Pada temperatur di bawah hidung (550°C), suatu konstituen lain mulai terjadi yaitu bainit. Pada temperatur yang rendah ini austenit sudah berada jauh di bawah temperature stabilnya, ia akan mengalami driving force yang besar untuk berubah dari FCC menjadi BCC. Karena driving force itu atom-atomnya akan tergeser untuk menjadi BCC, terbentuk ferit. Karena tadinya disitu terdapat banyak karbon sedang ferit tidak mampu melarutkan karbon maka karbon akan berdifusi keluar dari ferit sebagai karbida. Sementara itu austenit disekitar ferit tadi juga menjadi ferit, dan karbonnya berdiffusi keluar, sehingga akhirnya akan diperoleh suatu struktur berupa bilah-bilah ferit yang didalamnya terdapat platelet sementit dengan arah hampir sejajar dengan sumbu pertumbuhannya, dinamakan bainit atas (upper bainite) atau feathery bainite. halus, berbentuk jarum-jarum (acicular), dan platelet sementit arahnya tidak lagi sejajar dengan sumbu tetapi membentuk sudut 55° . Dibawah mikroskop tampak mirip martensit. Struktur ini dinamakan bainit bawah (Lower bainite) atau acicular bainit



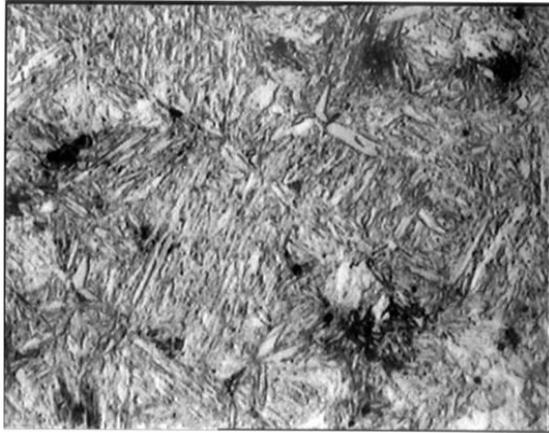
Gambar 2.16 Mekanisme terbentuknya Bainit



Gambar 2.17 Gambar Mikrostruktur Bainit atas (a) dan bainit bawah (b)(Avner ,1974)

B. Mekanisme terbentuknya Martensit

Bila austenit didinginkan dengan cepat dan dapat mencapai temperatur M_s sebelum menjadi struktur lain maka pada saat itu mulai terbentuk martensit. Pada temperatur yang sangat rendah ini austenit mengalami driving force yang sangat besar untuk berubah dari FCC menjadi BCC, yang menimbulkan shear force terhadap atom-atom. Ini menyebabkan atom-atomnya sedikit tergeser untuk menuju bentuk BCC, tetapi karena didalamnya masih terdapat banyak karbon (yang tadinya larut dalam austenit dan masih belum sempat keluar) dan karbon ini sudah tidak lagi dapat berdiffusi keluar (karena temperatur sudah terlalu rendah untuk dapat berdiffusi) maka struktur BCC tidak tercapai, salah satu rusuk sel satuannya lebih panjang daripada yang lain, ia menjadi BCT (Body Centered Tetragonal), martensit. Dibawah mikroskop martensit ini tampak berupa jarum-jarum (Gambar 2.14). Pada gambar tampak jarum-jarum martensit dan sisa austenit yang tidak bertransformasi (putih) sebagai latar belakang. Kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon, makin tinggi bila kadar karbon makin tinggi. (Avner ,1974)



Gambar 2. 18 Martensit dari baja 0.35 %C diquench dari suhu 870 °C(Avner ,1974)

2.10 Pengujian Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastis atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Hal ini sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan nilai kekerasan material.

Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, hal ini tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu, Kekerasan goresan (*scratch hardness*), Kekerasan lekukan (*indentation hardness*) dan Kekerasan pantulan (*rebound*).

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah pengujian kekerasan indentasi. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standart terhadap *indenter*. Terdapat berbagai macam uji kekerasan indentasi, antara lain: uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, dan *Knoop*



2.10.1 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell*. Angka kekerasan piramida intan (*DPH*), atau angka kekerasan *Vickers* (*VHN* atau *VPH*), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan (Dieter, 1987). Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. *VHN* dapat ditentukan dari persamaan (2.1) berikut

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1.845P}{L^2} \quad \dots\dots (2.1)$$

2.11 Uji Keausan (*Pin-on-disc*)

Pin-On-Disc merupakan alat dari tribotester yang di gunakan untuk mengetahui gesekan dan keausan suatu bahan material yang saling bersentuhan. *Pin-On-Disc* memiliki beberapa komponen yaitu pin yang ujungnya berbentuk bola atau flat yang terbuat dari bahan material tertentu yang diinginkan untuk pengujian tersebut dan disc berbentuk piringan yang juga terbuat dari bahan material yang diinginkan (Armanto, 2012). Pada proses pengujian menggunakan *PinOn-Disc* juga bisa divariasi beban dan temperatur sesuai dengan kebutuhan penelitian. Keausan dari bahan terjadi karena banyak faktor dan mekanismenya dipengaruhi oleh berbagai parameter, meliputi parameter bahan, lingkungan, kondisi operasi, dan geometri dari keausan. Keausan (*wear*) adalah hilangnya materi dari permukaan benda padat sebagai akibat dari



gerakan mekanik. Keausan umumnya sebagai

Pengujian ini dapat diaplikasikan pada beberapa jenis material, salah satu ketentuannya yaitu dimensi material tertentu dan dapat menahan tekanan yang diberikan selama pengujian tanpa mengalami kegagalan. Bentuk pin secara khusus berbentuk silinder atau bola, dengan diameter antara 2 – 10 mm dan ukuran disc antara 30 – 100 mm, serta memiliki ketebalan 2 – 10 mm.

Berat keausan dan volume keausan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3). Untuk faktor keausan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4). (Darmanto, 2014)

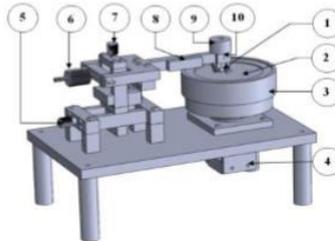
$$\text{Berat keausan} = \text{Berat awal} - \text{berat akhir} \dots (2.2)$$

$$\text{Vol. keausan} = \frac{\text{Berat keausan}(\text{gram})}{\text{Berat jenis} \left(\frac{\text{gram}}{\text{mm}^3} \right)} \dots (2.3)$$

$$\text{Faktor keausan} = \frac{\text{volume keausan}(\text{mm}^3)}{\text{Beban}(N) \times \text{jarak tempuh}(m)} \dots (2.4)$$

Alat dan bahan untuk pengujian *pin on disc* adalah :

1. Alat Tribotester Digunakan untuk menguji keausan pin seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15



Gambar 2.19 Tribotester

2. Regulator
Regulator pengatur tegangan listrik digunakan untuk mengatur voltase pada motor listrik penggerak disc supaya putaran disc dapat diatur.
3. Tachometer
Sebagai alat untuk mengetahui putaran pada disc.
4. Timbangan digital
Sebagai alat untuk mengukur berat pada pin sebelum dan sesudah pengujian.

Tahapan yang harus dilakukan sebelum pengujian dan penelitian yaitu dengan persiapan dan pemeriksaan peralatan: Menyiapkan dan memeriksa alat uji dan peralatan yang digunakan, Melakukan pengecekan kondisi peralatan (*Pin-On-Disc*, Regulator, Tachometer, Timbangan Digital, Mikroskop), Melakukan perawatan atau penggantian baterai pada peralatan, Memeriksa pemasangan alat uji dan perlengkapan alat uji, Memastikan alat uji semua bisa bekerja dengan semestinya dengan baik untuk mendapatkan hasil yang optimal dan menghindari terjadinya kecelakaan kerja.

Tahap yang dilakukan saat memulai pengujian yang pertama adalah melakukan Penimbangan pada pin lalu mengatur putaran disc yang diinginkan. Lalu memasang *pin* dan *disc*,



pengujian tiga jenis kondisi pelumasan yang berbeda dan menggunakan alat tribotester *pin-on-disc* dan pengambilan data dari hasil pengujian untuk mengetahui keausan yang terjadi akibat kontak. (ASTM G99, 2003)

2.12 Penelitian Sebelumnya

1. Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi *Sprochet* Rantai

Penelitian oleh Agus Pramono pada tahun 2011 Pada baja AISI 1045 dilakukan pengerasan (*hardening*) untuk memperoleh sifat tahan aus dan kekerasan yang tinggi, dengan proses *heat treatment* (*perlakuan panas*), yang dilanjutkan dengan proses *quenching*. Kekerasan yang dicapai tergantung pada temperatur pemanasan, *holding time*, dan laju pendinginan yang dilakukan pada suhu panas.

Kekerasan baja AISI 1045 yang dicapai pada proses *perlakuan panas* dilanjutkan *quenching* agitasi dengan tebal sampel dan volume air yang divariasikan, sehingga diperoleh kekerasan maksimum pada volume air 10 liter dengan nilai kekerasan rata-rata 59,62 HRC, sedangkan untuk nilai kekerasan rata-rata pada volume air 15 liter yaitu 58,56 HRC, untuk volume air 20 liter yaitu 57,62 HRC dan untuk volume air 25 liter yaitu 58,37 HRC. Dari hasil kekerasan yang dihasilkan pada masing-masing sampel berbeda-beda, hal ini disebabkan faktor lain yang mempengaruhi terjadinya perbedaan kekerasan pada masing-masing sampel hasil proses *perlakuan panas* yang dipengaruhi oleh tebal sampel dan volume air *quenching* yang mempengaruhi.



Tabel 2.9 Data Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell Baja AISI 1045(a)Volume Air Quenching 10 Liter(b)Volume Air Quenching 15 Liter(c)Volume Air Quenching 20 Liter(d)Volume Air Quenching 25 Liter

a.

No.Sampel	HRC1	HRC2	HRC3	HRC4	Rata-rata	Tebal Sampel
I.1	57	57	59	60	58,25	10 mm
I.2	60	60	60	60	60	15 mm
I.3	59	61	60	60	60	20 mm
I.4	60	61	60	60	60,25	25 mm

b.

No.Sampel	HRC1	HRC2	HRC3	HRC4	Rata-rata	Tebal Sampel
II.5	58	56	57	58	57,25	10 mm
II.6	60,5	58,5	59	60	59,5	15 mm
II.7	59,5	59	58	60	59,12	20 mm
II.8	59,5	59	58	57	58,37	25 mm

No.Sampel	HRC1	HRC2	HRC3	HRC4	Rata-rata	Tebal Sampel
III.9	59	60	57	57	58,25	10 mm
cIII.10	56	57	58	58,5	57,37	15 mm
III.11	57	57	57	58	57,25	20 mm
III.12	58	57	58,5	57	57,62	25 mm

d.

No.Sampel	HRC1	HRC2	HRC3	HRC4	Rata-rata	Tebal Sampel
IV.13	57	58	57	57	57,25	10 mm
IV.14	57	57,5	61	59	58,62	15 mm
IV.15	56,5	57	60	59	58,12	20 mm
IV.16	59	60	60	59	59,5	25 mm



Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Pada volume air 10 liter diperoleh nilai kekerasan yang tinggi dibandingkan dengan volume air 15 liter, 20 liter dan 25 liter.

2. Peningkatan kekerasan akan meningkatkan ketahanan aus pada baja AISI 1045. Peningkatan kekerasan akan berbanding lurus dengan meningkatnya ketahanan aus pada baja AISI 1045.

2. Analisa Kekerasan pada Pisau Berbahan Baja Karbon Menengah Hasil Proses Hardening dengan Media Pendingin yang Berbeda

Penelitian oleh Prihanto Trihutomo pada tahun 2015 ini meneliti tentang kekerasan baja karbon menengah dalam proses *hardening* dengan media pendingin yang berbeda. Bahan pisau yang terbuat dari baja karbon menengah, diberikan perlakuan *hardening* pada temperatur 800°C dengan lama waktu pemanasan selama 30 menit. Kemudian dilakukan pendinginan dengan menggunakan media pendingin yang berbeda yaitu air, air garam, oli dan udara. Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dengan mesin uji kekerasan Vickers.

Hasil analisa data menunjukkan bahwa pisau yang menggunakan media pendingin air memiliki nilai rata-rata kekerasan 652,64 HV, pisau yang menggunakan media pendingin air garam rata-rata nilai kekerasannya 836,56 HV, pisau yang menggunakan media pendingin oli mempunyai nilai rata-rata kekerasan 600 HV dan pisau yang menggunakan media pendingin udara memiliki rata-rata nilai kekerasan 335,44 HV. Dari analisa data didapat kesimpulan bahwa proses pembuatan pisau menggunakan media pendingin oli adalah yang terbaik karena menghasilkan pisau dengan tingkat kekerasan yang cukup tinggi disertai dengan tingkat keuletan yang baik sehingga tidak getas.



Tabel 2.10 Data Nilai Kekerasan dengan Media pendingin (a.) air (b.)air garam (c.) oli (d.)udara

a.

No.	Media Pendingin	Nilai Kekerasan <i>Vickers</i> (HV)					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
1	Air Sumur	661	681	661	623,2	637	652,64

b.

No.	Media Pendingin	Nilai Kekerasan <i>Vickers</i> (HV)					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
1	Air Garam	831,1	804	882	859,6	946,1	836,56

c.

No.	Media Pendingin	Nilai Kekerasan <i>Vickers</i> (HV)					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
1	Oli	556,8	623,2	560,6	637	623	600

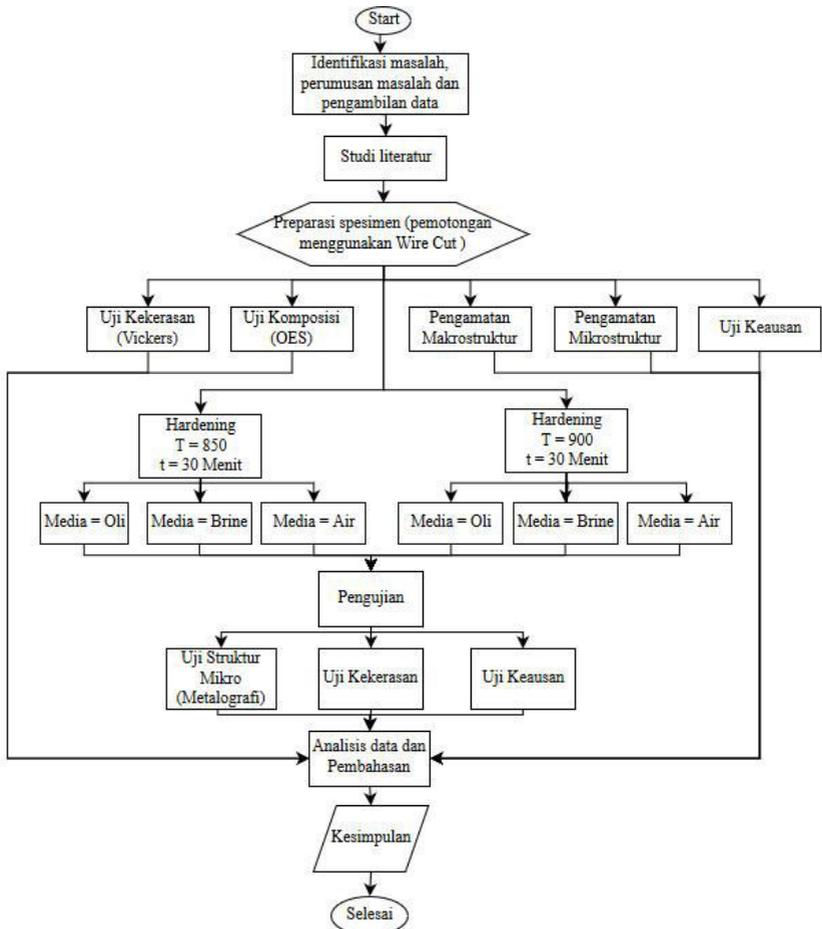
d.

No.	Media Pendingin	Nilai Kekerasan <i>Vickers</i> (HV)					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
1	Udara	339,4	335,8	328,8	341,2	332	335,44

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa pengujian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literatur. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang telah diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu PT. Semen Indonesia, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. Semen Indonesia yang ahli dibidangnya.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisa kegagalan pada *chain shackle*.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu : uji komposisi dengan menggunakan spectrometer, uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material *chain shackle* ,pengamatan mikrostruktur material dengan menggunakan mikroskop optik dan uji keausan.

3.3 Material yang digunakan

3.3.1. Material

Pada tanggal 31 Agustus 2017 ditemukan *chain shackle* pada Bucket Elevator Finish Mill Tuban 9 mengalami keausan yang diperlihatkan pada gambar 3.2.



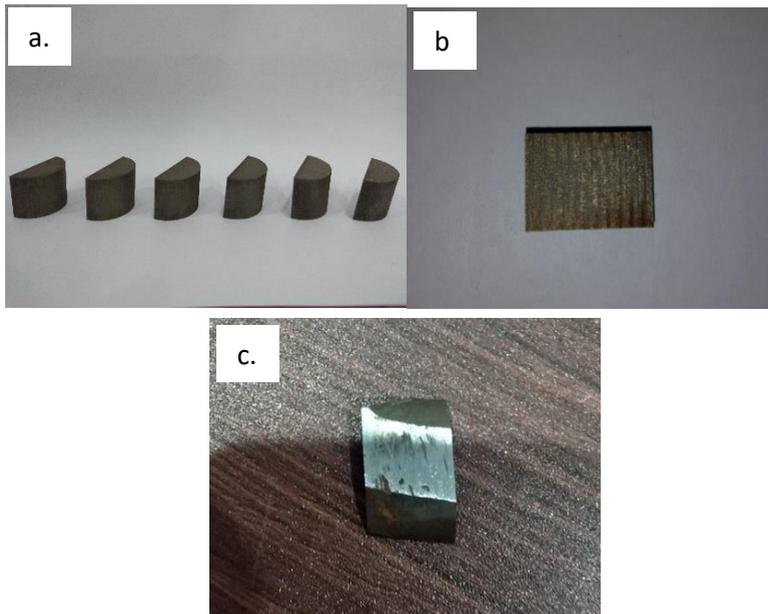
Gambar 3.2 Komponen Chain Shackle yang Aus

Tabel 3.1 Tabel Komposisi Kimia *Chain shackle*

Unsur	C	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
%	0.299	0.745	0.019	0.0181	0.235	0.041	0.014

3.3.2. Spesimen

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu potongan pada komponen crossbar yang crack, 1 spesimen untuk pengujian kekerasan jauh dari daerah yang aus, 1 spesimen untuk pengujian kekerasan dari daerah yang dekat dengan daerah yang aus dan 6 spesimen untuk proses perlakuan panas yang ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3 (A) Spesimen untuk proses perlakuan panas (B) Spesimen untuk uji kekerasan jauh dari daerah aus (C) Spesimen untuk uji kekerasan dekat dari daerah aus

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Mesin *Wire Cut*

Digunakan untuk memotong spesimen.



Gambar 3.4 Mesin Wire Cut

2. Kamera

Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro.

3. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*)

Digunakan untuk mengetahui komposisi material.



Gambar 3.5 Mesin OES

4. Uji Kekerasan

Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji.



Gambar 3.6 *Universal Hardness Tester*

5. Amplas SiC grade 80 hingga 2000
Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi
6. Mesin Polish
Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi
7. Larutan Etsa 74a
Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi terdiri dari 1-5 mL HNO₃ + 100 mL ethanol (95%) atau methanol (95%).
8. Mikroskop Optik
Digunakan untuk mendapatkan informasi struktur mikro/fasa yang terdapat pada material uji.



Gambar 3.7 *Olympus BX51 Optical Microscope*



9. Mesin Uji Ketahanan Aus
Digunakan untuk mendapatkan informasi laju keausan yang terdapat pada material uji.

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Data Operasional Lapangan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data-data perusahaan yang mendukung penelitian. Data-data yang diambil antara lain :

1. Spesifikasi *Chain Shackle*
2. Data operasi
3. Spesifikasi material

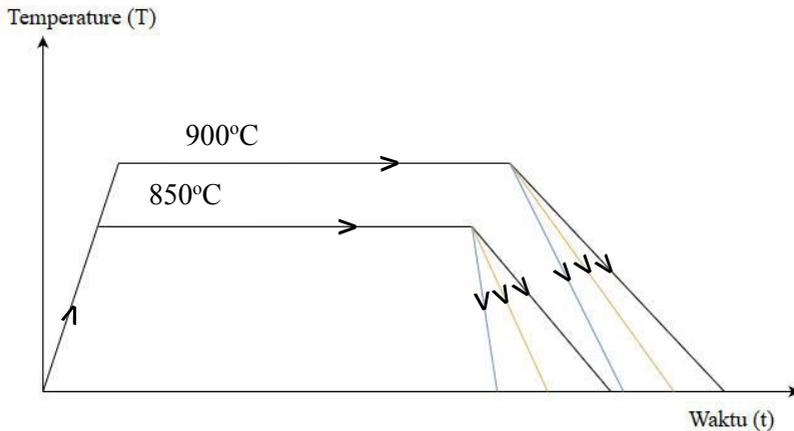
3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan/keausan *Chain shackle* pada PT Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses *cutting* dan *sectioning*.

Spesimen yang terindikasi adanya beban siklik serta bagian yang jauh dari aus telah diuji sebagai perbandingan antara material yang baru dengan material yang sudah aus/ gagal.

3.5.3 Proses Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah proses hardening dengan temperatur 850°C dan 900°C dengan waktu tahan 30 menit. Setelah melakukan pemanasan, spesimen telah didinginkan dengan media pendingin yang berbeda yaitu oli, air garam dan air.



Gambar 3.8 Proses hardening dengan variasi temperatur dan media pendingin

3.5.4 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy* (OES) di PPNS untuk mengetahui komposisi yang ada pada *Chain shackle*.

3.5.5 Pengamatan Makroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera dan digital

Adapun perlakuan terhadap sampel material adalah dengan melakukan pengambilan fotografi dengan kamera digital untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.



3.5.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers.

3.5.7 Uji Keausan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui laju keausan sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode *pin on disk*, dengan mengaju pada standar ASTM G99. Dengan menggunakan amplas SiC *grade* 80 untuk abraser.

3.6 Rancangan Penelitian

Tabel 3.2 Rancangan penelitian

Material	Temperatur	Media Pendingin	Pengujian OES	Uji Metalografi	Uji Kekerasan	Uji Keausan
Failure Chain Shackle	-	-	V	V	V	V
CS H820-WQ	850 °C	Air	-	V	V	V
CS H820-SQ	850 °C	Brine	-	V	V	V
CS H820-OQ	850 °C	Oli	-	V	V	V
CS H920-WQ	900 °C	Air	-	V	V	V
CS H920-SQ	900 °C	Brine	-	V	V	V
CS H920-OQ	900 °C	Oli	-	V	V	V



(halaman ini sengaja dikosongkan)

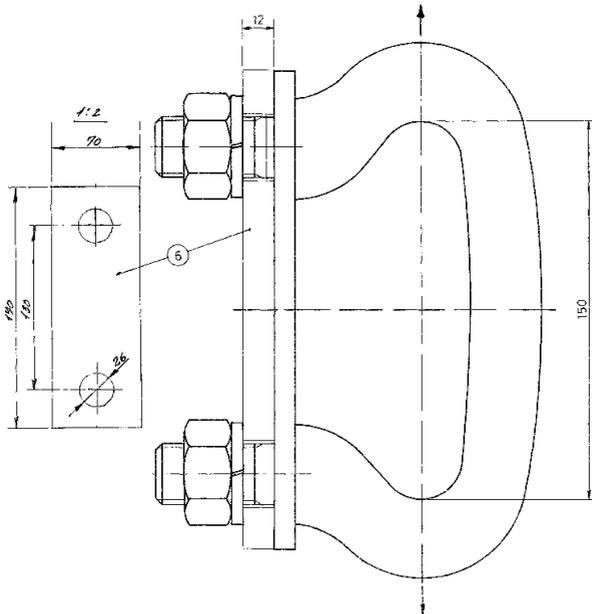
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1. *Record Chain Shackle di Bucket Elevator*

Pada tanggal 31 Agustus 2017 PT. Semen Indonesia sedang melaksanakan maintenance rutin. Kemudian ditemukan *chain shackle* pada Bucket Elevator Finish Mill Tuban 9 mengalami keausan.

Berikut ini data-data dari *chain shackle* mencakup spesifikasi *chain shackle* pada *Bucket Elevator* dapat dilihat pada gambar 4.1, sedangkan data operasi *chain shackle* pada *bucket elevator* dapat dilihat pada tabel 4.1.



Gambar 4.1 Desain *chain shackle* di PT. Semen Indonesia

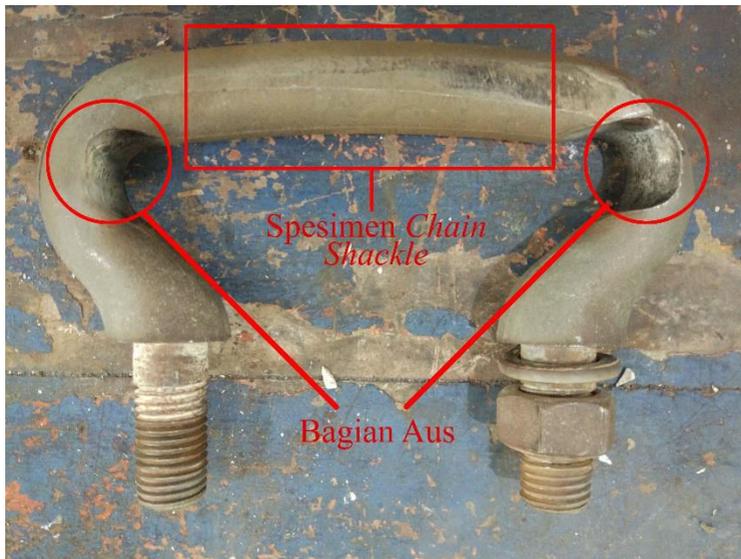


Tabel 4.1 Data Operasi *chain shackle* pada *Bucket Elevator* Finish Mill Tuban 9 PT. Semen Indonesia

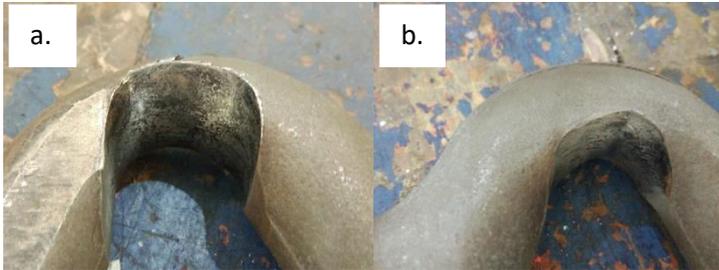
Temperatur Operasi	27°-30°C
Kapasitas	150 ton/jam
Running Time	24 jam/hari

4.1.2. Pengamatan Hasil Makro Pada *Chain Shackle*

Berdasarkan hasil pengamatan visual secara makro menggunakan bantuan kamera DSLR pada daerah komponen *chain shackle* yang mengalami keausan terlihat pada gambar 4.2. Terlihat aus terjadi pada bagian lengkung dari *chain shackle*.



Gambar 4.2 Chain Shackle yang mengalami keausan



Gambar 4.3 Pengamatan makro komponen *Chain Shackle* yang Aus (a)bagian kanan (b)bagian kiri

Gambar 4.3 menunjukkan keausan pada *chain shackle* pada bagian lekukan komponen. Dimana bagian lekukan kanan dan kiri sama-sama mengalami keausan.

4.1.3. Hasil Pengujian Komposisi Kimia Pada Komponen *Chain Shackle*

Uji Komposisi kimia menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*) pada komponen *chain shackle*. Pengujian dilakukan untuk mengamati komposisi pada spesimen *chain shackle* dan membandingkan dengan komposisi standard dari komponen *chain shackle*. Hasil pengujian komposisi kimia *chain shackle* yang dan komposisi standard ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Komposisi kimia material *chain shackle* dan material standard (AISI 1045).

Unsur	C%	Mn%	P%	S%	Mo%
Chain Shackle	0.299	0.745	0.019	0.0181	0.014
AISI 1045	0,4–	0,060	0,004	0,005	0,025
	0,43	-0,90	Max	Max	Max



4.1.4. Hasil Pengujian Metalografi Pada *Chain Shackle*

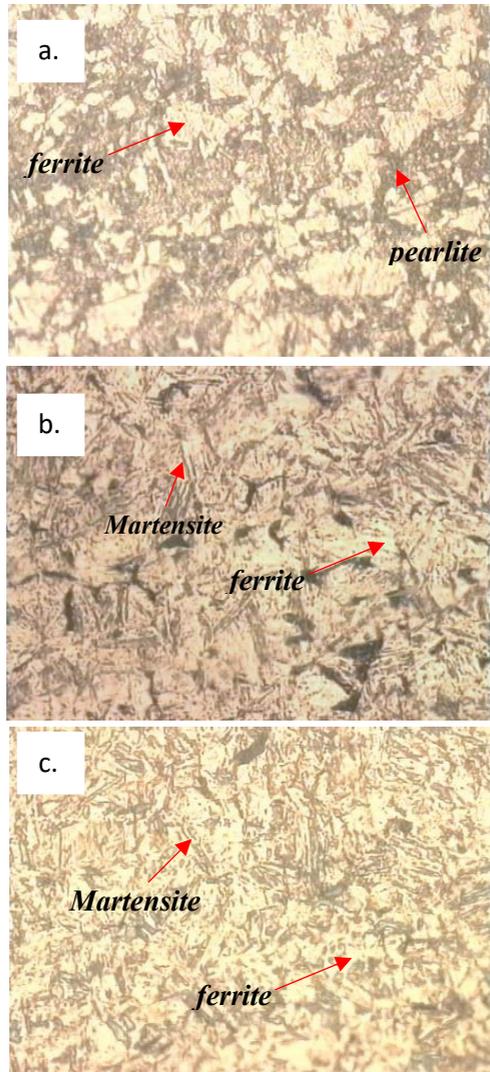
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur awal yang terbentuk pada material *chain shackle* sebelum dilakukan perlakuan panas. Pengamatan yang dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 1000x. Struktur mikro spesimen tanpa perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.4



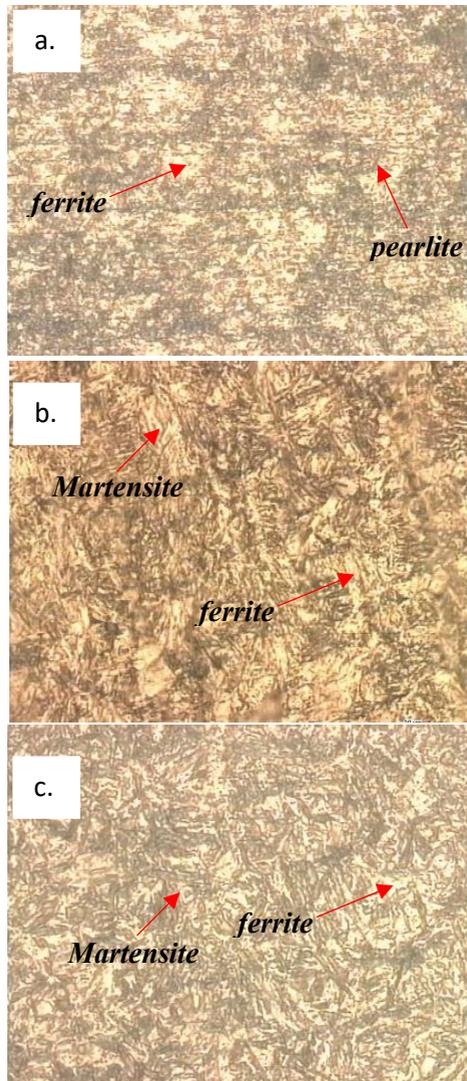
Gambar 4.4 Struktur Mikro *chain shackle* tanpa perlakuan dengan etsa nital 74a dan perbesaran 1000x

Gambar 4.4 menunjukkan struktur mikro dari *chain shackle* yang belum diberikan perlakuan, berdasarkan pengamatan foto struktur mikro pada *chain shackle* diatas diperoleh fasa yaitu *pearlite* dan *ferrite*, dimana fasa tersebut ditunjukkan dengan warna hitam adalah fasa *pearlite* yang merupakan unsur utama *chain shackle* yang belum diberikan perlakuan.

Pengujian struktur mikro juga dilakukan untuk mengetahui struktur akhir yang terbentuk pada material *chain shackle* setelah dilakukan proses *hardening* dengan variasi pada temperatur dan media pendingin. Pengamatan yang dilakukan yaitu dengan menggunakan etsa nital 74a dan mikroskop optik pada perbesaran 1000x, gambar mikrostruktur hasil dari *hardening* dapat dilihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.



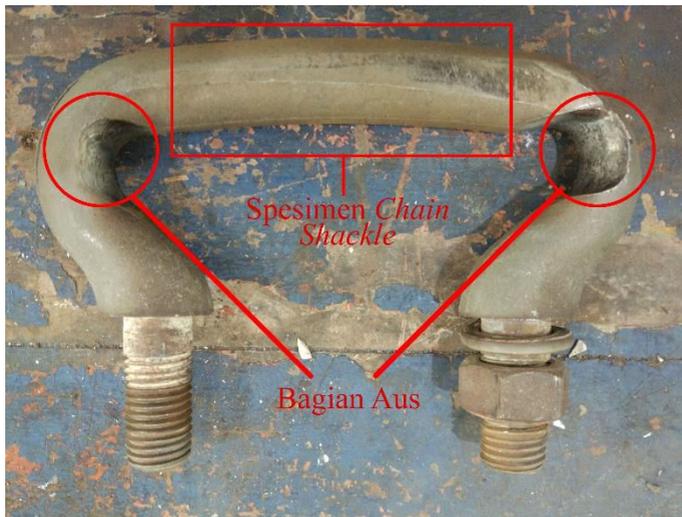
Gambar 4.5 Foto metalografi menggunakan etsa nital 74a dan perbesaran 1000x: (A) CS H820-OQ, (B) CS H820-WQ, (C) CS H820-SQ



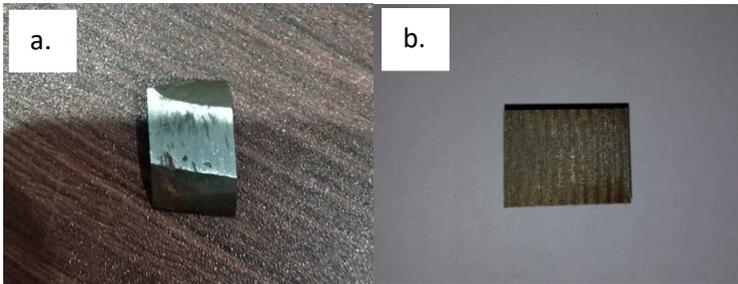
Gambar 4.6 Foto metalografi menggunakan etsa nital 74a perbesaran 1000x: (A) CS H920-OQ, (B) CS H920-WQ, (C) CS H920-SQ

4.1.5. Hasil Pengujian Kekerasan pada Komponen *Chain shackle*

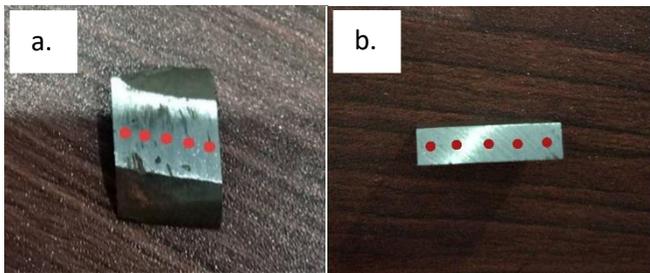
Pengujian hardness ini digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada *chain shackle* yang mengalami keausan. Gambar 4.7 merupakan gambar dari *chain shackle* yang mengalami keausan, gambar 4.8 (a) dan Gambar 4.8 (b) merupakan spesimen daerah yang dekat dengan daerah aus dan daerah yang jauh dengan daerah yang aus. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 5 titik, indentasi dilakukan dengan beban sebesar 100 kgf. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.7 Chain Shackle yang mengalami keausan



Gambar 4.8 (a) spesimen daerah yang dekat dengan daerah aus
(b) spesimen daerah yang jauh dengan daerah aus



Gambar 4.9 Indentasi uji kekerasan spesimen dekat daerah aus
(a) dan jauh dari daerah aus (b)

Pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 diperlihatkan nilai kekerasan yang didapatkan pada daerah dekat dengan daerah yang aus dan kekerasan yang didapatkan pada daerah yang jauh dari daerah yang aus.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan jauh dari Aus

Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Rata-Rata
267	271	253	260	275	265.2

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan dekat daerah Aus

Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Rata-Rata
278	276	269	272	270	273

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

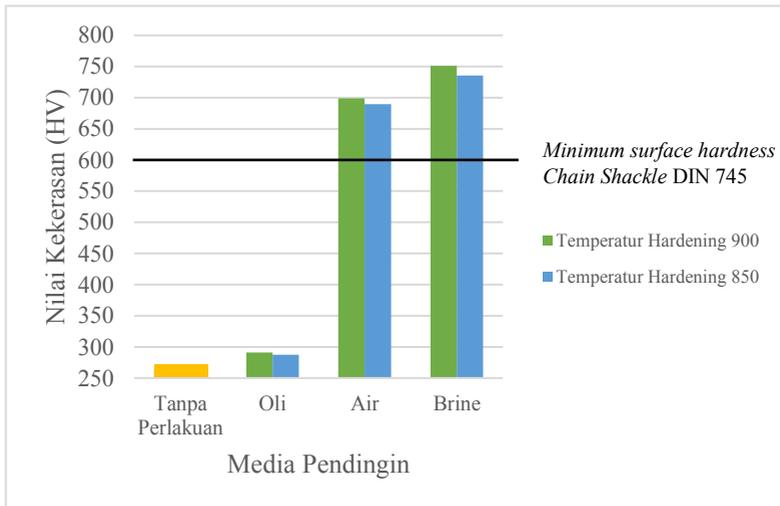
Pengujian Kekerasan dilakukan pada permukaan spesimen setelah perlakuan, pada setiap variasi temperatur *hardening*, dan pada setiap variasi media pendingin. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 5 titik, indentasi dilakukan secara merata pada permukaan dengan beban sebesar 100 kgf. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada gambar 4.10 dan hasil Pengujian Kekerasan dapat dilihat pada tabel 4.5.



Gambar 4.10 Daerah Indentasi Uji Kekerasan

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kekerasan pada *chain shackle* yang telah di *hardening* (HV)

Spesimen	Nilai tiap titik (HV)					Nilai Rata-Rata (HV)
CS H820-OQ	292	296	278	309	261	287.2
CS H820-WQ	670	678	710	686	704	689.6
CS H820-SQ	694	730	757	766	730	735.4
CS H920-OQ	310	281	285	296	283	291
CS H920-WQ	718	736	702	650	688	698.8
CS H920-SQ	763	727	745	779	742	751.2
Failure Chain Shackle	267	271	253	260	275	265.2



Gambar 4.11 Grafik sifat kekerasan hasil proses *hardening* baja *chain shackle*

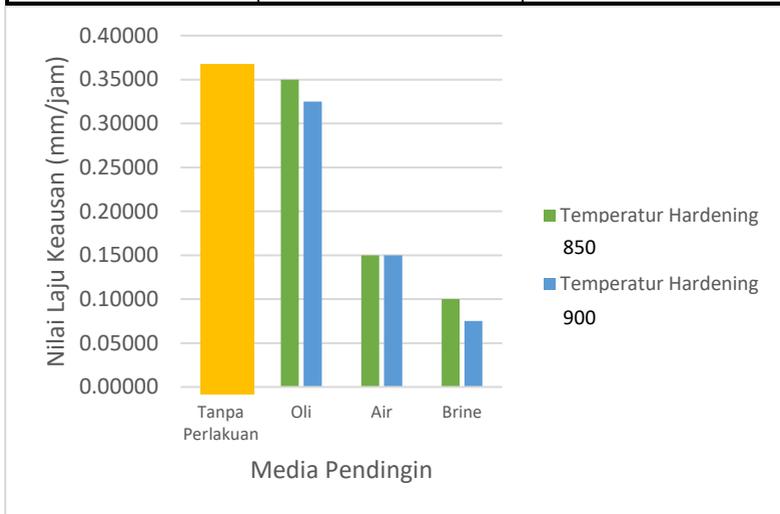
4.1.6 Hasil Pengujian Ketahanan Aus Pada *Chain shackle* Setelah di *Hardening*

Pengujian Ketahanan Aus dilakukan pada permukaan spesimen tanpa perlakuan, pada setiap variasi temperatur *hardening*, dan pada setiap variasi media pendingin. Data yang didapatkan berupa selisih ketebalan antara spesimen sebelum dan sesudah diuji. Nilai yang didapatkan berupa laju keausan dalam mm/jam. Nilai hasil pengujian ketahanan aus dapat dilihat pada tabel 4.6.



Tabel 4.6 Hasil Pengujian Ketahanan Aus pada *chain shackle* yang telah di *hardening* (mm/jam)

Spesimen	Laju (mm/jam)	Keausan	Nilai Rata-Rata (HV)
CS H820-OQ	7		287.2
CS H820-WQ	3		689.6
CS H820-SQ	2		735.4
CS H920-OQ	6.5		291
CS H920-WQ	3		698.8
CS H920-SQ	1.5		751.2
Failure Shackle	Chain	7.33	265.2



Gambar 4.12 Grafik Nilai Ketahanan Aus



4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan selama penelitian ini, faktor-faktor penyebab keausan dapat dibagi menjadi beberapa faktor, yaitu kesalahan pemilihan material yang tidak sesuai komposisi dan kekerasan material yang tidak memenuhi standar.

Material *chain shackle* yang seharusnya dan sesuai dengan standar menurut DIN 745 yaitu Material baja C45/ AISI 1045 berdasarkan komposisi kimia tergolong dalam jenis baja *medium-carbon steel*, sedangkan material *chain shackle* yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk setelah di uji komposisi hasilnya tidak sesuai dengan komposisi AISI 1045. Jika dilihat dari segi komposisi yang berbeda seperti unsur karbon yang memiliki komposisi yang lebih rendah yaitu sebesar 0.299% dimana termasuk kedalam baja AISI 1030 dan dibandingkan dengan komposisi karbon standar AISI 1045 yaitu sebesar 0,4 – 0,43 %. Sehingga material *chain shackle* memiliki kekerasan yang lebih rendah. Perbedaan komposisi ini mengakibatkan material *chain shackle* memiliki kekerasan yang lebih rendah sehingga lebih mudah mengalami keausan dari yang seharusnya dimana kekerasan *chain shackle* sesuai DIN 745 adalah 600 HV namun untuk material *chain shackle* milik PT. Semen Indonesia (Persero) setelah diuji kekerasan hanya memiliki kekerasan sebesar 265.2 HV. (pewag)

Hasil pengamatan secara makro, menunjukkan bahwa terjadi pengurangan ketebalan pada bagian lengkung pada komponen *chain shackle*. Dimana bagian tersebut adalah bagian yang paling banyak bergesekan dengan rantai penarik *bucket elevator*. Hal ini menyebabkan bagian lekukan komponen *chain shackle* mengalami keausan yang signifikan. permukaan berkurang akibat kontak dengan material yang keras, maka akan terjadi



abrasive wear (Ratia, 2015). Saat partikel tajam menggores permukaan material lain, akan menimbulkan goresan dan membuat alur yang semakin besar, dan bila pernggoresan dilanjutkan material tersebut akan mengalami penipisan yang diakibatkan oleh kelelahan dari material tersebut. (Gagg, 2006).

Hasil dari pengujian struktur mikro dari material *chain shackle* yang digunakan di PT. Semen Indonesia menunjukkan bahwa material ini termasuk dalam AISI 1030 yang dimana menunjukkan fasa *ferrite* dan *pearlite* yang merupakan struktur dari baja *hypoeutectoid*, dimana fasa tersebut ditunjukkan dengan warna putih adalah matriks *ferrite* yang merupakan unsur utama *chain shackle*. Selain itu terdapat juga bagian yang berwarna hitam yaitu fasa *pearlite*. (Avner, 1974) Ukuran butir pada spesimen ini berukuran kecil diasumsikan akibat dari *hot working* saat *forming* komponen *chain shackle*, (Trigondo, 2011) atau bisa juga akibat proses *stress relief anneal* setelah *forming* untuk pelepasan tegangan sisa *chain shackle* yang mengakibatkan butir menjadi lebih halus. (Avner, 1974)

Setelah diketahui faktor dari keausan, material *chain shackle* diberikan perlakuan panas dengan tujuan mendapatkan kekerasan yang sesuai dengan material standar yang digunakan untuk *chain shackle*. Perlakuan panas yang diberikan berupa *hardening*. tujuannya untuk mendapatkan struktur *martensite* yang keras dan memiliki ketahanan aus yang baik (Pramono, 2011). Setiap spesimen diberikan perlakuan panas dengan variabel berbeda dimana diberikan variasi berupa temperatur *hardening* 850°C dan 900°C dan juga variasi media pendingin berupa oli, air dan *brine*, hasil struktur mikro yang didapatkan berbeda. Gambar 4.5 menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan *chain shackle*. Gambar 4.5 (A) menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan spesimen *chain shackle* CS H820-OQ pada temperatur



850°C selama 30 menit lalu didinginkan dengan media pendingin oli. Fasa yang terbentuk adalah fasa *ferrite* dan *pearlite*. Gambar 4.5 (B) menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan spesimen *chain shackle* CS H820-WQ pada temperatur 850°C selama 30 menit lalu didinginkan dengan media pendingin air. Fasa yang terbentuk adalah *lath martensit* dan *ferrite*. Gambar 4.5 (C) menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan spesimen *chain shackle* CS H820-OQ pada temperatur 850°C selama 30 menit lalu didinginkan dengan media pendingin *Brine*. Fasa yang terbentuk adalah *lath martensite* dan *ferrite*.

Gambar 4.6 (A) menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan spesimen *chain shackle* CS H920-OQ pada temperatur 900°C selama 30 menit lalu didinginkan dengan media pendingin oli. Fasa yang terbentuk adalah *ferrite* dan *perlite*. Gambar 4.6 (B) menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan spesimen *chain shackle* CS H920-WQ pada temperatur 900°C selama 30 menit lalu didinginkan dengan media pendingin air. Fasa yang terbentuk adalah *lath martensite* dan *ferrite*. Gambar 4.6 (C) menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan spesimen *chain shackle* CS H920-OQ pada temperatur 900°C selama 30 menit lalu didinginkan dengan media pendingin *Brine*. Fasa yang terbentuk adalah *lath martensite* dan *ferrite*. *lath martensite* ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti bilah. (Yogantoro, 2010) Fasa *martensite* dapat diidentifikasi berbentuk seperti lidi/jarum atau plat. (Suherman, 2011). Fasa *lath martensite* muncul pada baja karbon rendah dan semakin berkurang dengan bertambahnya kandungan karbon. (Lu, 2017)

Hasil mikrostruktur yang didapatkan mendukung nilai kekerasan yang didapatkan dari spesimen dimana urutan kekerasan apabila diurutkan dari kecil kebesar adalah untuk media pendingin oli dengan nilai kekerasan 287.2 HV untuk temperatur 850°C dan



291 HV untuk 900°C. lalu untuk media pendingin air adalah 689.6 HV untuk temperatur 850°C dan 698.8 HV untuk temperatur 900°C. Lalu media pendingin *brine* mempunyai nilai kekerasan 735.4 HV untuk temperatur 850°C dan nilai kekerasan 751.2 HV untuk temperatur 900°C. Kekerasan yang didapatkan hampir sama diantara variasi temperatur *hardening* 850°C dan 900°C di setiap variasi media pendingin, dengan kekerasan lebih tinggi pada pendinginan menggunakan media pendingin *brine*, dapat dilihat dari fasa *lath martensite* yang terlihat lebih *continuous* (Zhen.2007). Kekerasan lebih tinggi juga ditunjukkan dari spesimen yang memiliki temperatur *hardening* yang lebih tinggi yaitu 900°C. ketika di *quench* pada temperatur yang lebih rendah ada lebih sedikit karbon yang terlarut dalam *austenite*. Karbon jenuh dan unsur paduan dalam *martensite* juga kurang. Hal ini yang menyebabkan kekerasan material menjadi rendah pada temperatur *hardening* yang rendah. (Hanguang.2009)

Dilihat dari variasi media pendinginnya, kekerasan dan struktur mikro menjadi berbeda disebabkan oleh perbedaan media pendinginnya dimana hal ini menyebabkan perbedaan kecepatan pendinginan dimana dengan pendinginan yang cenderung lambat pada baja AISI 1030 fasa yang terbentuk adalah *ferrite* dan *pearlite* namun dengan pendinginan yang cepat fasa *martensite* dapat terbentuk. Dimana pada perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari *austenite* menjadi *martensite* untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. (Prmono, 2011). Perbedaan kemampuan pendinginan dapat disebut juga *severity of quench* atau koefisien kekuatan pendinginan, ditandai dengan, H.(ASM Vol.4). fasa yang didapatkan dari dari kecepatan media pendingin yang berbeda juga bisa dilihat dari diagram CCT dimana pendinginan yang cepat (100°C/dtk) pada baja *eutectoid* cenderung membentuk fasa *martensite* dan *ferrit* dan pendinginan yang



lambat ($10\text{-}2^{\circ}\text{C/dtk}$) cenderung membentuk *ferrite* dan *pearlite*. (Phulee,2003)

Hasil dari pengujian ketahanan aus, menunjukkan hasil yang linier dengan hasil pengujian kekerasan. Bahwa dengan peningkatan kekerasan akan meningkatkan sifat ketahanan aus dari material tersebut. Dengan spesimen CS H820-OQ dan CS H920-OQ dengan kekerasan sebesar 287.2 HV dan 291 HV, lalu spesimen memiliki laju pengausan sebesar 7 mm/hari dan 6.5 mm/hari. Lalu spesimen CS H820-WQ dan CS H920-WQ dengan kekerasan sebesar 689.6 HV dan 698.8 HV, lalu spesimen memiliki laju pengausan yang sama yaitu sebesar 3 mm/hari. Dan yang terakhir spesimen CS H820-SQ dan CS H920-SQ dengan kekerasan sebesar 735.4 HV dan 751.2 HV, dimana spesimen memiliki laju pengausan sebesar 2 mm/hari dan 1.5 mm/hari. Seluruh hasil menunjukkan data yang linier antara pengujian kekerasan dengan pengujian ketahanan aus. Pada abrasive wear, kekerasan adalah sifat yang paling penting untuk meningkatkan kemampuan suatu baja dalam ketahanan aus dikarenakan goresan. Makin keras material tersebut, makin sulit media abrasif untuk melakukan penetrasi dan menggores material tersebut. (Ratia, 2015)

Dari semua hasil yang didapatkan maka sesuai dengan standar DIN 745, dimana *chain shackle* harus memiliki kekerasan sebesar 600 HV didapatkan dengan *hardening* dari spesimen CS H20-WQ dengan kekerasan 689.6 HV yaitu *hardening* di temperatur 850°C dengan media pendingin air. yang membuktikan bahwa spesimen telah memenuhi standar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian percobaan yang telah dilakukan ada beberapa kesimpulan mengenai keausan *chain shackle* pada *bucket elevator* antara lain sebagai berikut :

1. Temperatur hardening yang paling optimal terdapat pada temperatur 900°C dengan fasa yang dihasilkan berupa *lath martensite* dan *ferrite*. Dengan diikuti naiknya nilai kekerasan dan juga ketahanan aus dari material dengan nilai maksimum yang didapat pada temperatur 900°C adalah 751.2 HV dan laju keausan sebesar 1.5 mm/jam.
2. Media pendingin yang paling baik adalah dengan menggunakan *brine* karena menghasilkan kekerasan dan ketahanan aus maksimum pada tiap temperatur hardening dengan nilai kekerasan pada temperatur 900°C sebesar 751.2 HV dan pada temperatur 850°C sebesar 735.4 HV.

5.2 Saran

1. Pada saat pembelian *chain shackle* harus disertakan dengan sertifikat komposisi kimia dan sifat mekanik dari *chain shackle* dan harus sesuai dengan spesifikasi dari *chain shackle* yang sesuai standar.
2. Menggunakan produk lain yang sesuai dengan standar *chain shackle* dan yang lebih murah serta efisien dalam penggunaannya
3. Jika *chain shackle* tidak memungkinkan diganti dengan jenis material yang lain maka perlu dilakukan proses heat treatment pada komponen *chain shackle* sebelum dipasang pada *bucket elevator* agar meningkatkan kekerasan dan kekuatan pada *chain shackle*.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM A29. 1999. Standard Specification for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought and ColdFinished. USA: ASM International.*
- ASM Handbook. 1991. ASM Handbook Volume 4 Heat Treatment. USA: ASM International.*
- Aisyah. 2011. Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif. Yogyakarta: Pusat Penelitian Limbah Radioaktif BATAN.*
- Amaravat. 2012. Design and Model of Bucket Elevator. India : Patel Institute of Technology*
- Avner, Sidney H. 1974. Introduction to Physical Metallurgy. Singapore: McGraw-Hill Book Co.*
- Blau, P. J. 2001. The Significance and The Use of Friction Coefficient. Amsterdam: Tribology International*
- Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. Failure Analysis of Engineering Materials. New York: McGraw-Hill.*
- Campbell, F.C. 2008. Elements of Metallurgy and Engineering. New York: ASM International.*
- Dieter, George E. 1987. Metalurgi Mekanik. Jakarta: Erlangga.*
- Darmanto. 2014. Analisis Keausan Aluminium Menggunakan Triboster Pin-on-Disc dengan Variasi Kondisi Pelumas. Semarang: Universitas Wahid Hasyim.*
- Gagg, Colin R, Peter R. Lewis. 2007. Wear as a Product Failure Mechanism – Overview and Case Studies. Engineering Failure Analysis 14: 1618-1640.*
- Hamsi, Alvian. 2009. STUDI VARIASI SUDUT KEMIRINGAN BUCKET ELEVATOR PABRIK KELAPA SAWIT KAPASITAS PABRIK 30 TON TBS/JAM HUBUNGANNYA DENGAN DAYA MOTOR,*

**KECEPATAN BUCKET DAN KAPASITAS
BUCKET.** Sumatera Utara: USU

- Hanguang, Fu. 2009. **Effect of quenching temperature on structure and properties of centrifugal casting high speed steel roll.** *Jurnal China Foundry*
- Hokkirigawa, K. And Kato, K. 1989. **Theoretical Estimation of Abrasive Wear Resistance Based on Microscopic Wear Mechanism.** New York: *Wear of Materials.*
- Ismail. 2016. **The Effect of Heat Treatment on The Hardness and Impact Properties of Medium Carbon Steel.** Malaysia : *Universiti Malaysia Pahang*
- Lu, Yuan.2017. **The effect of carbon content on the c/a ratio of as-quenched martensite in Fe-C alloys.** USA :*Worcester Polytechnic Institute*
- Stachowiak, G.W. 2005. **Wear–Materials, Mechanisms And Practice.** England: *John Wiley & Sons, Ltd.*
- Suherman, Susri Mizhar dan. 2011. **Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dari Baja AISI 4140.** Medan: *Teknik Mesin Politeknik Tanjung Balai.*
- Pewag. 2009. **Bucket Elevator Chains and Components.** Austria: *Pewag Group.*
- Phule, Pradeep.2003. **The Science and Engineering of Materials, 4th.** Australia : *Thomson/Brooks-Cole*
- Pramudya, Arif. 2010. **Analisa Karakteristik dan ketahanan Hydrogen Embrittlement Pelat Rantai Sepeda Motor Baja AISI/SAE 1050 Metode Austemper dan Quenchtemper.** Depok : *Universitas Indonesia*
- Pramono, Agus. 2011. **Karakterisrik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai .** Cilegon: *Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*

- Ratia, V. 2015. Behavior of Martensitic Wear Resistant Steels in Abrasion and Impact Wear Testing Conditions. Tampere: Tampere University of Technology*
- Trihutomo, Prihanto. 2015. ANALISA KEKERASAN PADA PISAU BERBAHAN BAJA KARBON MENENGAH HASIL PROSES HARDENING DENGAN MEDIA PENDINGIN YANG BERBEDA. Malang : Universitas Negeri Malang*
- Trigondo, Lendi.2001. Pengaruh Temperatur Canai Hangat Multi Pass dan Waktu Tahan terhadap Kekerasan ,Struktur Mikro, dan Besar Butir Baja Karbon Rendah. Depok :UI*
- Yin. 2016. Failure Analysis on Conveyor Chain Links of a Central Bucket Elevator. Kenya : Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology*
- Yogantoro, Anom. 2010. Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klaten Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness). Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.*
- Zhen, Song.2007.Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Steel.Beijing: University of Science and Technology*
- Zum Gahr, K.H. 1987. Microstructure and Wear of Materials. Amsterdam: Tribology Series.*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

2. Analisis OES (Optical Emission Spectroscopy) Komposisi Kimia

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 1 Material : CARBON STEEL
Customer : ZAHRA LUTHFIAH S / ITS Dimension : 5X20X20 mm
Lab-no. : LAB. UJI BAHAN Heat-no. : -
Operator : AGUS Ka. Laboratorium : M. THORIQ W.
Date: 9/15/2017

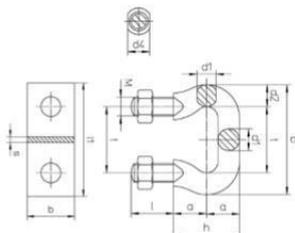
Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	98.2	0.309	0.245	0.749	0.0190	0.0187	0.235	0.0165
2	98.2	0.288	0.241	0.750	0.0187	0.0167	0.237	0.0143
3	98.2	0.301	0.248	0.737	0.0207	0.0188	0.234	0.0140
Ave	98.2	0.299	0.245	0.745	0.0195	0.0181	0.235	0.0149
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0411	0.0225	0.0030	0.0398	0.0097	0.0048	0.0061	0.0022
2	0.0414	0.0226	0.0029	0.0487	0.0095	0.0045	0.0039	< 0.0010
3	0.0415	0.0224	0.0030	0.0432	0.0110	0.0041	0.0031	< 0.0010
Ave	0.0413	0.0225	0.0030	0.0439	0.0101	0.0045	0.0044	< 0.0010
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As
1	< 0.0010	0.0044	0.0005	< 0.0001	0.0077	0.0030	0.0034	0.0019
2	< 0.0010	0.0044	0.0006	< 0.0001	0.0081	0.0017	0.0041	0.0017
3	< 0.0010	0.0032	0.0005	< 0.0001	0.0072	0.0017	0.0055	0.0027
Ave	< 0.0010	0.0040	0.0005	< 0.0001	0.0077	0.0021	0.0043	0.0021
	N	Se	Sb	Ta				
1	0.0180	0.0070	0.0185	0.0080				
2	0.0146	0.0072	0.0341	0.0068				
3	< 0.0030	0.0096	0.0209	0.0235				
Ave	0.0108	0.0079	0.0238	0.0128				

3. Standar DIN 745 (pewag)

Chain shackles DIN 745

Suitable for connecting chain ends acc. to DIN 764 and DIN 766 and the attachment of the buckets for bucket elevators acc. to DIN 15251. For friction drive systems DIN standard recommends to use the next size up pitch chain shackle, chain shackles should only be used in connection with distance plates, drop forged, thread and collar machined; Material: made from heat treatable steel C45 and Cr/Ni - alloyed steel, shackles C45vi are through hardened up to a strength of approx. 1100 N/mm², the interlink points of contact are inductive hardened, surface hardness min. 600 HV10. Shackles G80E10vi are additional carburized, the interlink points of contact are inductive hardened, surface hardness min. 750 HV10.



Surface finish: oiled

Chain shackles DIN 745	t [mm]	a [mm]	b [mm]	d1 [mm]	d2 [mm]	d4 [mm]	M	h [mm]	l [mm]	Weight* [kg/pc.]	Min. breaking load		Distance plate			Weight [kg/pc.]
											C45 vi [kN]	G80 E10 vi **[kN]	t1 [mm]	b [mm]	a [mm]	
	45	20	73	11,5	14	12,5	M 10	40	25	0,15	76	80	75	30	5	0,08
	56	25	92	15	18	16,5	M 12	50	32	0,32	112	125	95	40	6	0,17
	63	30	105	18	21	20	M 16	60	40	0,55	142	160	110	40	6	0,18
	70	34	116	20	23	23	M 20	68	45	0,86	176	200	120	50	6	0,25
	80	37	132	23	26	25	M 20	74	45	1,08	230	260	130	50	6	0,27
	91	43	149	26	29	29	M 24	86	55	1,65	300	315	150	60	8	0,50
	105	50	173	30	34	31	M 24	100	55	2,20	395	425	165	60	8	0,56
	126	59	206	36	40	37	M 30	118	70	3,95	570	600	200	70	10	0,97
	147	68	239	42	46	42	M 30	136	70	5,50	775	860	230	80	12	1,15

* Incl. 2 pcs. hex. nuts without distance plate.

** Quality G80 E10 vi on request.

Quality grade	C45 vi	G80 E10 vi
Proof stress [N/mm ²]	125	125
Breaking stress [N/mm ²]	280	300
Surface hardness HV 10 min.	600	750

(halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan adik penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
2. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
3. Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
4. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material FTI ITS.
6. Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
8. Bapak Avandi selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Teman – teman seperkontrakan penulis, Odi, Tresna, Reza, Redha, Redy, Fadhli dan Icod yang telah menemani dan mewarnai hari – hari penulis selama di jenjang perkuliahan ini.

10. Teman – teman seperjuangan Tugas Akhir Analisa Kegagalan, Rifki, Redy, Sasa, Pandu, dan Argya yang telah membantu dan menyemangati penulis selama penulisan Laporan Tugas Akhir.
11. Nabila Annisaa yang telah memberi bantuan, dukungan moril, semangat, motivasi dan canda tawa serta cinta kasih kepada penulis dalam mengerjakan TA ini
12. Teman – teman komunitas ITS JAZZ sebagai partner penyalur hobi musik yang membuat penulis bersemangat selama mengerjakan tugas akhir.
13. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
14. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman - teman sekalian.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sukoharjo, 27 Juli 1996, dan merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dian Didaktika, SDI Dian Didaktika, SMPI Dian Didaktika, dan SMA Negeri 1 Depok. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya melalui jalur SNMPTN di Jurusan Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014 terdaftar dengan NRP 0251144000025. Pada Teknik Material penulis memilih bidang Korosi dan Analisa Kegagalan.

Sejak kuliah penulis aktif mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) dan pernah menjabat sebagai Kepala Biro Jurnalistik Departemen Media dan Informasi. Penulis juga aktif pada komunitas musik ITS JAZZ dan pernah menjabat sebagai Kepala Divisi Internal dan Kepala Divisi Media. Penulis aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan pelatihan seperti LKMM Pra TD, LKMM TD, PJTD, dan PJTL.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Antam (Persero) Tbk Unit Bisnis Pertambangan Emas Pongkor pada bulan Juni 2017 – Agustus 2017. Selama kerja praktek, penulis mendalami topik terkait “Optimalisasi Proses Elusi Terhadap *Water Wash, Pre-treatment* dan *Water Elution Process*”.

Tugas akhir yang diambil penulis adalah dalam bidang Korosi dan Analisa Kegagalan dengan judul “Analisis Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin Pada Proses *Hardening* Material *Chain Shackle* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Untuk Komponen *Chain Shackle*”.

Email: adnan.choirul@gmail.com

(halaman ini sengaja dikosongkan)