



TUGAS AKHIR - TM184835

ANALISIS KEGAGALAN PIN PADA *CHAIN BUCKET ELEVATOR SYSTEM*

Engra Fithreea
0211144000091

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”



TUGAS AKHIR - TM184835

ANALISIS KEGAGALAN PIN PADA *CHAIN BUCKET ELEVATOR SYSTEM*

Engra Fithreea
0211144000091

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya -2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”



FINAL PROJECT - TM184835

***FAILURE ANALYSIS OF PIN IN CHAIN
BUCKET ELEVATOR SYSTEM***

Engra Fithreea
0211144000091

Supervisor:
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial and System Engineering
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA - 2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

**ANALISIS KEGAGALAN PIN PADA *CHAIN BUCKET*
*ELEVATOR SYSTEM***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

Engra Fithreea

Nrp. 02111440000091

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.Ir. H. C Kis Agustin, DEA (Pembimbing)
NIP. 196308151989032001
2. Dr. Eng. Sutikno, ST, MT (Penguji 1)
NIP. 197407032000031001
3. Fahmi Mubarok, ST, MSc. (Penguji 2)
NIP. 197801152003122002
4. Julendra B. Ariatedja, MT (Penguji 3)
NIP. 196807061999031004

**SURABAYA
JANUARI, 2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

ANALISIS KEGAGALAN PIN PADA *CHAIN BUCKET* *ELEVATOR SYSTEM*

Nama Mahasiswa : Engra Fithreea
NRP : 0211144000091
Departemen : Teknik Mesin/FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

ABSTRAK

Perusahaan industri pengolah semen terdiri dari beberapa unit dalam pembuatan semen. Pada unit Penggilingan Akhir (Finishing Mill) digunakan Chain bucket elevator sebagai pesawat pemindah bahan untuk menggangkut material yaitu Clinker dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi secara vertikal. Chain bucket elevator terdiri dari Pin, Bushing, Outerlink, Mounting angle dan Bucket. Chain mengalami kegagalan yaitu patah pada Pin sebelum waktunya. Kegagalan pada proses ini menyebabkan sistem tidak dapat beroperasi selama kurang lebih 45 jam, akibatnya perusahaan mengalami kerugian dalam produksi semen, untuk itu perlu diteliti agar tidak terulang kejadian yang sama.

Dalam penelitian analisa kegagalan pada Pin dimulai dengan observasi awal mengenai fungsi dan cara kerja Chain bucket elevator serta studi literatur untuk mengumpulkan teori dan tinjauan pustaka terkait analisis kegagalan. Data perawatan, riwayat penggunaan Chain dan beban operasi digunakan untuk menganalisa apakah ada keterkaitannya terhadap kegagalan Chain. Aspek metalurgi digunakan untuk menganalisa permukaan patahan Pin dan kerusakan pada berbagai komponen yang terkait dilakukan untuk mengetahui korelasi komponen dalam proses patahan Pin.

Dari analisa data-data tersebut diperoleh hasil bahwa patah Fatigue pada Pin diawali oleh dua tahap aus. Aus tahap

pertama semua Pin mengalami keausan dengan bentuk yang sama. Tahap kedua aus terjadi lebih cepat dari tahap pertama membentuk tembereng atau bulan sabit dan mengakibatkan penampang Pin menjadi jauh lebih kecil. Ujung dari bentuk bulan sabit ini dan konsentrasi tegangan yang tinggi pada sisa penampang Pin mempermudah terjadinya crack. Crack merambat kedalam Pin. Perbedaan sifat antara case Pin setebal 5mm hasil Induction hardening dengan bagian dalam Pin menyebabkan perambatan retak terdeviasi. Dibantu oleh putaran atau gerakan Pin yang memutar dan yang terbatas (gerak di dalam Bushing) menjadikan Pin patah menjadi beberapa bagian, bahkan ada bagian yang hancur dan hilang.

Kata kunci: *Chain bucket elevator, Clinker, Semen, Finish Mill, Pin, Fatigue*

FAILURE ANALYSIS OF PIN IN CHAIN BUCKET ELEVATOR SYSTEM

Name : Engra Fithreea
NRP : 0211144000091
Department : *Mechanical Engineering/FTIRS-ITS*
Academic Supervisor : Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

ABSTRACT

Company of cement processing industry consists of several units in the manufacture of cement. On the Finishing Mill unit, Chain bucket elevator is used as a material transfer machine to transport material that is Clinker from a low place to a higher place vertically. Chain bucket elevator consists of Pin, Bushing, Outer link, Mounting Angle and Bucket. The chain failure is broken on the Pin prematurely. Failure in this process causes the system cannot operate for approximately 45 hours, as a result the company suffered losses in the production of cement, so it needs to be investigated so that the same event does not recur.

In the research of failure analysis on the pin began with initial observation about the function and procedure of the Chain bucket elevator and literature studies to collect theories and literature reviews related to failure analysis. Maintenance data, Chain usage history and operating expense were used to analyze whether there is a link to the Chain failure. The metallurgical aspect is used to analyze the Pin fault surface and damage to various related components is carried out to determine the correlation of components in the Pin fracture process.

From the analysis of these data, it was found that the fatigue fracture at the pin was initiated by two wear stages. The first stage wears of all pins wear the same shape. The second stage of wear occurs faster than the first stage forming a potsherd or crescent and results in a smaller cross section of the Pin. The tip of this crescent shape and the high stress concentration on the

remaining cross section of the Pin make cracks easier. Cracks creep into the Pin. The difference in properties between case Pin the thickness 5 mm resulting from Induction hardening with the inside of the Pin causes the propagation of deviated cracks. Helped by the rotation or movement of a pin which is twisted and limited (motion in the Bushing) makes the Pin broken into pieces, even some parts are destroyed and lost.

Keywords: *Chain Bucket Elevator, Clinker, Cement, Finish Mill, Pin and Fatigue*

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sebesar-besarnya penulis panjatkan atas kehadiran dan rahmat Allah SWT yang telah melimpahkan kasih, pertolongan, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul : “**Analisis Kegagalan Pin Pada Chain Bucket Elevator System**”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana Teknik S-1 di Departemen Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam kesempatan ini, secara khusus penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan segala anugerah dan ridho kepada penulis hingga di tahap ini. Rasulullah Muhammad SAW yang telah menjadi panutan hidup bagi seluruh makhluk di semesta alam.
2. Bapak Zupriatman dan Ibu Wahni, Papa dan Mama yang selalu sayang, sabar, merawat, mendidik, memberikan doa, dukungan, dan mendengarkan segala keluh kesah penulis.
3. Grevi dan Nove, kakak dan abang penulis yang selalu memberikan semangat dan doa kepada penulis.
4. Bapak Dr. Eng. Sutikno, ST, MT selaku dosen wali penulis yang telah memberikan bimbingan selama masa perkuliahan.
5. Ibu Dr.Ir.H. C Kis Agustin, DEA selaku dosen pembimbing yang telah senantiasa membantu dan membimbing dalam proses pembuatan dan penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak Dr. Eng. Sutikno, ST. MT., Bapak Fahmi Mubarak, ST, MT., dan Bapak Ir. Julendra B. Ariatedja, MT selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran untuk menyempurnakan penulisan tugas akhir ini.
7. Bapak Apriyo dan Bapak Dwi Arief selaku pembimbing di perusahaan Semen Indonesia Tuban, terima kasih atas informasi dan segala bantuan yang diberikan kepada penulis.
8. Seluruh Dosen dan Karyawan Teknik Mesin ITS. Terima kasih yang tidak terkira.

9. M-57. Angkatan penulis yang akan selalu dihati penulis.
10. Ibra, Mukor, Fitri, Ayunisa, Nabila, Izda, Tam, Bella, Ildan, Danang, Fathur, Thoriq, Norman, Elsa, Gilang, terima kasih atas semangat yang selalu diberikan.
11. Teman-teman dari Lab Metalurgi Raya: Amanda, Vidi, Faizal, Aldo, Ijal, Wira, Yola, Usi, Zuli, Nashir, Gemi, Mas Firman, Mas Afif, Mas Rayhan, Pieter, Edric, Yosua, Yusuf, Wildan, dan Ghusti, terima kasih atas segala bantuannya selama berada di Lab.
12. Adik-adik tersayang: Hilda, Arkan, Evan, Deasy, Wawan, Fathir, terima kasih sudah selalu membantu dan memberi semangat kepada penulis.
13. Kakak-kakak tersayang: Kak Putri, Kak Tifanny dan Mba Erik, terima kasih sudah membimbing penulis.
14. Seluruh Pengurus Himpunan Mahasiswa Mesin periode 2015/2016 dan 2016/2017 yang telah memberikan pelajaran yang sangat berarti bagi penulis.
15. Teman-teman seperantuan KPMKR, terima kasih sudah menjadi rumah kedua selama di Surabaya
16. Fourteen ganks: Adis, Pe, Mia, Salwaa, Debby, Pija, Pany, Rahmi, Tiwi, Dedek, Aka, Rahmi, dan Monic terima kasih sudah selalu mendengar keluh kesah penulis sedari SMP hingga saat ini.
17. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Almamater tercinta, semoga kejayaan selalu menyertai.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, 30 Januari 2020

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ... Error! Bookmark not defined.	
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
Penelitian	3
BAB II	5
2.1 Dasar Teori	5
2.1.1 Chain Bucket Elevator	5
2.1.2 Clinker	7
2.1.3 Analisa Kegagalan	8
2.1.4 Patah Lelah (Fatigue Fracture).....	10
2.1.5 Patah (<i>Fracture</i>)	12
2.1.6 Pengaruh Konsentrasi Tegangan Pada Patah Lelah ..	14
2.1.7 Efek Permukaan Pada Kelelahan	14
2.1.8 Fretting	15
2.1.9 Keausan	15
2.1.9 <i>Three Body Wear</i>	17

2.1.10 Kekerasan material dan keausan	18
2.1.11 Baja.....	18
2.1.12 Kekerasan Baja	20
2.1.13 Pengerasan (<i>Hardening</i>)	21
2.1.14 Toleransi suaian	22
2.1.13 Suaian pada <i>roller conveyor chain</i>	23
2.1.14 Fishbone Diagram.....	24
2.2 Tinjauan Pustaka.....	25
2.2.1 Kerusakan Pada Material Baut Pin Akibat Patah Lelah	25
2.2.2 <i>Metallurgical investigation of failure of coal mill drag chain pin</i>	26
2.2.3 <i>Study On The Stress Characteristic And Fatigue Life Of The Shredder Pin</i>	28
BAB III	31
3.1 Analisa Kegagalan	31
3.2 Diagram Alir Penelitian	31
3.3 Peralatan Penelitian.....	32
3.4 Komponen Chain	33
3.5 Langkah-langkah penelitian	33
3.5.1 Observasi Lapangan	34
3.5.2 Studi Literatur	34
3.5.3 Pengambilan Data Operasional dan Material.....	34
3.5.4 Observasi Pin dan Mounting angle.....	35
BAB IV	37
4.1 Riwayat penggunaan dan data kerusakan.....	37

4.1.1 <i>Material selection</i>	38
4.1.2 Beban motor dan beban angkut <i>Chain</i>	39
4.1.3 Inspeksi Visual dan Inspeksi prediktif	41
4.2 Analisa Chain.....	42
4.3 Lokasi Pertama	43
4.3.1. Permukaan Penampang Patahan Pin Dekat Pengunci (patahan kecil)	43
4.3.2 Lubang Bushing.....	44
4.3.3 Pin Patah.....	48
4.3.4 Bushing Luar Retak	53
4.4 Lokasi Kedua	54
4.4.1 Patahan Pin Dengan Mounting angle	54
4.4.2 Patahan pada Mounting angle	56
4.5 Rangkuman Analisa	59
BAB V	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	71
BIODATA PENULIS	83

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Bucket Elevator ^[14]	1
Gambar 1. 2 <i>Chain</i> patah pada Pin dan Mounting angle	2
Gambar 2. 1 (a) proses masuknya <i>Clinker (direct fill)</i> (b) proses keluarnya <i>Clinker (direct gravity)</i> ^[29]	5
Gambar 2. 2 Sebagian komponen <i>Chain</i> tanpa bucket ^[14]	7
Gambar 2. 3 <i>Clinker</i>	7
Gambar 2. 4 Tahapan patah lelah ^[7]	10
Gambar 2. 5 Profil skema potongan perambatan <i>crack</i> pada transgranular <i>fracture</i> (a) dan intergranular <i>fracture</i> (b) saat SEM ^[4]	14
Gambar 2. 6 Keausan <i>Adhesive</i> ^[32]	16
Gambar 2. 7 Keausan <i>Abrasive</i> ^[32]	16
Gambar 2. 8 Ilustrasi dari proses pertumbuhan retak ^[27]	17
Gambar 2. 9 Proses Induction Hardening	22
Gambar 2. 10 Sistem satuan poros dan sistem satuan lubang ^[20]	23
Gambar 2. 11 Suaian dasar pada <i>roller conveyor chain</i> ^[24]	24
Gambar 2. 12 <i>Fishbone diagram</i> ^[22]	25
Gambar 2. 13 Photo makro permukaan patahan baut pin yang mengalami patah lelah (<i>fatigue fracture</i>)	26
Gambar 2. 14 Dua Pin Penghubung	27
Gambar 2. 15 (a)Permukaan patahan Pin 1 (b) Bagian permukaan patahan Pin 1 (c) Permukaan patahan pin 2	27
Gambar 2. 16 Tiga pin patah	29
Gambar 2. 17 Patahan pada satu pin	29
Gambar 4. 1 Pedoman <i>Fishbone diagram</i> ^[22]	37
Gambar 4. 2 Pantauan <i>constant current regulator</i>	39
Gambar 4. 3 Hasil NDT pada bulan Januari 2018	41
Gambar 4. 4 (a) Lokasi pertama (b) Lokasi kedua	42
Gambar 4. 5 (a)Perbedaan warna pada penampang permukaan patahan Pin dekat pengunci. (b)Batas kontak antar komponen di	

penampang permukaan patahan (c) Batas kontak antar komponen pada penampang permukaan Pin yang tidak patah	43
Gambar 4. 6 Diameter yang ada pada lubang Bushing, (a) Bushing Satu, (b) Bushing Dua	44
Gambar 4. 7 Sketsa diameter lubang Bushing, (a) Bushing Satu, (b) Bushing Dua	45
Gambar 4. 8 Satu pasang Outerlink terdiri dari Dua Bushing yang menerima gaya dengan arah berbeda	47
Gambar 4. 9 Patahan Pin dengan dua bagian yang besar	48
Gambar 4. 10 (a) Permukaan patahan tanpa Mounting angle (b) Permukaan patahan dengan Mounting angle	49
Gambar 4. 11 (a) Perbesaran pada area yang aus (b) Sketsa area yang aus	49
Gambar 4. 12 (a) Lokasi initial crack pada permukaan patahan tanpa Mounting angle dan (b) Lokasi initial crack pada permukaan patahan dengan Mounting angle	50
Gambar 4. 13 Perbedaan kontur pada permukaan patahan dari case ke dalam (a) permukaan patahan tanpa Mounting angle, (b) permukaan patahan dengan Mounting angle	51
Gambar 4. 14 Terdapat permukaan patahan yang runcing	51
Gambar 4. 15 Bagian permukaan yang tersambung saat patahan Pin disatukan	52
Gambar 4. 16 (a) Bagian dalam Bushing terdapat retakan di dalam (b) Bagian luar Bushing satu terdapat bagian yang aus, retakan dan potongan kecil yang hilang. (c) Bushing dua	53
Gambar 4. 17 Dua garis longitudinal pada permukaan Pin	54
Gambar 4. 18 Permukaan Pin yang (a) tidak aus dan (b) aus	55
Gambar 4. 19 Dua patahan Pin disambung	56
Gambar 4. 20 Mounting angle yang didekat kepala Pin mengalami Patah menjadi dua bagian	56
Gambar 4. 21 Patahan Mounting angle menempel pada Pin	57
Gambar 4. 22 (a) Perbesaran patahan pada Lubang Mounting angle. (b) Perbesaran patahan Mounting angle bagian bawah	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Berbagai akar permasalahan dalam kasus kegagalan dari komponen permesinan dalam dunia industri ^[2]	9
Tabel 2. 2 Frekuensi penyebab khusus kegagalan dari komponen permesinan yang ada di dalam dunia industri ^[2]	9
Tabel 2. 3 Mekanisme <i>fatigue fracture</i> ^[16]	11
Tabel 2. 4 Tanda perambatan lelah.....	12
Tabel 2. 5 Tahapan <i>fracture</i> ^[4]	13
Tabel 2. 6 Kandungan karbon pada Baja.....	20
Tabel 3. 1 Nama komponen dan gambarnya	33
Tabel 3. 2 Pengambilan data.	35
Tabel 3. 3 Rancangan pengamatan makroskopik	35
Tabel 4. 1 Jenis material dan <i>heat treatment</i> pada <i>Chain</i>	38
Tabel 4. 2 <i>Lifetime Chain bucket elevator</i> dengan jenis material dan <i>heat treatment</i> yang sama	38
Tabel 4. 3 <i>Monthly report</i> bulan September 2018	40

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

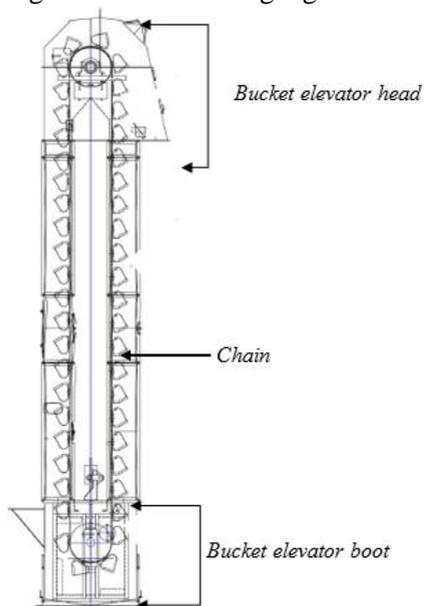
DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Ukuran diameter Bushing Satu.....	46
Grafik 4. 2 Ukuran diameter Bushing Dua	46

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

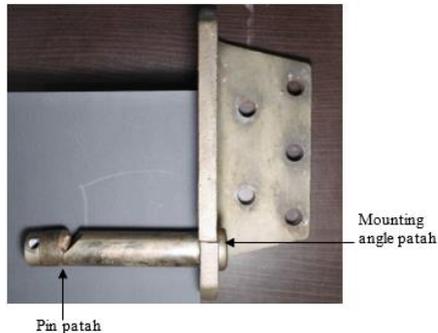
Perusahaan industri semen memiliki unit proses dalam pembuatan semen yang terbagi dalam beberapa unit yaitu, unit Penyiapan Bahan Baku, unit Pengolahan Bahan Baku atau Proses Penggilingan Awal (*Raw Mill*), unit Pembakaran dan Pendinginan, unit Penggilingan Akhir (*Finish Mill*) dan unit Pengisian (*packer*). Pada Unit Penggilingan Akhir (*Finish Mill*) menggunakan *Chain Bucket Elevator 548BE01* sebagai pesawat pemindah bahan. Salah satu bagian penting dari *Chain Bucket Elevator* adalah *Chain*, *Chain* tersusun oleh *Outerlink*, *Pin*, *Bushing* dan *Mounting angle* tempat mengikat *Buckets*. Berikut merupakan gambar *Bucket Elevator Chain* yang digunakan untuk mengangkut *Clinker*:



Gambar 1. 1 Bucket Elevator^[14]

Chain akan bertahan sesuai desain jika elemen-elemen penyusunnya sesuai standar perencanaan (baik material, dimensi, maupun perakitannya) dan kondisi operasionalnya. *Pin* sebagai komponen pengikat antar *Chain* mengalami putus atau patah di bawah waktunya (*lifetime*). *Pin* mengalami kegagalan pada saat berumur 3 tahun 7 bulan. Hal ini menyebabkan sistem tidak dapat bekerja selama kurang lebih 45 jam.

Kegagalan pada *Pin* ini memberikan dampak negatif yang cukup besar pada proses produksi semen yaitu membengkaknya biaya operasional serta penurunan penghasilan produksi semen perharinya. Berikut merupakan gambar *Chain* yang mengalami patah :



Gambar 1. 2 *Chain* patah pada Pin dan Mounting angle

1.2 Perumusan Masalah

Bagaimana mekanisme patahnya Pin pada *Chain Bucket Elevator*

1.3 Tujuan Penelitian

Mengetahui mekanisme kegagalan Pin pada *Chain Bucket Elevator* ditinjau dari aspek metalurgi.

1.4 Batasan Masalah

Data terbatas pada komponen-komponen yang kontak langsung dengan Pin.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini diharapkan dapat bermanfaat untuk berbagai kalangan. Adapun manfaat yang diberikan adalah:

- a. Bagi dunia industri pengolah semen, dengan adanya analisa kegagalan ini dapat dijadikan acuan atau pertimbangan dalam pencegahan dan perawatan untuk menghindari kerusakan yang serupa.
- b. Bagi kalangan akademis khususnya mahasiswa, dengan adanya studi analisa kegagalan ini diharapkan mampu mengaplikasikan dan memahami ilmu yang telah didapat untuk memecahkan masalah kegagalan pada komponen tersebut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

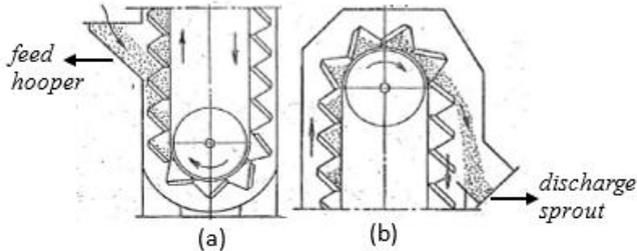
BAB II DASAR TEORI

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Chain Bucket Elevator

Chain bucket elevator merupakan sebuah pesawat pemindah bahan yang digunakan untuk memindahkan suatu bahan dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi secara vertikal. Bahan yang dipindahkan adalah *Clinker*. *Clinker* akan masuk pada *feed hooper* di *bucket elevator boot* kemudian *Clinker* ditangkap oleh *Bucket*. Setelah sampai pada *rim segment*, *Clinker* dikeluarkan ke arah corong keluar (*discharge sprout*).

Berdasarkan dari proses masuk dan keluarnya bahan yang dibawa, *Chain bucket elevator* menggunakan jenis *Centrifugal discharge elevator*. Kecepatan tipe ini sebesar 1,62 m/s. Berikut merupakan gambar dari *Centrifugal discharge elevator*:



Gambar 2. 1 (a) proses masuknya *Clinker* (*direct fill*) (b) proses keluarnya *Clinker* (*direct gravity*)^[29]

Bucket yang terisi terak ditumpahkan oleh adanya gaya sentrifugal yang terjadi ketika *bucket* berputar mengelilingi sprocket dan jatuh langsung ke dalam (*discharge sprout*). Gaya sentrifugal yaitu gaya gerak melingkar yang berputar menjauhi pusat lingkaran. *Chain bucket elevator* memiliki bagian-bagian penting yang dapat mendukung kerja sistem, yaitu:

a. *Bucket* (timba)

Bucket berfungsi sebagai wadah dari material yang akan diangkat. Secara umum *bucket* terbuat dari bahan baja karbon, baja tahan aus, baja tahan karat dan plastik. *Bucket* terdiri dari beberapa bentuk berdasarkan karakteristik bahan yang diangkat. Terak memiliki *grain size max* 50 mm maka jenis *bucket* yang digunakan *Deep Bucket (Minneapolis Type)*. Terak termasuk golongan *Bulk Loads*, yaitu material yang komponennya terdiri dari partikel-partikel yang homogen.

b. Motor penggerak

Motor ini berfungsi sebagai penggerak utama pada elevator, mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan *power* 90 kW. Putaran dari motor listrik untuk menggerakkan gear box sehingga mesin dapat dioperasikan.

c. Gear box

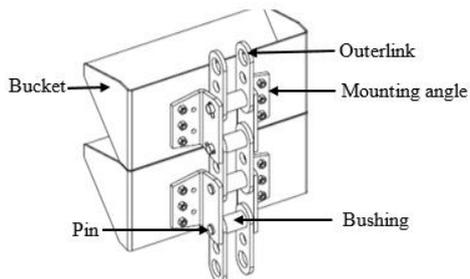
Gear Box mentransmisikan tenaga dari motor yang berputar. Putaran dari *gear box* akan menggerakkan *drive sprocket* sehingga *chain* bergerak.

d. Chain dan Sprocket Penggerak

Chain dan *sprocket* penggerak merupakan sebuah sistem transmisi yang digunakan pada sebuah *elevator*. Pada *chain* transmisi inilah tempat melekatnya *bucket*.

Chain

Chain digunakan sebagai *Traction element* untuk *Buckets*. *Traction element* adalah komponen penggerak transportasi *Clinker*. *Chain* terdiri dari 4 komponen, yaitu *Bushing*, *Pin*, *Outer link plate* dan *Mounting Angle*. *Bushing* digunakan sebagai pelindung *Pin*, *Pin* berada di dalam *Bushing*, *Bushing* dan *Pin* menghubungkan *outerlink* dengan *Mounting angle*, *Mounting angle* sebagai penyambung antar *outer link* dan *Buckets* sebagai tempat untuk membawa *Clinker*.



Gambar 2. 2 Sebagian komponen Chain^[14]

2.1.2 Clinker

Chain bucket elevator yang digunakan pada setiap perusahaan berbeda-beda. Bahan dan spesifikasi yang digunakan tergantung pada jenis material yang diangkut. Berbagai macam materialnya berupa serbuk, butiran-butiran kecil, dan bongkahan. Material yang diangkut oleh perusahaan semen adalah *Clinker*. *Clinker* merupakan salah satu material untuk membuat jenis semen Portland.



Gambar 2. 3 *Clinker*

Clinker semen portland merupakan bahan hidrolis yang sebaiknya mengandung 2/3 kalsium silikat dalam bentuk (CaCO_3) , SiO_2 dan $(\text{CaO})_2 \cdot \text{SiO}_2$ dan selebihnya berisi aluminium oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3) dan oksida-oksida lainnya.

Unsur Kimia dalam *Clinker*

Umumnya terdapat empat kandungan senyawa utama pembentuk *Clinker* yaitu C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF . Keempat

komponen tersebut memiliki peranannya masing-masing dalam *Clinker*. Di dalam *Clinker* terdapat kandungan senyawa yaitu diantaranya :

- a. Trikalsium Silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) atau disingkat dengan C_3S .
- b. Dikalsium Silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) atau disingkat dengan C_2S .
- c. Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) atau disingkat dengan C_3A .
- d. Tetra Kalsium Aluminat ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ atau disingkat dengan C_4AF).

Bahan Baku Clinker

Bahan baku utama klinker terdiri dari:

- a. Batu kapur, yang mengandung 50% CaCO_3 atau lebih sering disebut dengan *lime stone*. Batu kapur yang digunakan sebanyak $\pm 81\%$.
- b. Tanah liat (*clay*). Tanah liat yang digunakan sebanyak $\pm 9\%$.

Bahan aditif *Clinker* terdiri dari:

- a. Pasir besi (Fe_3O_4) atau *Copper Slag* ($\text{Fe}\cdot\text{SiO}_3$, Ca_2Fe , CuO). Pasir besi yang digunakan sebanyak $\pm 1\%$.
- b. Pasir silika (SiO_2). Pasir silika digunakan sebanyak $\pm 9\%$.
- c. Gypsum ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) Pada penggilingan akhir digunakan gipsium sebanyak 3-5% total pembuatan semen.

2.1.3 Analisa Kegagalan

Kegagalan (menurut NASA^[1]) ialah ketidak sesuaian dari sistem atau sub sistem dalam menjalankan fungsinya sesuai desain rancangan awal peralatan. Analisa kegagalan diawali dengan observasi pada komponen-komponen yang rusak (*fracture component*). Pengamatan pola patahan di permukaan benda menjadi kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, pengamatan secara makroskopik dan mikroskopik harus dilaksanakan secara berkesinambungan. Selanjutnya perlu dilakukan pengujian mekanik karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen. Kegagalan

yang sering terjadi di dunia industri dapat dikarenakan beberapa hal dibawah ini^[3]:

1. Kegagalan akibat material
2. Proses perawatan yang tidak berjalan sesuai dengan prosedur.
3. Kesalahan dalam proses pendesainan
4. Kesalahan Pemrosesan (*Faulty Processing*)
5. Kondisi kerja yang tidak baik (*Deterioration in service*)

Tabel 2. 1 Berbagai akar permasalahan dalam kasus kegagalan dari komponen permesinan dalam dunia industri^[2].

Akar Permasalahan	Presentase
Kesalahan pemilihan material	38%
Cacat karena proses fabrikasi	15%
Kesalahan proses perlakuan panas	15%
Kesalahan desain konstruksi	11%
Kondisi operasi yang tidak terduga	8%
Kontrol lingkungan yang buruk	6%
Inspeksi dan kontrol kualitas yang buruk	5%
Ketidak jelasan material	2%

Tabel 2. 2 Frekuensi penyebab khusus kegagalan dari komponen permesinan yang ada di dalam dunia industri^[2].

Penyebab Kegagalan	Presentase
Korosi	29%
Kelelahan (<i>fatigue</i>)	25%
Kegagalan getas (<i>brittle fracture</i>)	16%
Kelebihan beban	11%
Korosi temperatur tinggi	7%
Korosi tegangan (<i>stress corrosion</i>)/Korosi lelah (<i>fatigue corrosion</i>)/Penggetasan hidrogen (<i>hydrogen embrittlement</i>)	6%
Merangkak (<i>Creep</i>)	3%

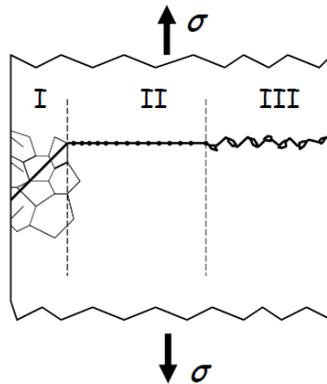
2.1.4 Patah Lelah (Fatigue Fracture)

Fatigue fracture merupakan patah yang terjadi akibat dari pembebanan siklik dengan beban yang diberikan berada dibawah beban *yield* material tersebut^[6]. Selanjutnya, *fatigue* bersifat tiba-tiba dan tanpa disertai peringatan yang berujung pada kerusakan permanen. *Fatigue* pada umumnya meliputi pertumbuhan inti dan perambatan dari sebuah retak^[5]. Dari lokasi tersebut akan berawal retak lelah yang selanjutnya merambat dengan cepat. Perambatan retak sejalan dengan pembebanan yang berfluktuatif. Bila retak lelah ini telah jauh merambat hingga luas penampang yang tersisa tidak lagi dapat mendukung beban maka komponen akan patah.

Fatigue fracture memiliki mekanisme yang dapat ditunjukkan dengan 3 tahapan patah lelah (*fatigue stage*). Berikut merupakan 3 tahap patah lelah yang dijelaskan pada tabel 2.3 :

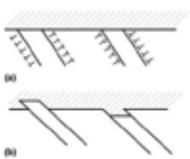
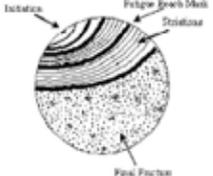
• There are 3 stages:

- I. Crack initiation
- II. Crack propagation or stable crack growth
- III. Unstable crack growth or failure



Gambar 2. 4 Tahapan patah lelah^[7]

Tabel 2. 3 Mekanisme *fatigue fracture*^[16]

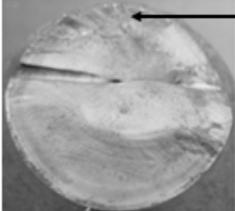
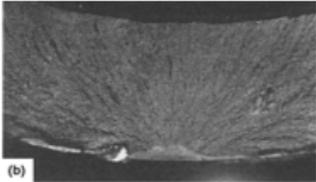
Fatigue stage	Gambar	Penjelasan
1. Tahap awal terjadinya retakan (<i>crack initiation</i>)	 <p>(a) Terjadi <i>cyclic slip</i> di permukaan (b) Terbentuknya <i>extrusion dan intrusion</i>^[16]</p>	<p>a. Terjadi <i>cyclic slip</i> pada permukaan karena pergerakannya tidak dibatasi oleh batas butir</p> <p>b. Slip yang terjadi karena gaya shear stress menghasilkan <i>extrusion</i> dan <i>intrusion</i> dengan sudut 45° terhadap sumbu utama tegangan (gaya <i>shear</i> maksimal pada benda kerja di sudut 45°)</p>
2. Tahap perambatan retakan (<i>crack propagation</i>)	 <p>Mikrostruktur patah lelah pada permukaan baja^[15]</p>	<ul style="list-style-type: none"> Retak makroskopik menyebar secara cepat. Laju dan arah perambatan di kontrol oleh <i>local stress</i> dan struktur material yang ada di ujung retak. Retak yang sudah merambat akhirnya menjadi konsentrasi tegangan yang paling berpengaruh. Ujung retak tersebut menentukan arah patahan. Pertumbuhan retak terjadi hingga sisa luas penampang mencapai luasan kritis. Retak mikroskopik, terlihat adanya striasi (ditunjukkan dengan SEM) merupakan garis-garis halus yang menyatakan majunya retakan untuk setiap siklus beban. Laju perambatan retakan beberapa mikron per siklus.
3. Tahap patah akhir (<i>final fracture</i>)	 <p>Permukaan patahan^[16]</p>	<p>Ketika luasan kritis tercapai maka komponen tidak dapat lagi menerima beban maksimal, sehingga menyebabkan <i>overload fracture</i>. Percepatan pada laju perambatan retakan sangat cepat hingga benda menjadi patah.</p>

Ciri-ciri patah lelah:

Permukaan patah lelah memiliki ciri-ciri khusus yang dapat dilihat dengan cara visual atau dengan bantuan kaca

pembesar. Daerah retak leleh dapat diidentifikasi bila ada tanda-tanda perambatan leleh, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.4^[16]:

Tabel 2. 4 Tanda perambatan leleh

Penjelasan	Gambar permukaan
<p>1. <i>Beachmarks</i> (Garis pantai)</p> <p><i>Beachmarks</i> terjadi karena adanya perubahan pada kondisi pembebanan. Perubahan tersebut meliputi frekuensi beban dan besarnya beban atau operasi peralatan yang kadang-kadang berhenti.</p>	 <p><i>Beachmarks pada permukaan baja</i>^[16]</p>
<p>2. <i>Chevron</i></p> <p>Arah perambatan retak hampir selalu berasal dari ujung-ujung alur chevron. Alur-alur <i>chevron</i> terbentuk karena dari penjalaran retak. Retak ini berkembang ke depan secara bersamaan sehingga menghasilkan alur-alur chevron.</p>	 <p><i>Pola Chevron</i>^[16]</p>
<p>3. <i>Striasi</i></p> <p><i>Striasi</i> merupakan garis-garis halus yang menyatakan majunya retakan untuk setiap siklus pembebanan. Striasi menjadi ciri penjalaran retak pada tahap II dan hanya tampak dengan menggunakan mikroskop elektron.</p>	 <p><i>Pola Striasi ditunjukkan dengan huruf S dan pola Beachmarks dengan huruf B</i>^[16]</p>

2.1.5 Patah (*Fracture*)

Patah adalah terbaginya suatu benda menjadi 2 bagian atau lebih hingga muncul permukaan baru akibat adanya tegangan. Ada 2 jenis *fracture* pada logam yaitu *brittle fracture* dan *ductile fracture*. Ciri-ciri dari *ductile fracture* adalah mengalami

deformasi plastis dengan waktu yang relatif lambat (stabil) sepanjang terjadinya *crack*. *Crack* adalah kumpulan rongga-rongga kecil yang merambat muncul di permukaan benda akibat adanya tegangan. Pada *brittle fracture*, perambatan *crack* terjadi secara cepat (tidak stabil) dan mengalami hanya sedikit deformasi plastis/tidak terlihat.

Proses *ductile fracture* secara normal mengalami beberapa tahapan. Berikut tahapan *ductile fracture* yang dijelaskan dalam tabel 2.5

Tabel 2. 5 Tahapan *fracture* ^[4].

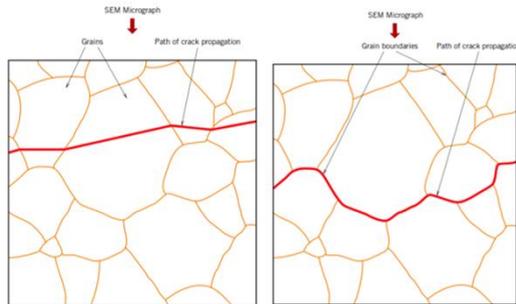
Tahapan <i>Fracture</i>	Gambar
Material ketika terkena tegangan tarik.	
Mula-mula terjadi <i>necking</i> kemudian membentuk rongga-rongga kecil.	 Kumpulan rongga-rongga kecil
Rongga-rongga kecil tadi membesar dan bergabung membentuk <i>crack</i> berbentuk elips, dimana arahnya tegak lurus dengan arah tarikan yang kemudian bertambah akibat proses penggabungan rongga-rongga kecil tadi.	 <i>Crack</i>
<i>Fracture</i> terjadi akibat perambatan yang cepat dari <i>crack</i> disekitar daerah <i>necking</i> .	
Material sudah patah terbagi menjadi 2 bagian akibat tegangan tarik dan permukaan berserabut.	

Patah Getas (*Brittle Fracture*)

Logam getas mengalami sedikit atau tidak terlihat deformasi plastis. Patah getas mempunyai ciri permukaan *fracture* yang datar, penampilan granular cerah, tipe datar dan pola chevron (*chevron*

patterns) menampilkan pembelahan diantara butir (*intergranular*), dan mengikuti bidang kristal (*cleavage*)^[4].

Transgranular fracture merupakan tipe *fracture* yang dicirikan dengan *crack* yang menabrak garis batas butir. Sedangkan *intergranular fracture* adalah *fracture* yang dicirikan dengan *crack* yang mengikuti garis batas butir.



Gambar 2. 5 Profil skema potongan perambatan *crack* pada transgranular *fracture* (a) dan intergranular *fracture* (b) saat SEM^[4]

2.1.6 Pengaruh Konsentrasi Tegangan Pada Patah Lelah

Kekuatan lelah akan banyak berkurang apabila terdapat konsentrasi tegangan. Elemen-elemen mesin yang ada selalu mengandung konsentrasi tegangan, seperti: jalur tipis (*fillet*), alur pasak, ulir, suaian tekan (*press fit*) dan lubang, maka tidak mengherankan apabila retakan lelah pada bagian-bagian stuktur biasanya berawal dari ketidak teraturan geometris tersebut^[10].

2.1.7 Efek Permukaan Pada Kelelahan

Pada dasarnya semua kegagalan lelah mulai terjadi pada permukaan benda^[10]. Tegangan maksimum terjadi pada sebagian besar jenis pembebanan yang umum seperti *bending* dan *torsi*. Faktor-faktor yang mempengaruhi permukaan benda dapat terbagi menjadi 3 kategori: (1) kekasaran permukaan, (2) konsentrasi tegangan, (3) perubahan kondisi tegangan sisa pada permukaan

benda. Selain itu, permukaan benda merupakan bagian yang mudah mengalami oksidasi dan korosi.

2.1.8 Fretting

Fretting adalah kerusakan permukaan yang terjadi apabila dua buah permukaan saling bersentuhan dan mengalami sedikit pergerakan relatif periodik^[11]. Gejala yang terjadi sebetulnya lebih bersifat keausan. *Fretting* berbeda dengan keausan, fakta bahwa kecepatan relatif kedua permukaan jauh lebih kecil dibandingkan dengan yang terjadi pada aus. Terjadinya lubang pada permukaan dan pelapukan diikuti dengan keruntuhan oksida (berwarna kemerah-merahan untuk baja dan berwarna hitam untuk aluminium). *Fretting* disebabkan oleh kombinasi efek mekanik dan kimia. Pada permukaan benda terjadi oksidasi dan lapisan oksida yang terbentuk mengalami kerusakan akibat gerakan relatif antar permukaan.

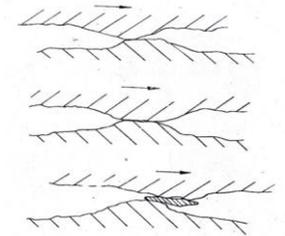
2.1.9 Keausan

Keausan adalah proses terkikisnya material secara bertahap dari permukaan benda padat saat material saling kontak^[13]. Sebuah mesin mempunyai banyak komponen yang bekerja pada pergerakan dengan gesekan. Pada pergerakan relatif dengan tekanan, selalu terjadi friksi pada bidang kontak. Maka abrasi akan berlanjut dan merusak ketelitian komponen yang selanjutnya berkembang terus menjadi lebih parah sampai komponen mesin kehilangan fungsinya dan patah. Aus yang terjadi antara lain: *adhesive wear*, *abrasive wear*, *surface fatigue wear* dan *tribo chemical wear* ^[25]. Berikut ini penjelasan singkat tentang jenis-jenis aus:

Adhesive

Keausan adhesive sering juga disebut sebagai galling atau scuffing, terjadi jika kontak antar kedua permukaan (surface) diberi gaya bersama dan bergerak relatif satu dengan yang lainnya. Laju keausan tersebut dipengaruhi oleh beban yang bekerja dan tingkat kekerasan material^[32] Semakin besar beban yang diberikan dan

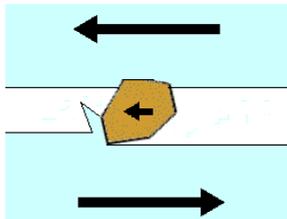
gesekan (friction) antar permukaan berlangsung terus menerus maka akan menurunkan ketahanan aus. Mekanisme Keausan adhesive dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2. 6 Keausan *Adhesive*^[32]

Abrasive

Keausan abrasive disebabkan oleh partikel yang terjebak antara dua permukaan yang bergerak. Adanya partikel tersebut bisa bersendiri-sendiri atau bersamaan dengan gas, cairan atau pelumas. Keausan yang disebabkan oleh abrasive adalah yang paling berbahaya diantara mekanisme keausan yang ada. Pada keausan abrasive partikel bisa dianggap sebagai alat potong dimana kekerasan, ukuran dan bentuk partikel akan mempengaruhi laju keausan. Mekanisme keausan abrasive dapat dilihat pada gambar 2.7

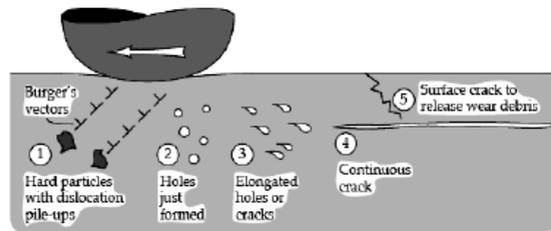


Gambar 2. 7 Keausan *Abrasive*^[32]

Surface fatigue wear

Keausan lelah pada permukaan pada hakikatnya bisa terjadi baik secara abrasif atau adhesif. Tetapi keausan jenis ini terjadi secara berulang-ulang dan periodik. Hal ini akan berakibat

pada meningkatnya tegangan geser. Pada gambar 2.7 mengilustrasikan tentang pertumbuhan retak pada permukaan benda. Ketidaktepatan dalam struktur material salah satu penyebabnya, yaitu kekosongan yang ada dalam struktur kristal pembentuk material dan proses *heat treatment* pada permukaan material.



Gambar 2. 8 Ilustrasi dari proses pertumbuhan retak^[27]

Tekanan yang terjadi selama gesekan antara dua benda menyebabkan lubang yang ada akan melebar. Proses berikutnya adalah menyatunya lubang-lubang yang telah melebar tadi menjadi alur retak sehingga perambatan retak yang terjadi akan mengakibatkan terlepasnya permukaan menjadi debris.

2.1.9 *Three Body Wear*

Konsep *third body*

Third body adalah konsep untuk mengaitkan gesekan dan keausan, memperhitungkan pengaruh dan interaksi dari material. Secara fisik, *third body* adalah bagian dari komponen dari suatu material (*first body*) yang terlepas atau terputus. Pada gesekan dan keausan, *keberadaan third body* pertama kali diakui dalam kasus *three-body abrasion*^[35]

Three-body abrasive wear

Keausan abrasif dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori yaitu *two-body* dan *three-body* ^[34]. Keausan *two-body* terjadi ketika sepasang permukaan yang berlawanan berinteraksi

secara abrasif, seperti dalam *grinding*, *tool cutting*, atau ketika permukaan kasar mengikis permukaan yang lebih halus. Keausan abrasif *three-body* terjadi ketika partikel (dikenal sebagai benda ketiga) berada diantara dua permukaan. Hal Ini dapat dibagi lagi menjadi varian terbuka (*open*) dan tertutup (*closed*).

Keausan *closed three-body* terjadi ketika partikel yang terperangkap terjebak di antara dua permukaan yang dekat satu sama lain. Partikel-partikel dapat melekat pada salah satu permukaan dan menyebabkan keausan pada permukaan. Pengurangan material secara terus-menerus akibat adanya kerusakan/lepasnya komponen dari suatu material menjadi puing-puing yang lebih kecil dan terjebak diantar dua komponen yang saling kontak akan menyebabkan hilangnya toleransi pada antar komponen hingga terjadi getaran yang berlebihan.^[33]

2.1.10 Kekerasan material dan keausan

Gesekan berkaitan dengan kekasaran permukaan, keausan berkaitan dengan kekasaran bahan yang bersentuhan. Secara umum, semakin keras bahannya maka semakin brittle dan karenanya lebih peka terhadap partikel Kekerasan material adalah parameter yang dapat menimbulkan banyak efek.

Shot peening dapat meningkatkan kekerasan permukaan dan memodifikasi kekasaran material. Kekasaran permukaan terdiri dari lubang-lubang mikro yang dapat menjebak partikel-partikel *third-body* akibat adanya degradasi material, degradasi dikendalikan oleh stres tekan (*compressive stress*). Analisis efek *shot peening* pada *distribution* dan *adhesion* dari *third-body* berkontribusi membedakan antara tegangan sisa (*residual stresses*) dan tekanan (*stresses*) yang dihasilkan dari adanya interaksi antar komponen yaitu pada geometrinya / kekasarannya.^[35]

2.1.11 Baja

Baja adalah suatu paduan dengan unsur utama besi (Fe) dan karbon (C), dimana kadar karbon tidak boleh lebih dari 2% berat totalnya^[17]. Unsur paduan lain yang bisa ditambahkan selain

karbon adalah mangan (Mn), krom (Cr) dan silikon (Si). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, dapat meningkatkan kualitas baja tersebut. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*), namun disisi lain membuat baja menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). Berdasarkan komposisi kimianya, baja diklasifikasikan menjadi dua bagian utama, yaitu baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*)^[18].

Baja karbon sedang (*Medium carbon steel*)

Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon 0,25 - 0,60 % dan kandungan mangan 0,60 - 1,65 %. Sifat mekanik baja ini ditingkatkan melalui perlakuan panas yaitu quenching dan tempering untuk mengubah struktur mikronya menjadi martensit. Baja karbon sedang yang dikeraskan memiliki kekuatan lebih besar dari baja berkarbon rendah, sehingga menurunkan keuletan dan ketangguhannya

Baja karbon rendah (*Low carbon steel*)

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon kurang dari 0,25%. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan (untuk membentuk martensit) dengan perlakuan panas namun dengan pengerjaan dingin (*cold work*). Baja karbon rendah relatif lunak dan memiliki kekuatan rendah, namun memiliki keuletan yang tinggi sehingga baik digunakan untuk permesinan dan pengelasan.

Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dapat diklasifikasikan ke dalam tiga tipe, berikut merupakan tabel kandungan karbon:

Tabel 2. 6 Kandungan karbon pada Baja

	Carbon content (wt.%)	Properties	Microstructure	Examples
Low-carbon steel	< 0.25	Ferrite, pearlite	Low hardness, High ductility, toughness, machinability and weldability	AISI 304, ASTM A815, AISI 316L
Medium-carbon steel	0.25 – 0.6	Martensite	Low hardenability, medium strength, ductility and toughness	AISI 409, ASTM A29, SCM435
High-carbon steel	0.6 – 1.25	Pearlite	High hardness, strength, low ductility	AISI 440C, EN 10088-3

Baja paduan (Alloy steel)

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran nikel, mangan, molybdenum, kromium, vanadium dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki seperti kekuatan, kekerasan dan keuletannya^[18]. Baja paduan dibagi menjadi dua jenis, yaitu baja paduan rendah (*low alloy steel*) total unsur paduannya kurang dari 10% dan baja paduan tinggi (*high alloy steel*) total unsur paduannya lebih dari 10%^[19]

2.1.12 Kekerasan Baja

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik suatu material. Kekerasan adalah kemampuan material untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan, indentasi atau penetrasi. Kekerasan suatu bahan logam terutama baja dipengaruhi oleh kadar karbon. Selain itu, unsur paduan atau campuran juga mempengaruhi nilai kekerasan pada baja.

Untuk mengetahui nilai kekerasan suatu material maka diperlukan pengujian terhadap material. Metode yang bisa digunakan untuk mengukur kekerasan baja, diantaranya adalah metode penekanan atau indentasi. Metode ini dilakukan dengan menekankan penekan tertentu kepada benda uji dengan beban

tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekan yang terbentuk di atasnya. Berdasarkan satuannya, metode pengukuran ini terdiri dari 3 macam yaitu *Brinell*, *Vickers* dan *Rockwell*.

Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas merupakan suatu tindakan yang dilakukan untuk mengubah sifat mekanis pada baja. Perlakuan panas adalah kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan dalam waktu tertentu dengan tujuan untuk merubah sifat mekanik bahan tersebut. Proses perlakuan panas diantaranya yaitu *hardening*, *annealing*, *normalizing*, dan *tempering*.

2.1.13 Pengerasan (*Hardening*)

Di bawah pendinginan lambat, atom karbon bisa berdifusi keluar dari struktur austenit, γ (struktur FCC). Atom-atom (Fe dan C) berdifusi untuk menjadi struktur kristal BCC secara perlahan, disebut transformasi γ ke α . Transformasi ini disebut proses nukleasi, tumbuh seiring berjalannya waktu. Pada saat pendinginan cepat dengan waktu yang singkat untuk membuat karbon berdifusi γ menjadi α tidak mencukupi. Hal tersebut mengakibatkan terperangkapnya karbon di dalam BCC selanjutnya terdeformasi menjadi BCT – struktur martensit.

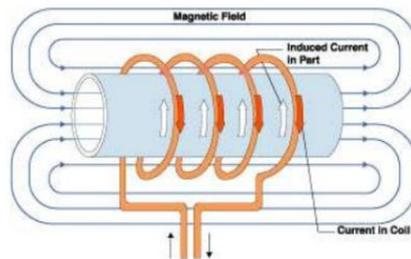
Tujuan dari proses *hardening* adalah untuk memperoleh struktur mikro martensit yang memiliki sifat keras. Martensit adalah paduan padat superjenuh dari karbon yang terperangkap di BCC. Adanya ekspansi yang terjadi saat terbentuknya martensit menyebabkan *high localized stress* sehingga terjadi deformasi plastis di matriksnya. Bentuk martensit pada mikroskop seperti jarum^[21]

Induction hardening

Induction hardening menggunakan energi listrik yang dikonversikan menjadi panas dengan menggunakan alternating current pada kumparan (coil). Material yang akan dikeraskan permukaannya diletakkan didalam kumparan yang terbuat dari

tembaga dan telah didinginkan dengan air, lalu kumparan itu dipanaskan diatas suhu transformasinya dengan arus bolak-balik yang akan menginduksi *magnetic field* pada material, menyebabkan permukaan material tersebut meningkat suhunya diatas suhu transformasinya. Material di quench menggunakan air atau oli, tergantung pada jenis baja dan tingkat kekerasan yang diinginkan^[31]

Bagian inti dari material pada metode ini tidak terpengaruh, sehingga permukaan dengan inti material tersebut memiliki *physical properties* yang berbeda. Kekerasan yang bisa didapat dengan metode ini adalah sekitar 37-58 HRC. Baja karbon yang paling sesuai untuk metode ini adalah baja dengan kandungan 0.40 sampai 0.45%.



Gambar 2. 9 Proses Induction Hardening

2.1.14 Toleransi suaian

Toleransi adalah dua batas penyimpangan yang diizinkan pada setiap ukuran elemen. Suaian adalah hubungan antara dua buah *komponen*. Sebelum dirakit kedua komponen mempunyai perbedaan ukuran. Toleransi suaian adalah perbedaan ukuran yang diizinkan untuk kedua komponen yang akan disatukan^[20]. Jenis suaian dapat ditentukan dengan hubungan poros dan lubang. Perbedaan antara poros dan lubang bergantung pada kedudukan daerah toleransi lubang terhadap toleransi poros.

a. Suaian longgar (*clearance fit*)

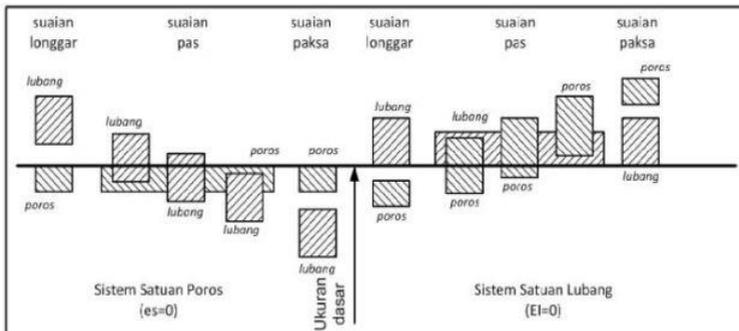
Jika ukuran poros lebih kecil daripada ukuran lubang maka suaianya disebut *suaian longgar*. Suaian yang selalu menghasilkan kelonggaran dan terdapat ruang kosong antara poros dengan lubang.

b. Suaian sesak (*interference fit*)

Jika ukuran poros dibuat lebih besar daripada ukuran lubang maka suaianya disebut *suaian sesak* (paksa). Suaian yang selalu menghasilkan kesesakan, poros dan lubang saling bertumpuk (ruang padat). Daerah toleransi lubang selalu terletak di bawah daerah toleransi poros.

c. Suaian pas (*transition fit*)

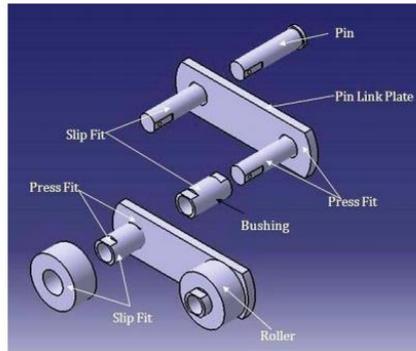
Jika ukuran poros dan lubang hampir sama antara longgar dan sesak (tak tentu) maka suaianya disebut *suaian pas*. Suaian yang tidak ada ruang kosong antara poros dengan lubang. Daerah toleransi lubang dan daerah toleransi poros saling menutupi.



Gambar 2. 10 Sistem satuan poros dan sistem satuan lubang^[20]

2.1.13 Suaian pada *roller conveyor chain*

Kegagalan perakitan *roller conveyor chain* menghasilkan kerugian besar bagi pengguna. Memiliki analisis terperinci untuk penyebab kegagalan menjadi hal yang penting. Berikut merupakan gambar yang menjelaskan suaian pada komponen *conveyor*:



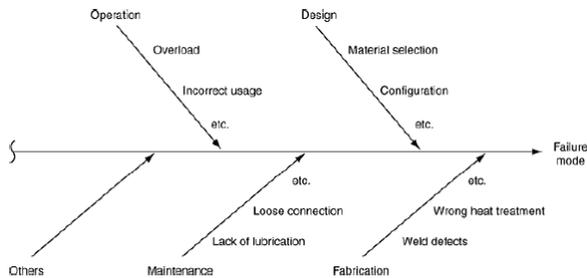
Gambar 2. 11 Suaian dasar pada *roller conveyor chain*^[24]

Press fit antara *Pin* dan *Pin Link Plate* mencegah *Pin* dari berputar. *Conveyor* memiliki *Cycling loading*, hal ini kadang disertai dengan beban kejut. *Pin* dikenakan tegangan geser yang ditransmisikan oleh *Link plate*. *Pin* dan *Bushing* memiliki *slip fit*. *Busing* dikenakan tegangan geser yang ditransmisikan oleh *Pin Link plate* dan *Roller*, sehingga mendapat beban kejut saat rantai mengenai *sprocket*.^[24]

2.1.14 Fishbone Diagram

Analisis Sebab-Akibat. Analisis sebab dan akibat adalah cara untuk menghubungkan sebab kegagalan dalam upaya menemukan akar permasalahan. Penyebab masalah dapat berupa desain, kinerja manusia, fabrikasi yang buruk, dan operasional. Analisis sebab dan akibat yang sederhana dapat berbentuk diagram tulang ikan yang dapat dikonstruksikan sebagai berikut:

1. Jelaskan kegagalan di sisi kanan diagram.
2. Identifikasi kategori penyebab utama sebagai cabang yang bertumpu pada kegagalan.
3. *Brainstorm* dan buat daftar semua penyebab pada setiap cabang.
4. Analisis data sampai akar permasalahan teridentifikasi



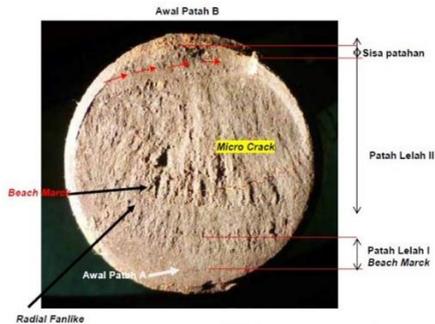
Gambar 2. 12 *Fishbone diagram*^[22]

2.2 Tinjauan Pustaka

2.2.1 Kerusakan Pada Material Baut Pin Akibat Patah Lelah

Baut Pin atas pada klem sebagai koneksi ketiga kaki anjungan, yang berada didalam air laut mengalami kerusakan, patah dan terdapat korosi. Dilakukan penelitian untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan baut tersebut dan mencari solusi agar kejadian tidak terulang pada masa yang akan datang. Untuk itu dilakukan pemeriksaan secara visual, fraktografi, metalografi, uji kekerasan dan uji komposisi kimia dan pemeriksaan SEM-EDS.

Pemeriksaan fraktografi, permukaan patahan pada baut pin mengalami patah lelah yang diawali dari awal patah A dan awal patah B. Perambatan pada awal patah B ditemukan beach marck pada tahapan pertama dari patah lelah (patah lelah I), *fanlike* dan *beach marck* pada tahapan pertama dari patah lelah (patah lelah II). Sedangkan sisa patahan sekitar 10% dari permukaan patahan. Fenomena ini dapat dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2. 13 Photo makro permukaan patahan baut pin yang mengalami patah lelah (*fatigue fracture*)

Pada Gambar 2.13 photo makro permukaan patahan baut pin yang mengalami patah lelah (*fatigue fracture*) dan awal patah dimulai dari tepi baut (Awal patah). Terlihat alur garis pantai (*beach marck*) yang menunjukkan bentuk area patah lelah hingga 90 % dan yang 10% adalah patah sisa. Pada daerah tengah terdapat retak akibat beban operasi sesaat.

Dari hasil pemeriksaan didapatkan struktur mikro baut pin berupa martensit temper dengan pengotor sulfid arah memanjang serta temuan kerusakan dengan ciri-ciri patah lelah yang ditandai dengan adanya *beach marck* dan *radial fanlike*. Beban yang diterima pada patah lelah I adalah *reversed bending*, dan pada patah lelah II menerima beban geser-geser dan *reversed bending*. Dengan demikian penyebab kerusakan baut pin adalah patah lelah oleh beban bending dan beban geser.

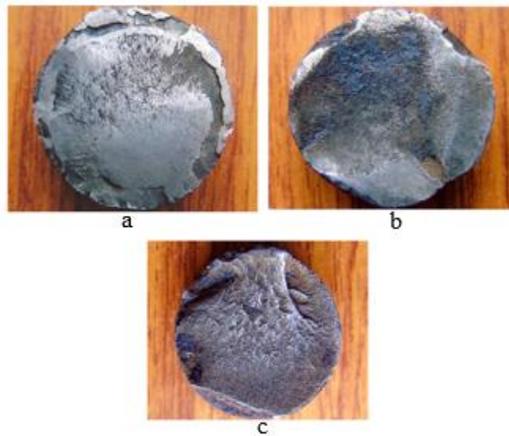
2.2.2 Metallurgical investigation of failure of coal mill drag chain pin

Investigasi metalurgi pada patahnya pin penghubung dari *drag chain conveyor* yang digunakan untuk mengangkat batu bara dari *raw coal hoper* ke *grave gate* di *coal mill*. Analisa kegagalan pada dua pin patah yang lokasi patahnya berada di dekat ujung pin.

Kedua pin yang patah mengalami pengurangan penampang di sekitar permukaan yang retak.



Gambar 2. 14 Dua Pin Penghubung



Gambar 2. 15 (a) Permukaan patahan Pin 1 (b) Bagian permukaan patahan Pin 1 (c) Permukaan patahan pin 2

Bidang permukaan yang retak pada Gambar 2.15.a tegak lurus terhadap sumbu pin penghubung. Pemeriksaan visual pada permukaan patahan menunjukkan karakteristik seperti *beachmarks* selama *crack propagation* dan *crack initiation* merupakan ciri-ciri *fatigue failure*. Area *final fracture* sekitar 15% dari penampang menunjukkan bahwa pin tidak kelebihan beban (*overload*). Beberapa fitur dari permukaan yang retak diamati pada Gambar 2.15.b mirip dengan Gambar 2.15.c seperti *beachmarks* dan

beberapa awal retak. Bidang permukaan patahan mengalami kemiringan sekitar 10° - 15° dari sumbu pin. Area *final fracture* menempati sekitar 25% dari total permukaan patahan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan yang ditunjukkan pada Gambar 2.15.c

Bidang permukaan patahan dari pin 2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15.a diamati berada pada sekitar 20° - 25° dari sumbu pin. Awal retak terletak di dekat bagian bawah dan bagian atas yang kanan. Shear lip di sudut kanan atas juga dapat diamati adanya beban geser.

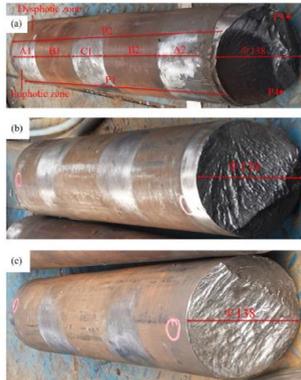
Analisa pada komposisi kimia pin dikonfirmasi sesuai dengan spesifikasi En-19. Kekerasan dan metalografi menunjukkan bahwa pin mengalami *induction hardened* di permukaan sedangkan *core* dari pin memiliki mikrostruktur martensit. Pengamatan visual dari pin mengkonfirmasi terjebaknya partikel batu bara halus hingga berat di permukaan pin menyebabkan aus, sehingga terjadi pengurangan penampang pada pin.

Metalografi menunjukkan ketidakseragaman pada *induction hardened* dan terdapat mikrostruktur martensit kasar yang tidak diinginkan pada *core* pin. Analisis kegagalan pada permukaan patahan dan fraktografi oleh SEM menunjukkan *fatigue fracture* karena *bending stresses* dan tekanan torsional ringan hingga sedang. *Induction hardened* yang tepat untuk memastikan kedalaman yang dibutuhkan dan penggunaan baja En-24 untuk pin penghubung telah disarankan untuk lebih meningkatkan masa pakai pada pin penghubung.

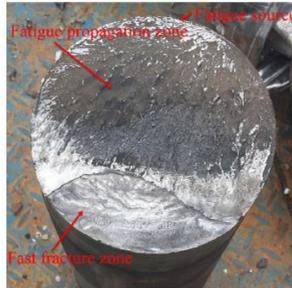
2.2.3 Study On The Stress Characteristic And Fatigue Life Of The Shredder Pin

Hammer shredder adalah peralatan utama untuk pemanfaatan siklik pada *retired car bodies*. Sumbu pin adalah komponen utama *shredder*, tetapi mudah rusak. Untuk meningkatkan efisiensi memotong dan memperpanjang lifetime pin shredder, penting untuk mempelajari karakteristik stress dan

fatigue life. Kondisi kekuatan pin shredder yang kompleks pada kondisi kerja. Mekanisme patahan dari *retired car bodies* dapat ditemukan dengan analisa permukaan pada patahan berikut ini:



Gambar 2. 16 Tiga pin patah



Gambar 2. 17 Patahan pada satu pin

Gambar 2.17 menunjukkan satu permukaan patahan. Berdasarkan warna dan kekasaran permukaan patahan, patah dapat dibagi menjadi 3 tahap: *crack initiation*, *crack propagation* dan *final fracture*. Daerah atas lebih halus daripada daerah bawah dan ada *fatigue lines* yang jelas. Dengan demikian, daerah ini merupakan *crack propagation*. Daerah di bawah ini relatif lebih

kasar yaitu *final fracture*. Menurut morfologi dari *fatigue line*, sumber kelelahan dapat ditemukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17. Oleh karena itu, patah pada pin ini menunjukkan pin mengalami *fatigue fracture*.

Pin yang ditunjukkan pada Gambar 2.16 juga mengalami *fatigue fracture*, hal ini mengkonfirmasi bahwa *fatigue fracture* adalah mode kegagalan yang paling sering terjadi pada pin. Sepanjang arah keliling pin, dapat terbagi dua zona yaitu *euphotic zone* and *dysphotic zone*. *Euphotic zone* dibentuk oleh beban yang sering dari *hammer* dan *backplates* selama proses penghancuran (*shredding process*). Ada beberapa beban yang lemah di *dysphotic zone*. Misalkan garis tengah *euphotic zone* dan *dysphotic zone* di sepanjang arah aksial P1 dan P2 dan batas dari dua zona adalah P2 dan P4. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16 (a) - (c), sumber patahan ada semuanya di *euphotic zone*. Frekuensi tinggi dan tegangan tinggi (*high stress*) pada pin selama proses penghancuran (*shredding process*) menyebabkan *microcrack* dan impuls berulang sehingga *microcrack* merambat menyebabkan *fatigue failure*. P1 mengalami stres tinggi dan mudah menyebabkan *fatigue failure*. Pada sisi lain yaitu P3 memiliki tegangan rendah (*low stress*)

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16, *euphotic zone* telah dikenakan secara serius dan *dysphotic zone* hampir tidak dikenakan, yaitu pin tidak digunakan secara efisien. Untuk memanfaatkan pin sepenuhnya dan membuat setiap area pada pin digunakan dengan baik, dilakukan menukar *euphotic zone* dengan *dysphotic zone*, yaitu dengan memutar pin pada 180° di sekitar poros pin pada waktu yang teratur.

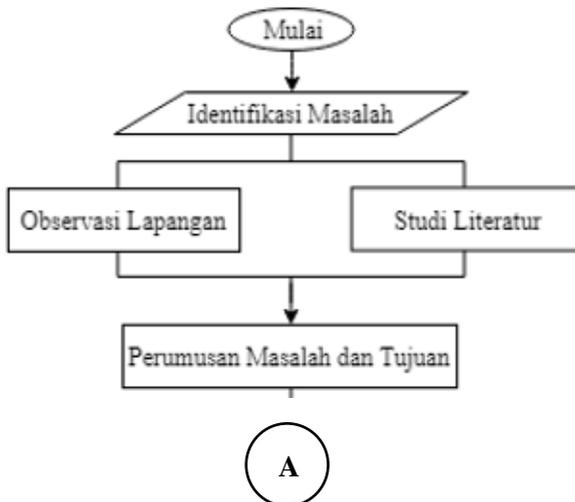
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

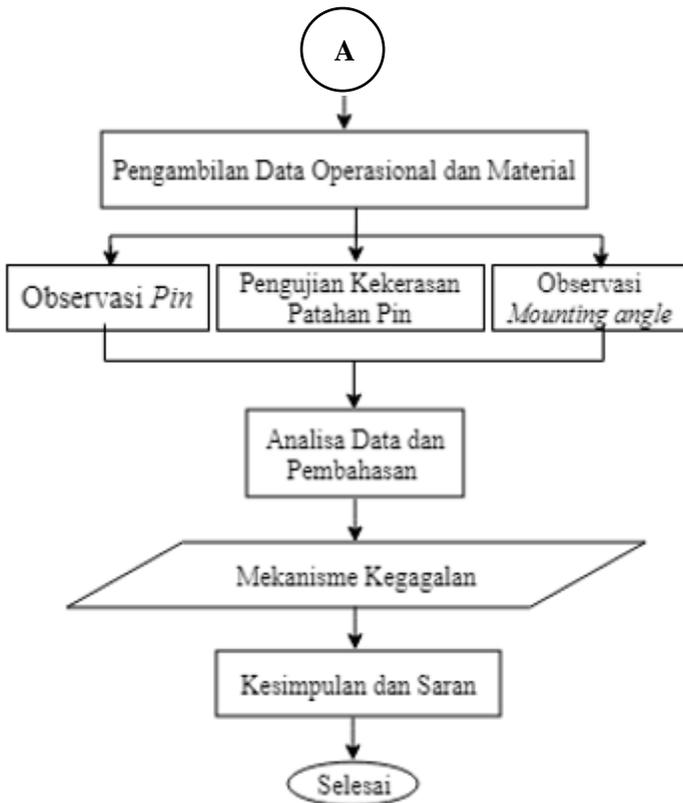
3.1 Analisa Kegagalan

Kegagalan adalah ketidakmampuan suatu *part* atau komponen untuk dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Dalam penelitian analisa kegagalan suatu material diperlukan beberapa langkah untuk dapat mencapai tujuan dari penelitian tersebut. Tiap kasus kegagalan memiliki karakteristik yang berbeda namun secara umum langkah investigasi yang dilakukan dapat dikatakan seragam. Hasil dan detail metodologi disesuaikan dengan kasus yang dihadapi.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian ini digambarkan secara singkat melalui diagram alir penelitian pada Gambar 3.1 berikut:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk melakukan penelitian analisa kegagalan, antara lain:

1. Penggaris dan jangka sorong digital
2. Kamera digital.
3. Alat uji kekerasan *Rockwell hardness tester*.

3.4 Komponen Chain

Komponen yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah *Pin* yang patah pada sistem *Chain Bucket Elevator (Clinker) 548BE01*. Jenis material pada *Pin* tersebut adalah *Medium carbon alloy steel*. Satu set Chain terdiri dari dua *Pin*, dua *Mounting angle*, dua *Bushing* dan dua *Outerlink*. Berikut merupakan tabel dari komponen satu set *Chain* yang mengalami kegagalan:

Tabel 3. 1 Nama komponen dan gambarnya

	Komponen Tidak Patah	Komponen Patah
1		
2		
3	 <p>O: Outerlink B: Bushing</p>	

3.5 Langkah-langkah penelitian

Pada tugas akhir ini dilakukan beberapa langkah-langkah penelitian analisa kegagalan sebagai berikut:

3.5.1 Observasi Lapangan

1. Observasi lapangan dilakukan di PT.Semen Indonesia (Persero) Tbk.

Observasi pada unit Tuban IV (Unit Penggilingan Akhir (*Finish Mill*)) yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Tujuan observasi lapangan ini untuk mencari informasi mengenai masalah yang terdapat pada pada sistem *Chain Bucket Elevator (Clinker)*. Permasalahan tersebut dapat dijadikan sebagai bahan penelitian tugas akhir.

2. Identifikasi permasalahan

Setelah dilakukan observasi lapangan, diperoleh suatu identifikasi permasalahan pada *Chain Bucket Elevator (Clinker)* mengalami putus Pin yang digunakan untuk transportasi bahan-bahan curah.

3.5.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses membaca dan mempelajari buku dan jurnal yang dapat memberikan informasi mengenai faktor-faktor yang terkait dengan kerusakan/kegagalan yang sejenis. Hal ini termasuk mengumpulkan materi kuliah yang terkait untuk digunakan sebagai referensi atau daftar pustaka.

3.5.3 Pengambilan Data Operasional dan Material

Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan data-data awal dari kerusakan. Terdapat beberapa informasi yang didapatkan meliputi komponen yang mengalami kegagalan, kondisi komponen yang berhubungan dengan komponen yang gagal tersebut dan informasi mengenai terjadinya kegagalan.

Pengambilan data dapat dijelaskan dalam tabel berikut:

Tabel 3. 2 Pengambilan data.

Observasi	Data
Material	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensi (katalog) • Jenis material (sertifikat) • Perlakuan panas (sertifikat) • Kekerasan (sertifikat)
Pengoperasian dan Perawatan	<ul style="list-style-type: none"> • Hasil NDT • <i>Monthly report</i> bulan September • <i>Histori lifetime Chain</i>

3.5.4 Observasi Pin dan Mounting angle

Observasi Pin dan Mounting angle bertujuan untuk mengamati permukaan *Pin* dan *Mounting angle*. Berikut merupakan tabel rancangan pengamatan visual :

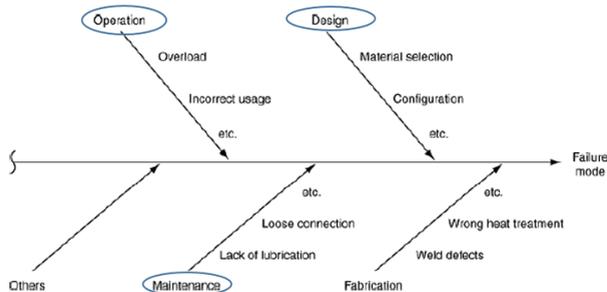
Tabel 3. 3 Rancangan pengamatan makroskopik

Observasi	Data
<i>Pin</i> dan <i>Mounting angle</i> yang telah patah.	<ul style="list-style-type: none"> • Luas daerah yang mengalami aus • Bentuk patahan • Letak patahan • Warna permukaan patahan

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB IV DATA DAN ANALISIS

Bab ini akan membahas mengenai kemungkinan penyebab kegagalan yang dapat memicu terjadinya *failure chain* pada *Bucket elevator*. Analisa penyebab kerusakan dilakukan dengan mengacu pada kondisi operasional, histori, foto kerusakan, dan informasi penunjang lainnya yang didapatkan dari pihak perusahaan. Setelah itu dilakukan pengujian untuk memperoleh data yang dapat membantu untuk menemukan akar penyebab kerusakan. Dalam pembahasan ini menggunakan metode *fishbone diagram* pada gambar 4.1 sebagai pedoman dalam mengeliminasi faktor penyebab kegagalan chain bucket elevator.



Gambar 4. 1 Pedoman Fishbone diagram^[22]

4.1 Riwayat penggunaan dan data kerusakan

Data-data yang didapatkan dari perusahaan merupakan acuan dalam mengidentifikasi penyebab dari kerusakan *Chain bucket elevator*. Data-data tersebut adalah sebagai berikut:

4.1.1 Material selection

Tabel 4. 1 Jenis material dan *heat treatment* pada *Chain*

<i>Part</i>	Jenis Material	<i>Heat treatment</i>
<i>Pin</i>	<i>Medium carbon alloy steel</i>	1. <i>Through hardening</i> kekerasan 42 RC 2. <i>Induction hardening</i> kekerasan 60 RC kedalaman 5 mm
<i>Bushing</i>	<i>Low carbon alloy steel</i>	<i>Carburized case hardening</i> kekerasan RC 60 kedalaman 3,2 mm
<i>Sidebars (Mounting angle dan Outerlink)</i>	<i>Medium carbon steel</i>	<i>Through hardening</i> kekerasan 33,1 RC

Tabel 4. 2 *Lifetime Chain bucket elevator* dengan jenis material dan *heat treatment* yang sama

No	Nama <i>Chain bucket elevator</i>	Tanggal pemasangan chain	Tanggal chain mengalami putus	<i>Lifetime</i>		
				Tahun	Bulan	Hari
1	546-BE-2	17 Maret 2011	27 Februari 2016	4	0	11
2	546-BE-1	14 Mei 2013	30 Mei 2019	6	0	16
3	547-BE-1	27 Mei 2014	28 Maret 2019	4	10	16
4	548-BE-1	18 Februari 2015	19 September 2018	3	7	1

Pada tabel 4.2 terdapat 4 *Chain bucket elevator* yang memiliki *lifetime* yang berbeda-beda. *Chain bucket elevator* ini menggunakan jenis material dan *heat treatment* yang sama, terlihat pada tabel 4.1. *Chain bucket elevator* 548-BE-1 mengalami patah pada Pin yang memiliki jenis material *Medium carbon alloy steel*. Hal ini mengakibatkan *Chain bucket elevator* 548-BE-1 memiliki *lifetime* yang paling singkat dibanding *Chain bucket elevator* lainnya. *Lifetime* material merupakan salah satu tolak ukur yang

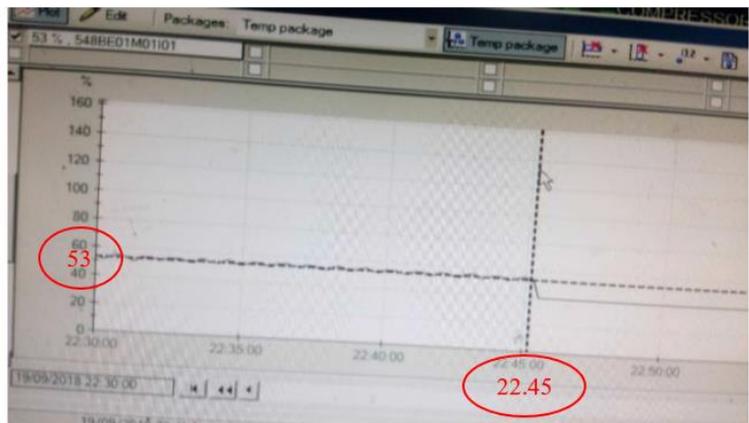
penting dalam mendesain material. *Lifetime* berhubungan dengan tegangan yang mampu diterima oleh material sehingga *material selection* bukan menjadi penyebab dari kegagalan *Chain bucket elevator*

Chain bucket elevator mengalami patah atau penggantian disebabkan oleh beberapa permasalahan. Permasalahan yang terjadi disebabkan oleh Pin yang mengalami patah, Pin mengalami retak, diameter *inside Bushing* dan Pin mengalami aus yang parah atau melebihi batas kewajarannya, ketidakcocokan desain *Chain* dengan jenis material yang diangkut, *Bucket* patah akibat *overload* dari material yang diangkut karena material terlalu basah/lumpur dan patah baut pada *Mounting angle*.

4.1.2 Beban motor dan beban angkut *Chain*

a. Pantauan *constant current regulator*

Chain mengalami patah di akhir shift 2 sekitar pukul 22.45 dengan beban motor sebesar 52-53 amper yaitu keadaan normal terlihat pada gambar 4.2



Gambar 4. 2 Pantauan *constant current regulator*

b. Monthly report bulan September 2018

Chain patah saat mengangkat beban sebesar 241 ton dengan waktu operasi selama 23 jam. Chain dapat mengangkat beban aktual maksimal sebesar 254 ton selama 24 jam. Ditunjukkan pada tabel 4.3 *Monthly report* bulan September 2018

Tabel 4. 3 *Monthly report* bulan September 2018

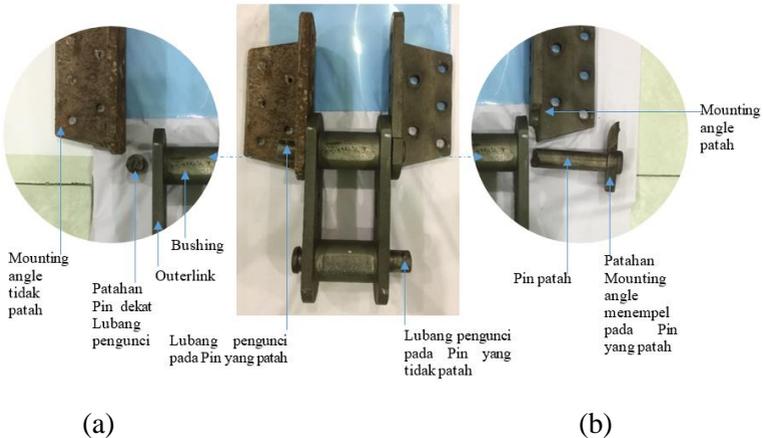
MONTHLY REPORT SEPTEMBER 2018	Mill Feed + Reject	Grinding Run Hours
DATE	Ton/hour	hour
1-Sep-18	226	24
2-Sep-18	232	24
3-Sep-18	233	24
4-Sep-18	227	24
5-Sep-18	222	22
6-Sep-18	253	24
7-Sep-18	238	23
8-Sep-18	252	24
9-Sep-18	254	24
10-Sep-18	254	24
11-Sep-18	253	24
12-Sep-18	249	24
13-Sep-18	251	24
14-Sep-18	240	23
15-Sep-18	245	24
16-Sep-18	253	24
17-Sep-18	246	24
18-Sep-18	248	23
19-Sep-18	241	23
20-Sep-18	0	0
21-Sep-18	0	0
22-Sep-18	243	23
23-Sep-18	253	24
24-Sep-18	252	24
25-Sep-18	251	24
26-Sep-18	252	24
27-Sep-18	251	24
28-Sep-18	245	23
29-Sep-18	244	23
30-Sep-18	248	24
Maximum	254	24
Average	229	22
Minimum	0	0

Beban aktual maksimal dan waktu maksimal

Inspeksi terakhir dilakukan pada tanggal 16 Agustus 2018 dengan hasil *Accepted*, kondisi *Chain* dalam keadaan bagus, tidak ditemukan potensi kerusakan ditunjukkan. Pada tanggal 19 September 2018 yaitu sebulan kemudian dari inspeksi terakhir, *Chain* mengalami kegagalan pada Pin dan *Mounting angle*. Dari inspeksi visual dan inspeksi prediktif, *Chain* mendapatkan metode perawatan yang sesuai sehingga perawatan bukan faktor penyebab dari kegagalan *Chain bucket elevator*.

4.2 Analisa Chain

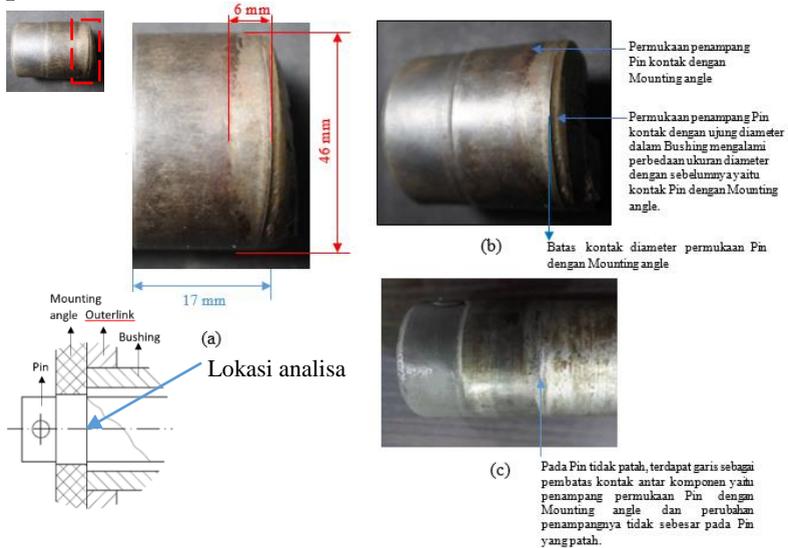
Analisa dilakukan dengan cara membagi *Chain* menjadi dua lokasi yaitu lokasi pertama dan lokasi kedua (gambar 4.4). Lokasi ini ditentukan berdasarkan letak komponen yang patah sesuai dengan susunannya. Analisa dimulai dengan melihat secara visual dan melakukan pengukuran dimensi pada masing-masing komponen yang saling berkaitan.



Gambar 4. 4 (a) Lokasi pertama (b) Lokasi kedua

4.3 Lokasi Pertama

4.3.1. Permukaan Penampang Patahan Pin Dekat Pengunci (patahan kecil)



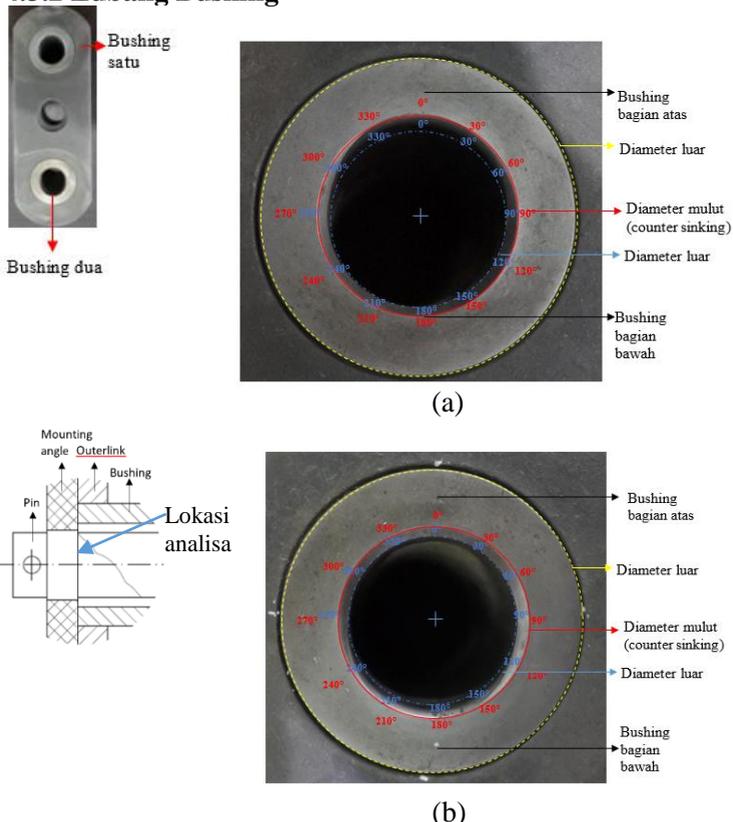
Gambar 4. 5 (a)Perbedaan warna pada penampang permukaan patahan Pin dekat pengunci. (b)Batas kontak antar komponen di penampang permukaan patahan (c) Batas kontak antar komponen pada penampang permukaan Pin yang tidak patah

Warna penampang permukaan patahan Pin lebih terang dibandingkan dengan warna di sekelilingnya (gambar 4.5.a). Perbedaan warna ini diukur dengan lebar 6 mm dari total 17 mm dan panjang 46 mm dari 110 mm, hal ini mengindikasikan penampang permukaan patahan mengalami kenaikan suhu. Berdasarkan lokasi susunannya, kenaikan suhu ini terjadi akibat gesekan penampang permukaan Pin dengan Mounting angle yang memiliki suaian sesak.

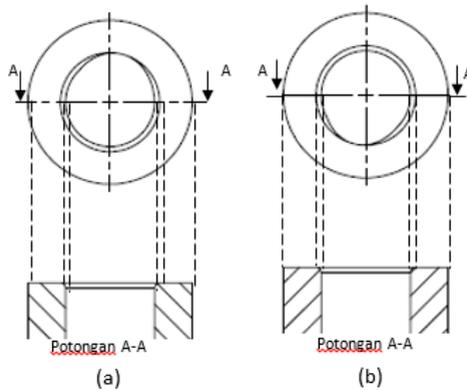
Pada penampang permukaan Pin yang patah terlihat garis yang membatasi penampang permukaan Pin kontak dengan Mounting angle dan penampang permukaan Pin kontak dengan

Bushing (gambar 4.5.b). Pada penampang permukaan Pin yang kontak dengan Bushing terjadi pengurangan atau perubahan diameter yang lebih besar (gambar 4.5.b) dibanding pengurangan penampang pada Pin tidak patah (gambar 4.5.c). Hal ini mengindikasikan bahwa pengurangan penampang pada permukaan Pin yang patah dan pin tidak patah terjadi saat Pin kontak dengan Bushing di daerah perbatasannya mengakibatkan Pin mengalami aus.

4.3.2 Lubang Bushing



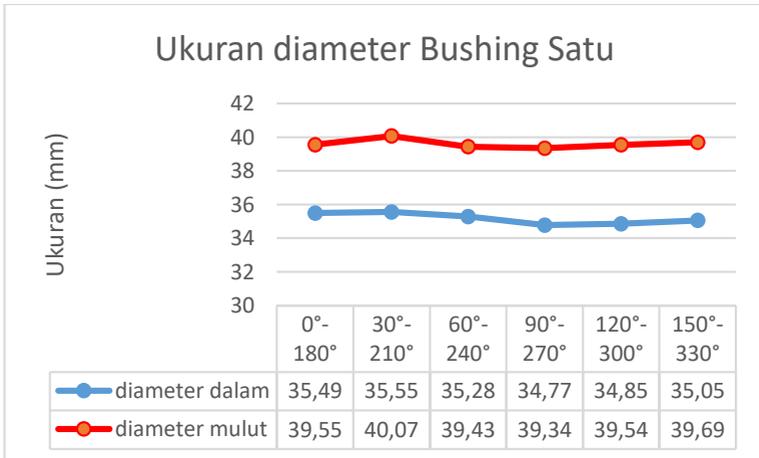
Gambar 4. 6 Diameter yang ada pada lubang Bushing, (a) Bushing Satu, (b) Bushing Dua



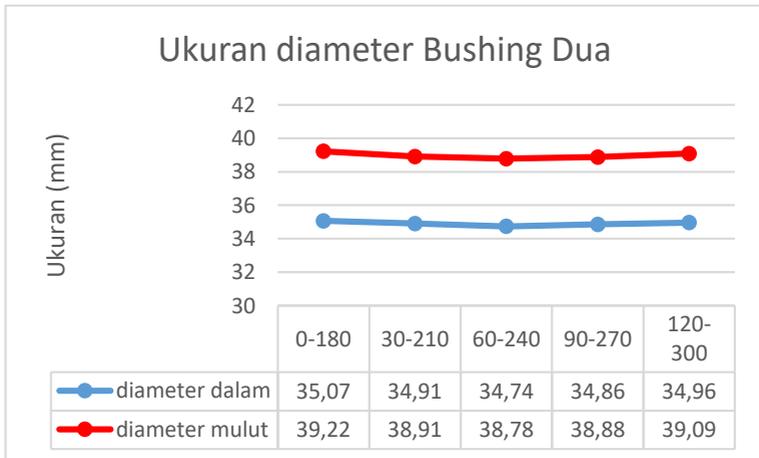
Gambar 4. 7 Sketsa diameter lubang Bushing, (a) Bushing Satu, (b) Bushing Dua

Pada gambar 4.7 terlihat bahwa Bushing memiliki tiga diameter dengan ukuran yang berbeda, yaitu diameter luar yang Bushing, diameter mulut Bushing (*counter sinking*) dan diameter dalam Busing. Pada gambar 4.8.a dilakukan penggambaran sketsa diameter Bushing Satu, terlihat bahwa pada bagian atas diameter dalam Bushing memiliki lokasi diameter yang sama dengan diameter mulut Bushing sedangkan pada gambar 4.8.b Bushing dua pada bagian bawah memiliki lokasi diameter yang sama dengan diameter mulut Bushing.

Pada gambar 4.7.a yaitu lubang Bushing Satu terlihat diameter dalam Bushing mulai berubah bentuk menjadi oval pada sudut 270° hingga 90° searah jarum jam (*clock wise*) sedangkan pada gambar 4.7.b terjadi di sudut 120° hingga 270° searah jarum jam (*clock wise*). Pengukuran dilakukan pada setiap sudut dari diameter lubang Bushing dengan menampilkan data grafik sebagai berikut:



Grafik 4. 1 Ukuran diameter Bushing Satu



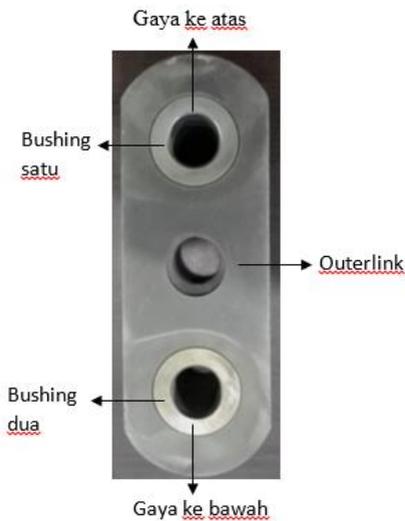
Grafik 4. 2 Ukuran diameter Bushing Dua

Dari grafik 4.2 yaitu ukuran diameter lubang Bushing Satu terjadi degradasi paling besar di sudut 30° dengan diameter dalam sebesar 35,55 mm dan diameter mulut sebesar 40,07 mm sedangkan pada grafik 4.3 yaitu ukuran diameter dalam lubang

Bushing Dua terjadi degradasi paling besar di sudut 180° dengan diameter dalam sebesar 35,07 mm dan diameter mulut sebesar 39,22 mm. Sudut-sudut pada diameter dalam Bushing mengalami perbedaan ukuran, hal ini mengindikasikan bahwa perubahan ukuran sudah terjadi saat di diameter dalam.

Perbedaan ukuran pada sudut-sudut yang ada pada diameter dalam dan diameter mulut lubang Bushing menandakan bahwa Bushing mengalami aus. Aus pada diameter dalam Bushing merupakan hal yang wajar, namun Bushing Satu dan Bushing Dua mengalami aus pada bagian yang berbeda dan hanya dilokasi diameter dalam Bushing Satu yang mengalami patah Pin.

Perbedaan lokasi atau bagian aus pada lubang Bushing Satu dan lubang Bushing Dua dapat dijelaskan dengan memahami gerak dari Chain saat beroperasi, berikut merupakan gerak atau gaya yang diterima Bushing Satu dan Bushing Dua:

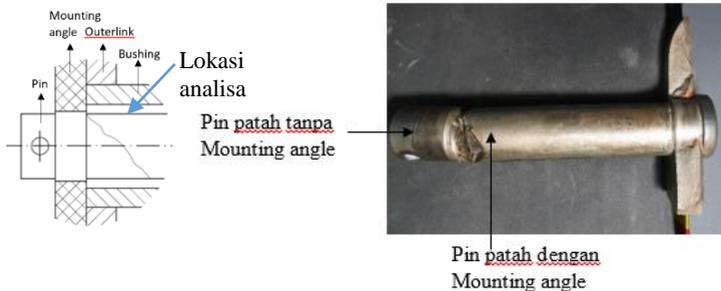


Gambar 4. 8 Satu pasang Outerlink terdiri dari Dua Bushing yang menerima gaya dengan arah berbeda

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa satu Outerlink terdiri dari dua Bushing. Bushing Satu dan Bushing Dua memiliki gaya dengan arah yang berbeda, hal ini sesuai dengan kondisi operasi atau pergerakan Chain. Saat Chain bergerak vertikal ke atas, Pin yang berada di dalam Bushing Satu menerima gaya ke atas sehingga menyentuh bagian atas dari diameter dalam Bushing, pergerakan ini mengakibatkan Pin dan diameter dalam Bushing menjadi aus. Bushing satu yang di dalamnya ada Pin menerima beban dari rim segment yang berada di bagian atas Chain bucket elevator. Chain melewati segment rim untuk mengeluarkan Clinker yang berada di dalam Bucket.

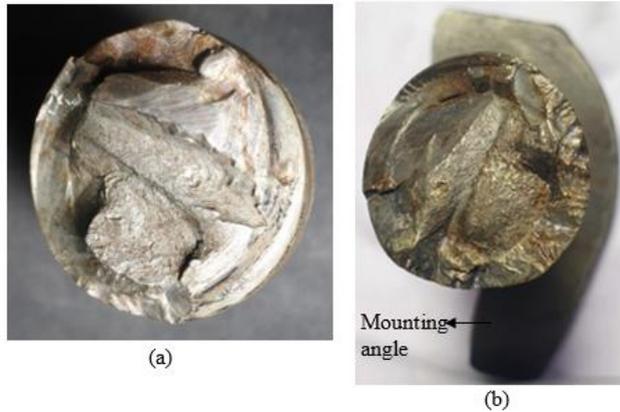
Pada Bushing dua menerima gaya ke bawah akibat Bucket yang terisi Clinker dan menerima beban dari Chain lainnya yang berada dibawahnya, sehingga Pin yang berada di dalam Bushing Dua menyentuh bagian bawah dari diameter dalam Bushing.

4.3.3 Pin Patah



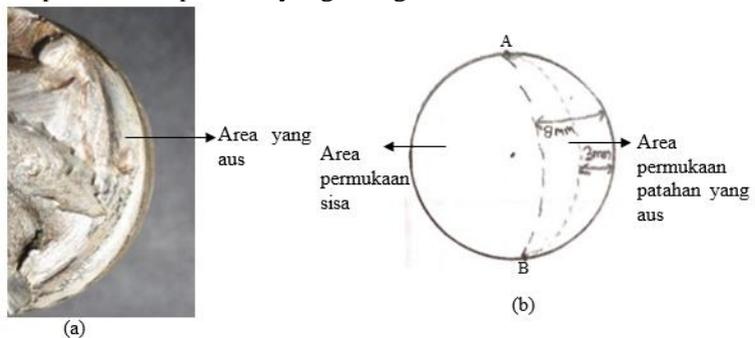
Gambar 4. 9 Patahan Pin dengan dua bagian yang besar

Pin patah menjadi dua bagian yang besar, terdapat dua permukaan patahan Pin yang dapat digunakan untuk menganalisa mekanisme patahnya Pin. Berikut merupakan gambar permukaan patahan Pin:



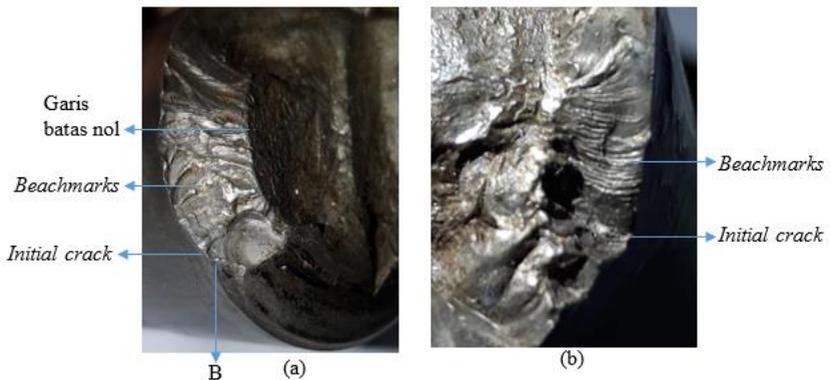
Gambar 4. 10 (a) Permukaan patahan tanpa Monting angle (b) Permukaan patahan dengan Mounting angle

Pada permukaan patahan tanpa Mounting angle (gambar 4.11.a) terlihat permukaan patahan Pin terbagi menjadi dua area, area pertama permukaan patahan dan area kedua permukaan patahan bagian yang aus. Berikut merupakan gambar perbesaran pada permukaan patahan yang mengalami aus:



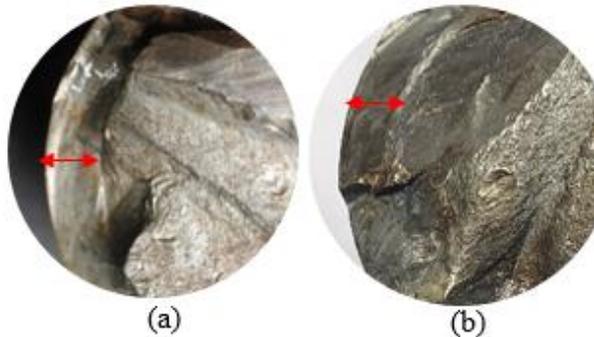
Gambar 4. 11 (a) Perbesaran pada area yang aus (b) Sketsa area yang aus

Pada permukaan patahan bagian yang aus, terlihat bahwa Pin mengalami aus di daerah yang kontak dengan diameter ujung dalam Bushing dan terbentuk dua tingkatan. Tingkatan aus pertama sepanjang 3mm dari permukaan Pin, selanjutnya pada tingkatan aus yang kedua sepanjang 8 mm dari permukaan Pin (gambar 4.12.b). Area yang mengalami aus ini membentuk tembereng atau bulan sabit, pada bagian ujung atas dan ujung bawah (A dan B) mengalami perbedaan ketinggian, perbedaan ketinggian ini menimbulkan konsentrasi tegangan.



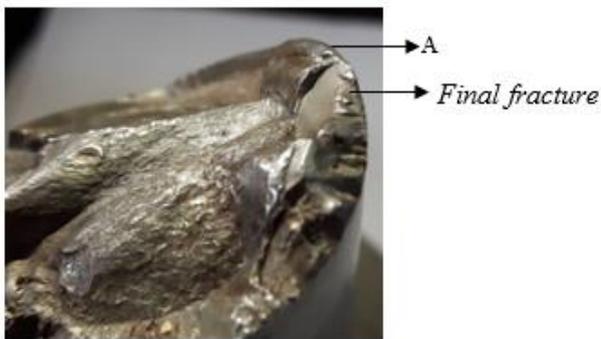
Gambar 4. 12 (a) Lokasi initial crack pada permukaan patahan tanpa Mounting angle dan (b) Lokasi initial crack pada permukaan patahan dengan Mounting angle

Tegangan yang diterima oleh area permukaan patahan menjadi lebih besar dengan luas permukaan yang kecil, sehingga hal ini dapat menentukan awal terjadinya *crack*. Berdasarkan dua bagian ujung (A dan B) tersebut, terlihat bahwa bagian ujung B merupakan lokasi yang tepat untuk awal retak (*initial crack*), hal ini dibuktikan dengan adanya *Beachmarks*, yaitu garis hasil perambatan retak yang dapat menunjukkan lokasi awal retak dan

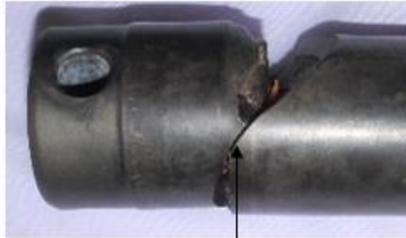


Gambar 4. 13 Perbedaan kontur pada permukaan patahan dari case ke dalam (a)permukaan patahan tanpa Mounting angle, (b)permukaan patahan dengan Mounting angle

Terdapat perbedaan kontur pada permukaan patahan, pada permukaan pin dari case ke dalam sebesar 5 mm terlihat permukaan patah getas, hal ini menandakan Pin mengalami *heat treatment*. Heat treatment yang diterima oleh Pin adalah *Induction hardening* sehingga karakter permukaan patahan Pin berbeda-beda.



Gambar 4. 14 Terdapat permukaan patahan yang runcing

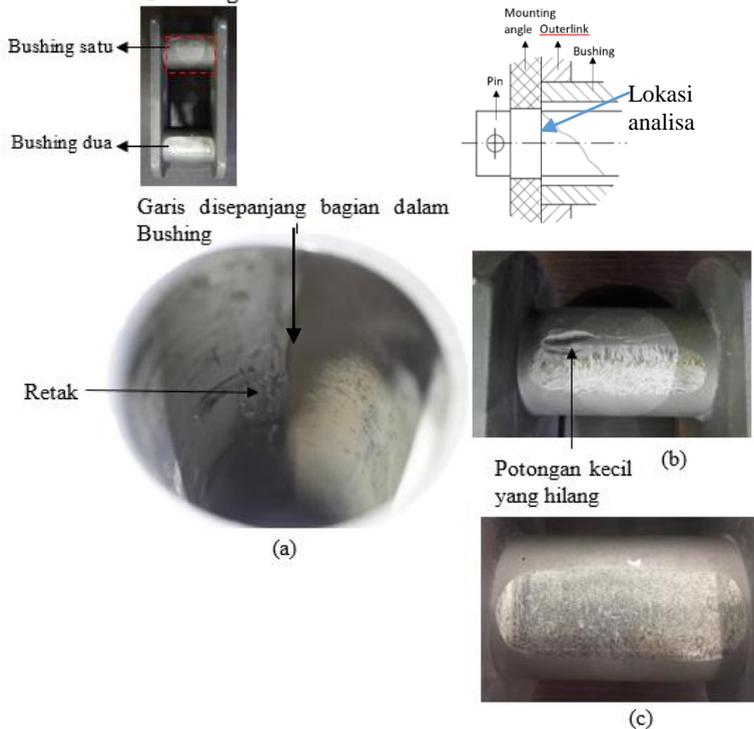


Final fracture

Gambar 4. 15 Bagian permukaan yang tersambung saat patahan Pin disatukan

Pada bagian ujung A terdapat permukaan patahan yang runcing dan tajam. Pada saat patahan Pin tanpa Mounting angle dan patahan Pin dengan Mounting angle disatukan, terlihat permukaan Pin menyatu (gambar 4.16), hal ini mengindikasikan bagian ujung B menjadi lokasi patah akhir. Tahap patah akhir (*final fracture*) terjadi ketika komponen tidak mampu lagi menahan beban yang diterima. Patahan terjadi dengan cepat dan tiba-tiba.

4.3.4 Bushing Luar Retak



Gambar 4. 16 (a) Bagian dalam Bushing terdapat retakan di dalam (b) Bagian luar Bushing satu terdapat bagian yang aus, retakan dan potongan kecil yang hilang. (c) Bushing dua

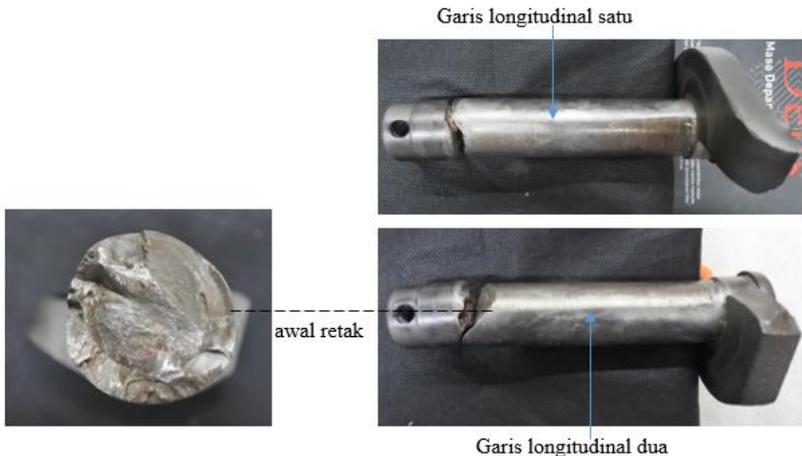
Pada bagian dalam Bushing (gambar 4.17.a) terdapat retakan yang menjalar. Berdasarkan letak retakan pada susunan Chain, Pin berada di dalam Bushing mengalami patah dekat bagian Lubang pengunci menekan bagian dalam Bushing bagian atas sehingga Bushing mengalami retak hingga ke bagian luar Bushing. Pada bagian luar Bushing (gambar 4.17.b) terdapat retakan menjalar, dan potongan kecil yang hilang. Bushing bagian luar mengalami aus akibat gesekan dengan rim segment saat Chain

mengeluarkan Clinker yang berada di dalam Bucket. Pada bagian luar Bushing dua (gambar 4.17.c) mengalami aus dan tidak ada retakan. Hal ini mengindikasikan bahwa merupakan hal yang wajar jika pada Bushing mengalami aus.

Pada bagian dalam Bushing (gambar 4.17.a) terdapat garis yang panjang. Garis ini terbentuk sesuai dengan pergerakan *Chain*. Bushing satu berada diatas Bushing dua, dimana pada Bushing satu Pin yang berada di dalamnya kontak dengan bagian atas Bushing, hal ini sesuai dengan diameter dalam Bushing yang mengalami aus pada bagian atas (gambar 4.18). Garis ini membagi daerah Bushing yang kontak dengan Pin sehingga membagi permukaan Pin menjadi aus dan tidak aus (gambar 4.18)

4.4 Lokasi Kedua

4.4.1 Patahan Pin Dengan Mounting angle



Gambar 4. 17 Dua garis longitudinal pada permukaan Pin



(a)



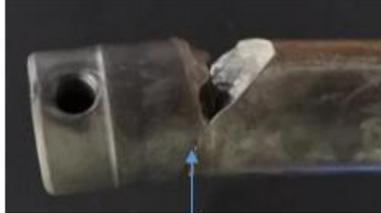
(b)

Gambar 4. 18 Permukaan Pin yang (a)tidak aus dan (b)aus

Pada permukaan Pin terdapat dua garis longitudinal (gambar 4.18). Dua garis longitudinal ini membagi daerah permukaan Pin yang terkena aus dan tidak aus (gambar 4.19). Berdasarkan susunannya daerah permukaan Pin yang mengalami aus ini mengindikasikan adanya gesekan antara Pin yang ada di dalam Bushing dengan diameter dalam Bushing. Berdasarkan letak dari dua garis longitudinal ini, sesuai dengan pergerakan Pin saat Chain beroperasi. Saat Chain beroperasi, Pin di dalam Bushing kontak dengan diameter dalam Bushing pada bagian atas sehingga Pin menerima tekanan dari luar Bushing saat melewati rim segment.

Pada gambar 4.18 dengan garis longitudinal ini dapat menentukan awal retak hingga patah akhir pada permukaan patahan Pin dengan Mounting angle. Pada saat dua patahan Pin disambungkan (gambar 4.20), terdapat sebagian patahan Pin yang tidak rata atau miring. Hal ini mengindikasikan bahwa Pin mengalami deformasi terlebih dahulu sebelum Pin mengalami

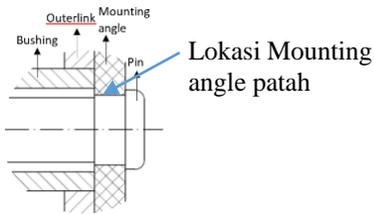
patah dan bagian yang dapat tersambung tersebut dapat diindikasikan menjadi area *final fracture*.



Area permukaan yang tersambung

Gambar 4. 19 Dua patahan Pin disambung

4.4.2 Patahan pada Mounting angle

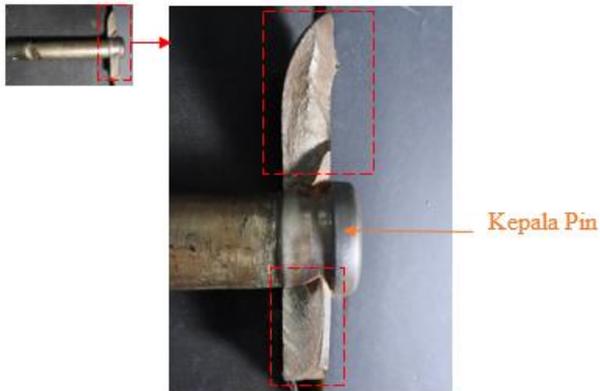


→ Patahan Mounting angle tanpa Pin

↓ Patahan Mounting angle menempel pada Pin

Gambar 4. 20 Mounting angle yang didekat kepala Pin mengalami Patah menjadi dua bagian

Patahan Mounting angle menempel pada Pin



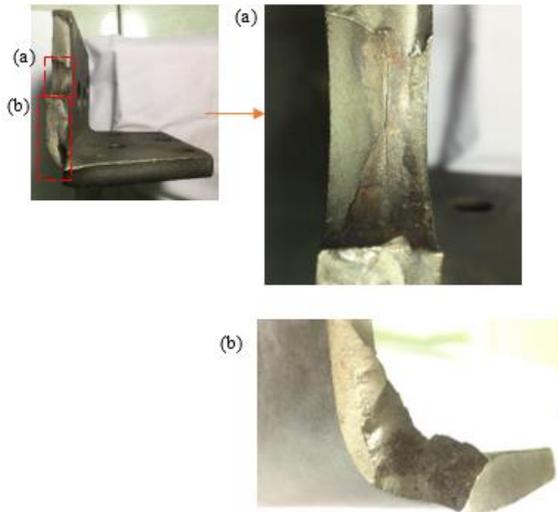
Gambar 4. 21 Patahan Mounting angle menempel pada Pin

Mounting angle mengalami patah berada di dekat kepala Pin (gambar 4.21), hal ini menandakan Mounting angle berada di posisi yang bersebrangan dengan Pin yang mengalami patah. Pin yang mengalami patah berada di dekat Lubang pengunci Pin.

Patahan pada Mounting angle memiliki permukaan yang rata dan mengkilap (gambar 4.22), hal ini mengindikasikan bahwa Mounting angle mengalami patah getas dan diakhir setelah Pin mengalami patah.

Beban yang diterima oleh Mounting angle menjadi lebih besar / tidak terdistribusi merata, akibat beban dari Bucket yang terisi Clinker mengarah kebawah karena gravitasi dan beban dari segment rim yang melawan gravitasi/ keatas.

Patahan Mounting angle tanpa Pin



Gambar 4. 22 (a) Perbesaran patahan pada Lubang Mounting angle. (b) Perbesaran patahan Mounting angle bagian bawah

Permukaan patahan Mounting angle tanpa Pin sama dengan permukaan patahan Mounting angle menempel Pin. Patahan Mounting angle tanpa Pin memiliki kontur permukaan yang sama. Pada gambar 4.23.a terdapat perbedaan warna yang berbeda dengan permukaan lainnya. Warna kecoklatan ini timbul pada lubang Mounting angle. Lubang Mounting angle ini memiliki suaian sesak dengan Pin. Perbedaan warna ini mengindikasikan adanya kenaikan suhu akibat gesekan antara Pin dengan lubang Mounting angle.

Pada gambar 4.23.b terlihat permukaan patahan Mounting angle yang tajam dan runcing. Mounting angle mengalami patah getas akibat tidak mampu menahan beban ketika Pin mengalami patah terlebih dahulu pada sisi sebrangnya.

4.5 Rangkuman Analisa

Chain bucket elevator mengalami patah pada dua komponen yaitu Pin dan *Mounting angle*. Lepasnya rangkaian Chain, bisa dimulai dari Pin yang patah atau *Mounting angle* yang patah. Berdasarkan analisa yang dilakukan pada komponen-komponen yang ada di Chain, terlihat dari permukaan patahan *Mounting angle* memiliki permukaan patahan yang getas dan tajam, hal ini membuktikan bahwa *Mounting angle* mengalami patah akhir. Patah akhir ini terjadi akibat penampang *Mounting angle* tidak mampu menahan beban dari *Bucket* terisi Clinker dan beban dari rim segment.

Patah yang pertama ditunjukkan dengan permukaan patahan yang mengalami patah perlahan-lahan. Pada permukaan patahan Pin terlihat bahwa Pin mengalami proses sebelum patah, proses ini terjadi secara perlahan-lahan. Hal ini terlihat dari Pin mengalami pengurangan diameter dari permukaan hingga kedalaman 8mm akibat aus yang bergesekan dengan diameter mulut *Bushing*, selanjutnya terlihat permukaan Pin mengalami tahapan patah *Fatigue*, yaitu terdapat awal retak, perambatan retak serta patah akhir.

Aus mengalami dua tahap, tahap pertama terlihat Pin mengalami aus dengan kedalaman tertentu (gambar 4.5 di sub bab 4.3.1), hal ini merupakan aus yang wajar dikarenakan adanya celah antara Pin dengan diameter mulut *Bushing*. Seiring dengan berjalannya waktu, aus pada Pin bertambah besar, sehingga memungkinkan partikel *Clinker* masuk di celah antara Pin dengan mulut *Bushing*.

Tahap kedua, pada tahap ini aus semakin cepat terjadi. Saat Chain membawa Clinker melewati rim segment (proses *discharge*) kemungkinan dengan adanya partikel Clinker yang masuk di celah Pin dengan mulut *Bushing* mengakibatkan Pin dan *Bushing* tergerus oleh partikel Clinker. Aus semakin masuk / meluas ke pusat Pin (gambar 4.12 di sub bab 4.3.3)

Awal retak pada Pin ada dua, yang pertama awal retak dilihat dari permukaan patahan Pin, di salah satu ujung aus yang

berbentuk bulan sabit / tembereng (gambar 4.12 di sub bab 4.3.3) terjadi akibat konsentrasi tegangan. Retak mengarah ke pusat penampang Pin sambil Pin berputar saat kondisi Chain melewati rim segment. Ujung retak menghantam *inner surface* dari Bushing (gambar 4.15 di sub bab 4.3.3). Saat Pin berputar, bagian retak terlepas. Bagian retak yang terlepas tersebut menggerus badan Pin itu sendiri sehingga menimbulkan serpihan-serpihan Pin.

Awal retak kedua saat retakan menuju pusat tetapi terhenti dibatas nol *induction hardening* (gambar 4.13.a di sub bab 4.3.3) 5 mm dari *surface*. Retak menuju pusat penampang Pin (gambar 4.21 garis longitudinal). Penjalaran retak tertahan dan merambat sesuai dengan alur batas nolnya membentuk melingkar. Rambatan ini membentuk inti-inti retak yang menjalar ke arah luar menjauh pusat inti. Arah retakan membutuhkan energi lebih kecil dibanding merambat menuju pusat. Hal ini disebabkan sifat material dua daerah tersebut berbeda (gambar 4.14 di sub bab 4.3.3) pada bagian *case* lebih keras dibanding bagian dalam, sementara bagian dalam ulet dan semakin ulet.

Perambatan retak dengan energi yang besar berada disekitar sumber/awal retak, ditunjukkan dengan jarak beachmark yang rapat (gambar 4.13 di sub bab 4.3.3). Semakin menjauh dari awal retak, jarak antar beachmarks semakin besar. Daerah antar beachmarks yang tidak rata menunjukkan bahwa daerah tersebut relatif tidak ulet dan energi di perambatan tersebut menurun (semakin kecil). Arah beachmark dari dalam menuju luar mengikuti arah putaran Chain, hal ini menunjukkan bahwa proses Pin retak hingga patah terjadi saat Pin melewati rim segment dengan gerakan memutar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yaitu:

- Permukaan patahan Pin menunjukkan Pin mengalami patah *Fatigue*.
- Pin mengalami patah dimulai dari permukaan Pin yang mengalami aus. Aus pada pin membentuk tembereng atau bulan sabit. Ujung perbatasan antara area yang terkena aus dan tidak aus menjadi konsentrasi tegangan sehingga menjadi awal retak Pin yang menuju pusat Pin.
- Saat Pin melewati rim segment, ujung retak Pin menghantam *inner surface* Bushing sehingga patahan Pin menggerus Pin itu sendiri, hal ini dikarenakan keberadaan Pin yang di dalam Bushing.
- Retakan dari *case* ke dalam Pin tertahan di batas nolnya dikarenakan Pin memiliki sifat material dua daerah yang berbeda dan membentuk lingkaran sehingga menjadi inti-inti retak (*multiple initial*)
- Arah beachmark dari dalam menuju luar mengikuti arah putaran Chain, hal ini menunjukkan bahwa proses Pin retak hingga patah terjadi saat Pin melewati rim segment dengan gerakan memutar.

5.2 Saran

Saran-saran yang diberikan untuk peneliti lebih lanjut, perlu dilakukan:

- Analisa gaya pada Pin dan komponen-komponen yang berkaitan. Analisa gaya dilakukan untuk mengetahui dimana posisi Chain saat Pin patah.
- Melakukan uji kekerasan dan komposisi kimia pada Pin dan Bushing.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR PUSTAKA

1. National Aeronautics And Space Administration. 2000. *Reliability Centered Maintenance Guide For Facilities And Collateral Equipment*.
2. R. Books Charlie, Choudhury Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York, Amerika: Mcgraw-Hill.
3. Mazur Z, Luna-Ramirez A, Juarez-Islas JA, Campos-Amezcuca A. 2005. *Failure Analysis of A Gas Turbine Blade Made Of Incoonel 738LC Alloy*. Eng Fail Anal: 12:474-86
4. William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch.–8th Ed. 2009. *Materials Science And Engineering*. America: John Willey & Sons
5. Schijve, Jaap. 2009. *Fatigue of Structures And Materials*. Netherlands
6. M. A. Maleque and M. S. Salit. *Materials Selection And Design, Springerbriefs In Materials*,
7. M A Meyers and Kk Chawla. *Mechanical Behaviour Of Materials 1st Edition*
8. M A Meyers and Kk Chawla. *Mechanical Behaviour Of Materials 2nd Edition*
9. Soeharto, Dr. Ir, 1999. *Diktat Kuliah: Mekanika Patahan*. Surabaya: Teknik Mesin FTI-ITS
10. Ir. Ny. Sriatie Djaprie M.E, M.Met. Edisi Ketiga, 1992. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
11. R. B Waterhouse (Ed). 1981. *Fretting Fatigue*. Great Britain: Elsevier Applied Science Publishers, Essex
12. Prof Ir. Tata Sudira M.S Met. E. Prof. Dr. Shinroku Saito. *Pengetahuan Bahan Teknik* Jakarta
13. Alfred, Zmitrowicz. *Wear Patterns And Laws Of Wear*. Institute Of Fluid-Flow Machinery, Polish Academy Of Sciences, Gdańsk,

14. 2010. *BEUMER Maschinenfabrik GmbH & Co. KG: Manual book Chain Bucket Elevator*. Germany: Beckum
15. Perez, Nestor. 2004. *Mathematics And Its Applications*. Kluwer Academic Publishers
16. ASM Metals Handbook, Vol 11 *Failure Analysis And Prevention*
17. Deutchman, Aaron D. 1975. *Machine Design Theory And Practice*. London: Macmillan Publishing Co.Inc.
18. Bhushan, Bharat. 1999. *Principles And Applications Of Tribology*. John Willey & Sons Inc.
19. Smith, W. F. 1993. *Structure And Properties Of Engineering Alloys, 2nd*. McGraw Hill
20. Ir.Ohan Juhana, M. Suratman S.Pd. *Menggambar Teknik Mesin Dengan Standar Iso*. Bandung: Pustaka Grafika
21. Avner. 1974. *Introduction To Physical Metallurgy Second Edition*: Newyork: McGraw-Hill
22. B. Anderson and T. Fagerhaug, *Root Cause Analysis: Simplified Tools and Techniques*, ASQ Quality Press, 2000, p 7, 125
23. P.F. Wilson, L.D. Dell and G.F. Anderson, *Root Cause Analysis: A Tool for Total Quality Management*, ASQ Quality Press, 1993
24. Jagtap M. D., Gaikwad B. D. , and Pawar P. M, *Study of Roller Conveyor Chain Strip under Tensile Loading*, International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER), vol. 4, no. 5, pp. 61–66, 2014.
25. Carlsson, P. 2005. *Surface engineering in sheet metal forming*. Digital comprehensive summaries of Uppsala dissertations from the faculty of science and technology 7, Uppsala Universitet, Uppsala, Sweden.
26. Lindvall, F.W. 2007. *Development of test method for measuring galling resistance*. Master thesis, Karlstads Universitet, Sweden.
27. Stachowiak, G.W. and A.W. Batchelor. 2000, *Engineering Tribology 2nd Ed.*, Butterworth-Heinemann.

28. Farzaneh, Nader. 2002. *Failure Analysis and Design of a Heavily Loaded Pin Joint*. Massachusetts Institute of Technology.
29. A. Spivakovsky and V. Dyachkov, *Conveyors and Related Equipment*, Peace Publishers, Moscow
30. Dylan Moore. *Cement Kilns: Clinker Thermochemistry*. cementkilns.co.uk.
31. M. Melander, Theoretical and Experimental Study of Stationary and Progressive Induction Hardening, *J. Heat Treat.*, Vol 5, 1985, p 145-166
32. Bharat, Bhushan & Gupta, B.K. 1991. *Handbook of Tribology Materials, coatings, and Surface Treatments*. New York: Mc. Graw Hill.
33. An Investigation into the Mechanisms of Closed Three Body Abrasive Wear R.S. Dwyer-Joyce, R.S. Sayles, & E. Ioannides† Tribology Section, Imperial College, Exhibition Road, London SW7 2BX.
34. Burwell, J. T., (1957), "Survey of Possible Wear Mechanisms", *Wear*, Elsevier, Vol. 1, pp. 119-141.
35. (Tribology in practice series) Gwidon W. Stachowiak - *Wear--materials, mechanisms and practice*-Wiley (2005)
36. Intan Andhini Puspita Sari, Dr.Ir. Pramusanto.,Ir. Sriwidayati, M.T, *Clinker Analysis Based On Lime Saturation Factor (LSF), Silica Modulus (SM) and Modulus Alumina (AM) To Maintain Quality Product In PT Cemindo Gemilang Country Darmasari District Bayah Regency Of Lebak Banten Province, Bandung 40116*
37. Siegbert Sprung "Cement" in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 2012 Wiley-VCH, Weinheim.
38. *ASM Metals Handbook*, Vol 04_Heat Treating
39. M. N. Setia Nusa, *Cause Of Pin Bolt Failure Is Fatigue Fracture*, *Peneliti Bidang Pengujian Material*, Balai Besar Teknologi Kekuatan dan Struktur-BPP Teknologi
40. S.G. Sapate , *Metallurgical investigation of failure of coal mill drag chain pin*. Department of Metallurgical and

- Materials Engineering, Visvesvaraya National Institute of Technology (VNIT), South Ambazari Road, Nagpur 440011, Maharashtra, India
41. Xianyan Zhou a, Zhili Hua, Xunpeng Qin a, Yijun Tao b, Lin Hua a, Study on the stress characteristic and fatigue life of the shredder pin, Hubei Key Laboratory of Advanced Technology for Automotive Components, Wuhan University of Technology, PR China
 42. National Aeronautics And Space Administration. 2000. *Reliability Centered Maintenance Guide For Facilities And Collateral Equipment*.
 43. R. Books Charlie, Choudhury Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York, Amerika: McGraw-Hill.
 44. Mazur Z, Luna-Ramirez A, Juarez-Islas JA, Campos-Amezcuca A. 2005. *Failure Analysis of A Gas Turbine Blade Made Of Inconel 738LC Alloy*. Eng Fail Anal: 12:474-86
 45. William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch.—8th Ed. 2009. *Materials Science And Engineering*. America: John Willey & Sons
 46. Schijve, Jaap. 2009. *Fatigue of Structures And Materials*. Netherlands
 47. M. A. Maleque and M. S. Salit. *Materials Selection And Design, Springerbriefs In Materials*,
 48. M A Meyers and Kk Chawla. *Mechanical Behaviour Of Materials 1st Edition*
 49. M A Meyers and Kk Chawla. *Mechanical Behaviour Of Materials 2nd Edition*
 50. Soeharto, Dr. Ir, 1999. *Diktat Kuliah: Mekanika Patahan*. Surabaya: Teknik Mesin FTI-ITS
 51. Ir. Ny. Sriatie Djaprie M.E, M.Met. Edisi Ketiga, 1992. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
 52. R. B Waterhouse (Ed). 1981. *Fretting Fatigue*. Great Britain: Elsevier Applied Science Publishers, Essex

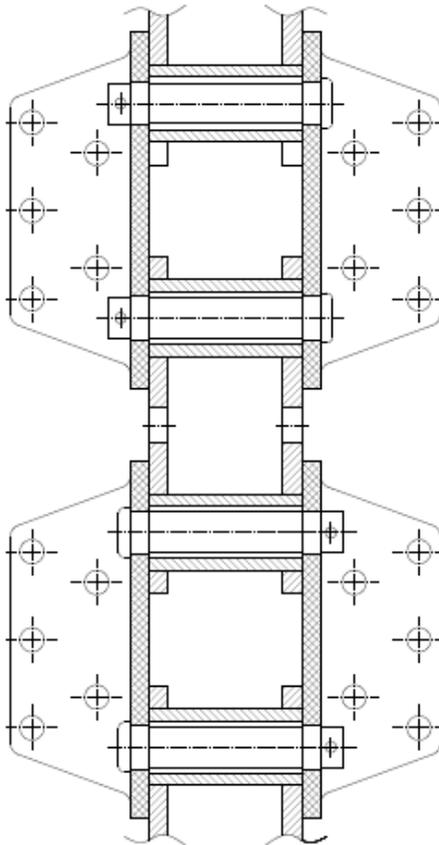
53. Prof Ir. Tata Sudira M.S Met. E. Prof. Dr. Shinroku Saito. *Pengetahuan Bahan Teknik* Jakarta
54. Alfred, Zmitrowicz. *Wear Patterns And Laws Of Wear*. Institute Of Fluid-Flow Machinery, Polish Academy Of Sciences, Gdańsk,
55. 2010. *BEUMER Maschinenfabrik GmbH & Co. KG: Manual book Chain Bucket Elevator*. Germany: Beckum
56. Perez, Nestor. 2004. *Mathematics And Its Applications*. Kluwer Academic Publishers
57. ASM Metals Handbook, Vol 11 *Failure Analysis And Prevention*
58. Deutchman, Aaron D. 1975. *Machine Design Theory And Practice*. London: Macmillan Publishing Co.Inc.
59. Bhushan, Bharat. 1999. *Principles And Applications Of Tribology*. John Willey & Sons Inc.
60. Smith, W. F. 1993. *Structure And Properties Of Engineering Alloys, 2nd*. Mcgraw Hill
61. Ir.Ohan Juhana, M. Suratman S.Pd. *Menggambar Teknik Mesin Dengan Standar Iso*. Bandung: Pustaka Grafika
62. Avner. 1974. *Introduction To Physical Metallurgy Second Edition*: Newyork: Mcgraw-Hill
63. B. Anderson and T. Fagerhaug, *Root Cause Analysis: Simplified Tools and Techniques*, ASQ Quality Press, 2000, p 7, 125
64. P.F. Wilson, L.D. Dell and G.F. Anderson, *Root Cause Analysis: A Tool for Total Quality Management*, ASQ Quality Press, 1993
65. Jagtap M. D., Gaikwad B. D. , and Pawar P. M, *Study of Roller Conveyor Chain Strip under Tensile Loading*, International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER), vol. 4, no. 5, pp. 61–66, 2014.
66. Carlsson, P. 2005. *Surface engineering in sheet metal forming*. Digital comprehensive summaries of Uppsala dissertations from the faculty of science and technology 7, Uppsala Universitet, Uppsala, Sweden.

67. Lindvall, F.W. 2007. *Development of test method for measuring galling resistance*. Master thesis, Karlstads Universitet, Sweden.
68. Stachowiak, G.W. and A.W. Batchelor. 2000, *Engineering Tribology 2nd Ed.*, Butterworth-Heinemann.
69. Farzaneh, Nader. 2002. *Failure Analysis and Design of a Heavily Loaded Pin Joint*. Massachusetts Institute of Technology.
70. A. Spivakovsky and V. Dyachkov, *Conveyors and Related Equipment*, Peace Publishers, Moscow
71. Dylan Moore. *Cement Kilns: Clinker Thermochemistry*, cementkilns.co.uk.
72. M. Melander, Theoretical and Experimental Study of Stationary and Progressive Induction Hardening, *J. Heat Treat.*, Vol 5, 1985, p 145-166
73. Bharat, Bhushan & Gupta, B.K. 1991. *Handbook of Tribology Materials, coatings, and Surface Treatments*. New York: Mc. Graw Hill.
74. An Investigation into the Mechanisms of Closed Three Body Abrasive Wear R.S. Dwyer-Joyce, R.S. Sayles, & E. Ioannides† Tribology Section, Imperial College, Exhibition Road, London SW7 2BX.
75. Burwell, J. T., (1957), "Survey of Possible Wear Mechanisms", *Wear*, Elsevier, Vol. 1, pp. 119-141.
76. (Tribology in practice series) Gwidon W. Stachowiak - *Wear--materials, mechanisms and practice*-Wiley (2005)

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

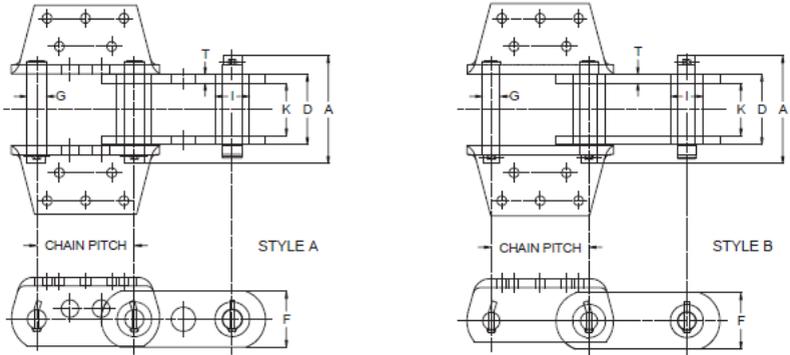
LAMPIRAN

Lampiran 1 Sketsa Chain



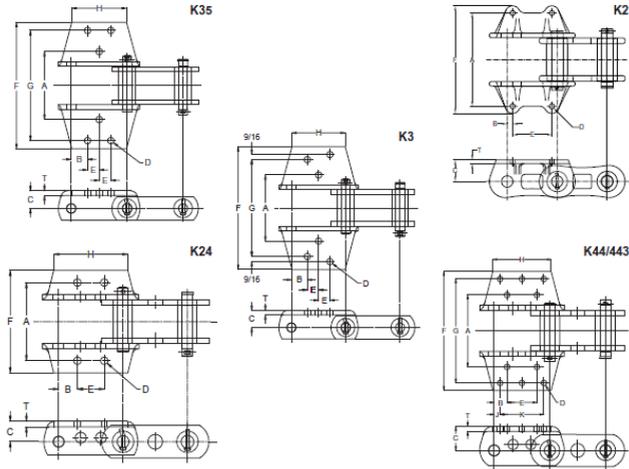
Lampiran 2

Katalog Chain ER-984



Centrifugal Elevator Chain Dimensions													
Chain Number	Pitch	Style	A	K	T	Sidebars		Pins		Bushings			SPROCKET NUMBER
						F	HEAT TREAT	G	HEAT TREAT	D	I	HEAT TREAT	
ER856	6.00	B	6.44	3.00	0.50	2.50	TH	1.00	CIH	4.00	1.75	CARB	856
	152		164	76.2	12.7	63.5		25.4		102	44.5		
ER956	6.00	A	6.44	3.00	0.50	3.00	TH	1.00	CIH	4.00	1.75	CARB	856
	152		164	76.2	12.7	76.2		25.4		102	44.5		
ER857	6.00	B	6.44	3.00	0.50	3.25	TH	1.00	CIH	4.00	1.75	CARB	856
	152		164	76.2	12.7	83.6		25.4		102	44.5		
ER958	6.00	A	6.44	3.00	0.56	3.25	TH	1.13	CIH	4.13	2.00	CARB	958
	152		164	76.2	14.2	83.6		28.6		105	50.8		
ER859	6.00	B	7.74	3.75	0.62	4.00	TH	1.25	CIH	5.00	2.38	CARB	859
	152		197	95.3	15.7	102		31.8		127	60.5		
ER864	7.00	B	7.74	3.75	0.62	4.00	TH	1.25	CIH	5.00	2.38	CARB	864
	178		197	95.3	15.7	102		31.8		127	60.5		
ER984	7.00	A	7.74	3.75	0.62	4.00	TH	1.38	CIH	5.00	2.50	CARB	984
	178		197	95.3	15.7	102		34.9		127	63.5		
ER1084	7.00	C	8.60	4.43	0.75	4.50	TH	1.62	CIH	6.00	2.85	CARB	1084
	178		218	113	19	114		4.1		152	72.4		

Consult with Raymond engineering for elevator chain selection and application.
 TH: Thru-hardened CIH: Circumferential Induction Hardened after thru-hardening CARB: Carburized
 Dimensions shown are in inches. Rad dimensions are millimeters
 Dimensions are subject to change. Certified drawings are available upon request.



Centrifugal Elevator Chain Attachments													
Chain Number	Attachment Style	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	T	Weight*
ER856	K24	7.25	1.75	1.88	0.69	2.50	9.38		6.91			0.50	27.5
		184	44.5	47.8	17.5	63.5	238		176			13	40.9
ER956	K24	7.25	1.75	1.88	0.69	2.50	9.38		6.91			0.50	29
		184	44.5	47.8	17.5	63.5	241		176			13	43.2
ER857	K44	7.00	1.25	2.50	0.56	3.50	14.00	12.00	5.50	1.25	3.50	0.50	38
		178	32	64	14	89	356	305	140	31.8	88.9	12.7	56.5
ER859	K44	9.00	1.62	3.00	0.69	2.75	15.00	13.00	5.92	0.75	4.50	0.62	59
		229	41.1	76.2	17.5	69.9	381	330	150	19.1	114	15.7	87.8
ER958	K44	7.00	1.25	2.50	0.56	3.50	13.68	12.00	5.75	1.25	3.50	0.50	40
		178	31.8	63.5	14.2	88.9	347	305	146	31.8	88.9	12.7	59.5
ER864	K443	9.00	1.62	3.00	0.69	3.75	15.00	13.00	7.00	0.75	5.50	0.62	55
		229	41.1	76.2	17.5	95.3	381	330	178	19.1	140	15.7	81.8
ER984	K443	9.00	1.62	3.00	0.69	3.75	14.88	13.00	7.32	0.75	5.50	0.62	58
		229	41.1	76.2	17.5	95.3	378	330	178	19.1	140	15.7	86.3
ER1084	K2	13.00	0.75	3.00	0.69	5.50	15.00					0.50	51.5
		330	19.1	76.2	17.5	139.7	381					12.7	76.7
ER856	K3	6.56	1.63	1.88	0.50	1.38	13.56	10.94	4.25			0.50	26.9
		167	41.4	47.8	12.7	35.1	344	278	108			13	40
ER856	K35	7.25	1.75	1.88	0.69	1.25	13.50	11.75	5.88			0.50	26.9
		184	44.5	47.8	17.5	31.8	343	298	149			13	40

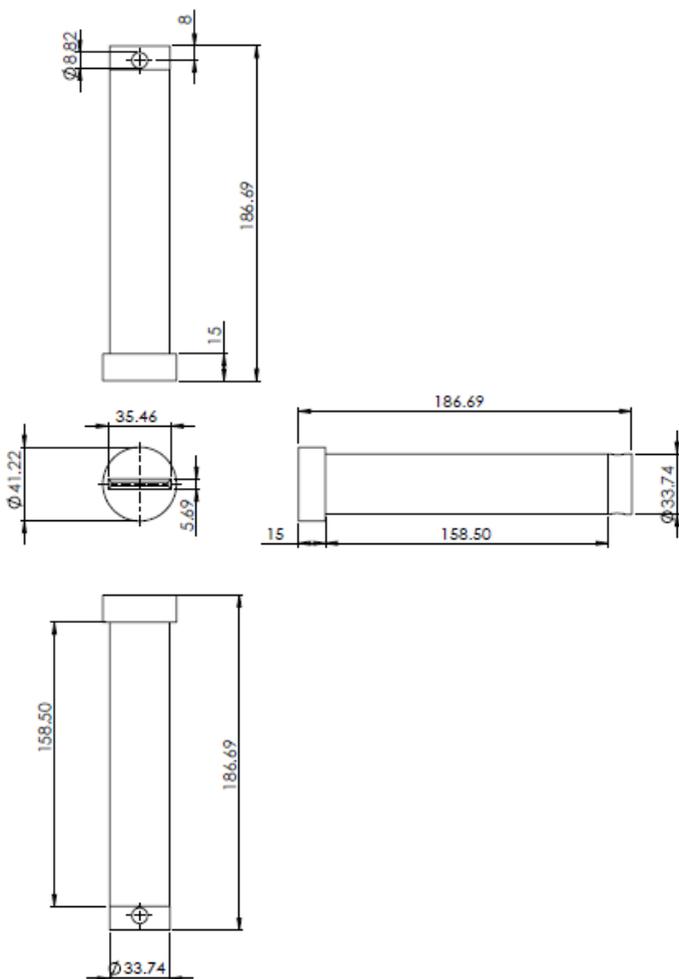
Consult with Rexnord engineering for elevator chain selection and application.

TH: Thru-hardened CIP: Circumferential Induction Hardened after thru-hardening CARB: Carburized

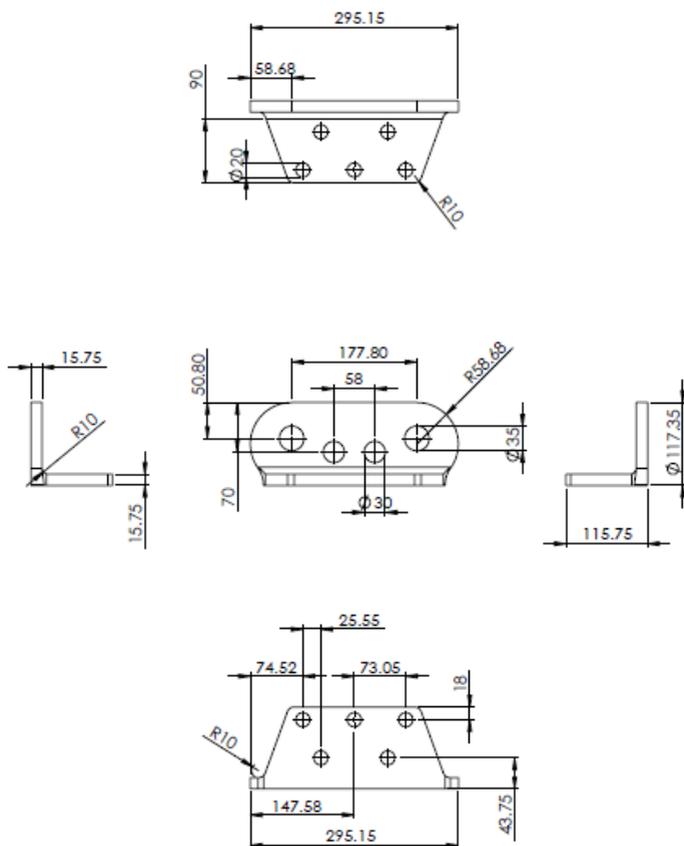
Dimensions shown are in inches. Rod dimensions are millimeters

Dimensions are subject to change. Certified drawings are available upon request.

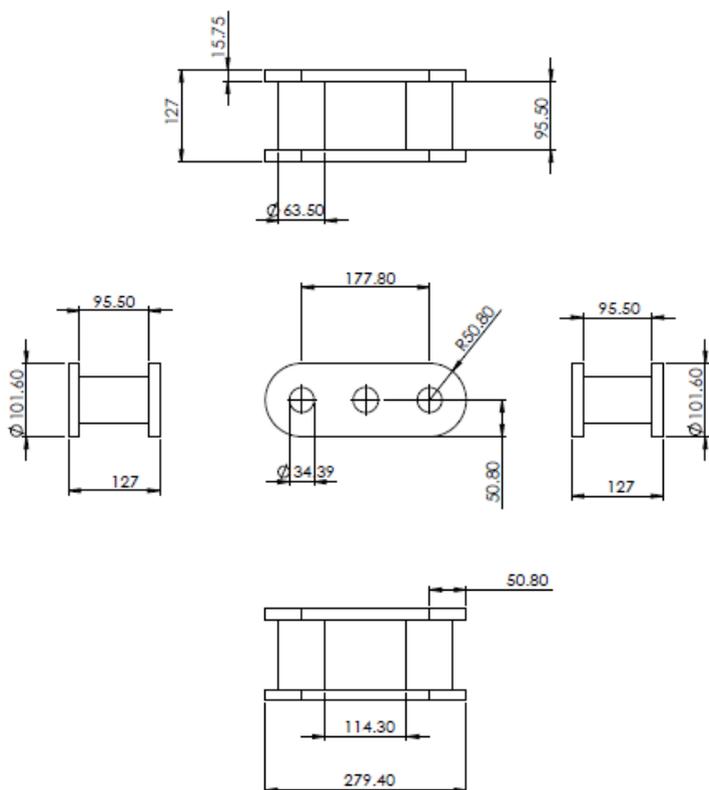
Lampiran 3 Desain Perkomponen (Pin)



Lampiran 4
Desain Perkomponen (Mounting ang;e)



Lampiran 5
Desain Perkomponen (Bushing)



Lampiran 6



www.rexnord.com
customerservice@rexnord.com

**Chain Material Certificate
ER984-K443**

Pins:

Medium carbon alloy steel, through hardened to a typical hardness of Rc 42, then circumferentially induction hardened to a typical hardness of Rc 60. Typical case depth is 5 mm (.19 inches).

Bushings:

Low carbon alloy steel that is carburized case hardened to a typical surface hardness of Rc 60. The typical case depth is 3.2 mm (.12 inches).

Sidebars:

Medium carbon steel that is through hardened to a typical hardness level of 310 BHN.

The Rated Working Load of ER984 (at 3500 p.s.i.) is 107 kN (24,000 pounds). The Average Ultimate strength 1,112 kN (250,000 pounds).

Very Best Regards,

A handwritten signature in black ink that reads "Ken Kitten".

Ken Kitten, P.E.
Sr. Application Engineer
Rexnord Conveying Equipment
414-643-2273
Ken.Kitten@Rexnord.com

Lampiran 7

Plant Tuban 4 Mor										
	Mill Product	Clinker Feed	Gypsum Feed	Trass Material	Additive Feed	Fly Ash Feed	Mill Feed - Reject	Mill Motor Run Hours	Grinding Run Hours	Mill Motor Powers
Unit	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	hour	hour	kWh
Date										
1-Sep-18	5.388	3.427	141	436	1.287	4	226	24	24	16.659
2-Sep-18	5.501	3.716	148	397	1.143	4	232	24	24	16.697
3-Sep-18	5.531	4.038	166	337	893	4	233	24	24	16.737
4-Sep-18	5.398	3.586	170	396	1.151	4	227	24	24	16.777
5-Sep-18	5.278	3.424	147	418	1.190	4	222	23	22	15.813
6-Sep-18	6.159	4.019	213	480	1.338	4	253	24	24	16.855
7-Sep-18	5.634	3.675	174	470	1.208	4	238	23	23	15.898
8-Sep-18	5.976	3.863	187	486	1.333	4	252	24	24	16.942
9-Sep-18	6.017	3.904	177	488	1.341	4	254	24	24	16.991
10-Sep-18	6.025	3.882	169	489	1.377	4	254	24	24	16.042
11-Sep-18	6.010	3.859	167	486	1.391	4	253	24	24	16.093
12-Sep-18	5.931	3.778	153	504	1.388	4	249	24	24	16.143
13-Sep-18	5.972	3.680	144	604	1.436	4	251	24	24	16.191
14-Sep-18	5.721	3.540	155	575	1.343	4	240	23	23	16.206
15-Sep-18	5.822	3.641	191	587	1.295	4	245	24	24	16.280
16-Sep-18	6.008	3.750	205	605	1.340	4	253	24	24	16.325
17-Sep-18	5.824	3.652	227	569	1.268	4	246	24	24	16.371
18-Sep-18	5.897	3.647	234	596	1.311	4	248	24	23	16.416
19-Sep-18	5.761	3.575	230	575	1.274	4	241	23	23	16.461
20-Sep-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.591
21-Sep-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.173
22-Sep-18	5.803	3.621	234	528	1.336	4	243	24	23	16.503
23-Sep-18	5.993	3.775	241	550	1.343	3	253	24	24	16.547
24-Sep-18	5.976	3.765	241	544	1.342	3	252	24	24	16.589
25-Sep-18	5.980	3.791	243	506	1.355	3	251	24	24	16.630
26-Sep-18	5.975	3.895	241	301	1.440	4	252	24	24	16.673
27-Sep-18	5.973	3.871	256	304	1.434	4	251	24	24	16.716
28-Sep-18	5.826	3.769	256	296	1.398	4	245	24	23	16.761
29-Sep-18	5.810	3.770	250	291	1.391	4	244	23	23	16.803
30-Sep-18	5.889	3.923	249	190	1.420	4	248	24	24	16.846
Maximum	6.159	4.038	256	605	1.440	4	254	24	24	16.846
Average	5.438	3.495	187	434	1.225	4	229	22	22	15.424
Minimum	17	0	0	0	0	0	0	0	0	2.173
Accum.	163.129	104.850	5.611	13.006	36.765	121	6.956	666	665	462.725

Lampiran 7

Technische Daten / Technical Data	
Förderleistung Conveying capacity	: 333 m ³ /h 400 t/h
Fördergut Material conveyed	: Clinker+Reject
Materialkörnung Grain size	: max. 50 mm
Schüttgewicht Bulk density	: 1,2 t/m ³
Materialtemperatur Material temperature	: 110 °C
Materialfeuchte Moisture of material	: 5 %
Antriebsleistung Pa/Pm Drive power Pa/Pm (100%)	: 76,7/90 kW
Fördergeschwindigkeit Conveying speed	: 1,62 m/s
Gesamtlast / Total Load	
$F_v = (\text{Eigengewicht} + \text{Fördergut}) \times f$ $F_v = (\text{net weight} + \text{material conveyed}) \times f$	= 615 kN
F_h im Bereich des Kopfes in the head area	
= in Förderrichtung in conveying direction	= 9 kN
= quer zur Förderrichtung at right angles to conveying direction	= 4 kN
Faktor f für dynamische Belastung bei: Factor f for dynamic load for:	
Gurtbecherwerk Belt bucket elevator	f = 1,2
Kettenbecherwerk Chain bucket elevator	f = 1,3
Zentralkettenbecherwerk Central chain bucket elevator	f = 1,5

Lampiran 8

Requirements on the place of installation

Designation	Data
Installation height	< 1,000 m
Ambient temperature	+20 °C to +40 °C

Electrical energy

Designation	Data
Rated voltage for the system	3/N/PE AC 380 V 50 Hz
Rated voltage for electromechanic transmitters	AC 220 V
Rated voltage for electronic transmitters	DC 24 V
Permissible voltage fluctuation	± 10 %

Material/items transported

Designation	Data
Material/items transported	Clinker
Density of the material transported	1.20 t/m ³
Grain size	max. 50 mm
Material temperature	max. 110 °C
Moisture of material	5 %

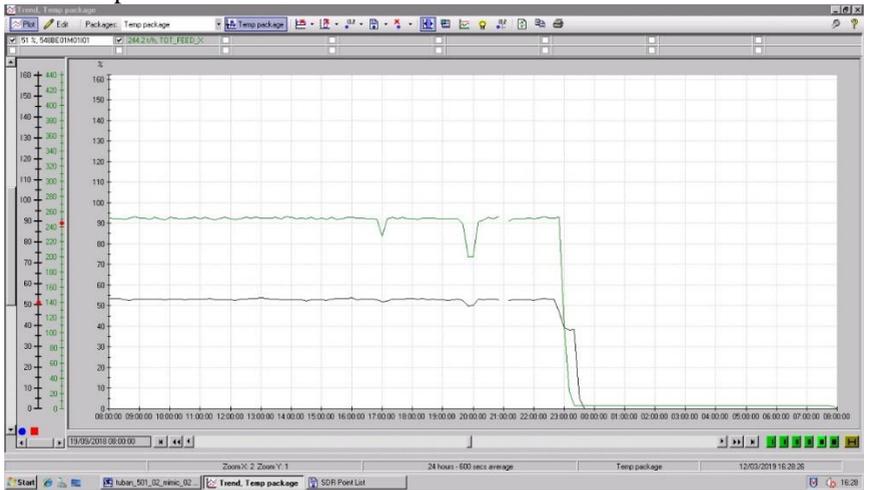
Central chain bucket elevator

Designation	Data
Centre distance	42,600 mm
Bucket width	630 mm
Bucket spacing	360 mm
Bucket filling level	71 %
Conveying speed	1.62 m/s
Chain	BZK 1200 W
Conveying capacity	333 m ³ /h
Conveying capacity	400 t/h
Installed power	approx. 90 kW
Noise emission	

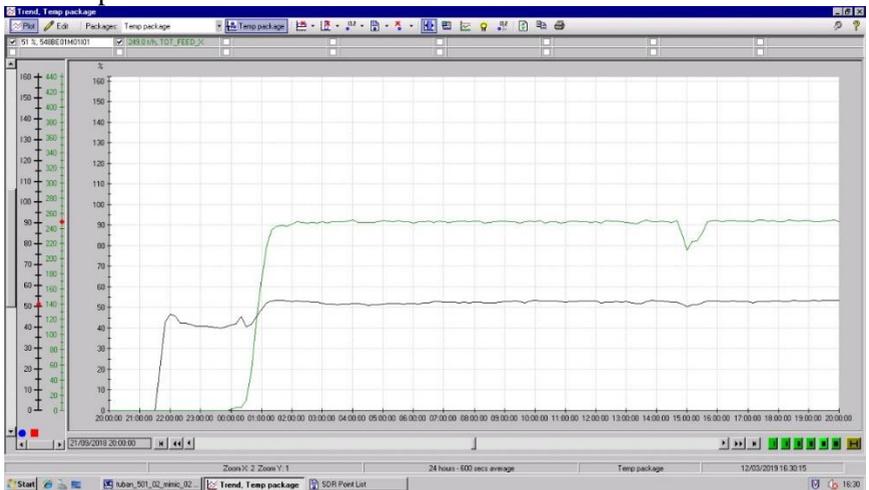
Drive bracket

Designation	Data
Drive motor	Siemens
Motor type	1LG4 283-4AA
Rated power	90 kW
Rated speed	1,500 min ⁻¹
Rated current	--A
Drive shaft	ø 75 mm
Type of construction	IM B3
Fluid coupling	Voith
Coupling type	487TV+EEK225M
Bore diameter	ø 75 /70 mm
Fusible safety plug	160 °C green
Thermal circuit element	140 °C red
Safety switch	MTS
Gear unit	SEW
Type of gear unit	X3KS180
Rated power	200 kW
Drive shaft / output shaft	ø 70 / 170 mm
Gear ratio	50
Output speed	30 min ⁻¹
Auxiliary drive unit	SEW
Motor type	KF77DV100L4-C
Rated power	3 kW
Flexible coupling	Flender
Coupling type	N-EUPEX
Bore hole coupling part / cam part	ø 170 / 160 mm

Lampiran 9 Sebelum patah



Setelah perbaikan



BIODATA PENULIS



Engra Fithreea lahir di Tanjung Balai Karimun dan besar di Tanjungpinang, Kepulauan Riau, 17 Februari 1996, merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Zupriatman dan Ibu Wahni. Penulis mengawali pendidikan formal di TK Changgai Putri, Tg. Balai Karimun dan melanjutkan jenjang pendidikan dasar di SD 017 Tanjungpinang pada tahun 2002-2008. Pendidikan menengah pertama di SMPN 4 Tanjungpinang pada tahun 2008-2011 dan melanjutkan ke pendidikan menengah atas di SMA 1 Tanjungpinang pada tahun 2011-2014. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan perguruan tinggi pada tahun 2014 di Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada masa perkuliahan, penulis banyak aktif di kegiatan organisasi kampus. Penulis mendapat amanah sebagai staff departemen Hubungan Luar di Himpunan Mahasiswa Mesin periode 2015-2016. Kemudian penulis menjabat sebagai sekretaris departemen Hubungan Luar di Himpunan Mahasiswa Mesin periode 2016-2017. Pengalaman menyenangkan dan menantang menempa karakter penulis menjadi manusia yang jauh lebih baik selama di Himpunan Mahasiswa Mesin maupun saat aktif di laboratorium Metalurgi sebagai asisten praktikum dari tahun ke tiga kuliah hingga lulus. Penulis berharap tugas akhir ini dapat menjadi kebermanfaatannya bagi banyak orang. Untuk informasi, saran, dan kepentingan sehubungan dengan penelitian, penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik: efithreea@gmail.com