



TUGAS AKHIR - TM091585

**ANALISA PENYEBAB DAN PENCEGAHAN
KEAUSAN *GUIDE VANE COAL MILL* PABRIK
TUBAN 4 (STUDI KASUS PT. SEMEN GRESIK
TUBAN, JAWA TIMUR)**

**MUHAMMAD IRVAN ANHAR
NRP. 2110 100 029**

**Dosen Pembimbing
Ir. Witantyo M.Eng.Sc**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TM091585

**CAUSES AND PREVENTION ANALYSIS OF FACTORY TUBAN
4 COAL MILL'S GUIDE VANE WEAR
(CASE STUDY PT. SEMEN GRESIK TUBAN, EAST JAVA)**

**MUHAMMAD IRVAN ANHAR
NRP. 2110 100 029**

**Student Advisor
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

**ANALISA PENYEBAB DAN PENCEGAHAN KEAUSAN
GUIDE VANE COAL MILL PABRIK TUBAN 4 (STUDI
KASUS PT. SEMEN GRESIK TUBAN, JAWA TIMUR)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD IRVAN ANHAR

NRP. 2110 100 029

Disetujui oleh Pembimbing dan Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc..... (Pembimbing)

(NIP: 196303141988031002)

2. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT..... (Penguji 1)

(NIP: 197407032000031001)

3. Indra Sidharta, ST., M.Sc..... (Penguji 2)

(NIP: 198006192006041004)

4. Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc..... (Penguji 3)

(NIP: 198202092012121001)

SURABAYA
Juli, 2015

ANALISA PENYEBAB DAN PENCEGAHAN KEAUSAN GUIDE VANE COAL MILL PABRIK TUBAN 4 (STUDI KASUS PT. SEMEN GRESIK TUBAN, JAWA TIMUR)

Nama Mahasiswa : **Muhammad Irvan Anhar**
NRP : **2110 100 029**
Jurusan : **Teknik Mesin FTI-ITS**
Dosen Pembimbing : **Ir. Witantyo M.Eng.Sc**

ABSTRAK

Coal mill merupakan salah satu equipment pada pabrik semen yang digunakan untuk menghaluskan batubara hingga berbentuk powder sebagai bahan bakar rotary kiln untuk menghasilkan clinker. Salah satu komponen yang menyusun coal mill adalah guide vane yang merupakan dynamic classifier dan selalu mengalami keausan sebelum dilakukan overhaul. Keausan pada guide vane coal mill ini dapat mengganggu kerja rotary kiln sehingga mengganggu kinerja produksi.

Dalam penelitian tugas akhir ini telah dianalisa penyebab keausan dengan metode Root Cause Failure Analysis (RCFA) yang digunakan untuk mencari penyebab terjadinya kerusakan, sehingga solusi untuk pencegahannya dapat dilakukan. Dilakukan pengujian komposisi kimia (Optical Emission Spectroscopy) dan pengujian struktur mikro (Metalography Test) terhadap material guide vane untuk mengetahui jenis material, sedangkan pengujian kekerasan dan pengujian impact dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik material guide vane.

Dari hasil analisa-analisa tersebut didapatkan jenis material guide vane tergolong material Fe-Cr-C overlay sebagai layer hardfacing dan mild steel AISI 1023 sebagai base plate. Material Fe-Cr-C overlay memiliki sifat mekanik dengan kekerasan yang tinggi, ketangguhan yang rendah, dan sangat getas dibandingkan mild steel AISI 1023 yang memiliki sifat

mekanik dengan kekerasan rendah namun ketangguhannya tinggi dan ulet. Berdasarkan hal tersebut material guide vane tidak cukup tangguh untuk menerima beban berulang yang disebabkan oleh tumbukkan butiran batubara, sehingga terjadi fatigue wear.

Kata kunci : Coal Mill, Guide Vane, Keausan

**CAUSES AND PREVENTION ANALYSIS OF FACTORY
TUBAN 4 COAL MILL'S GUIDE VANE WEAR
(CASE STUDY PT. SEMEN GRESIK TUBAN, EAST JAVA)**

Name : Muhammad Irvan Anhar
Student ID : 2110 100 029
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Academic Supervisor : Ir. Witantyo M.Eng.Sc

ABSTRACT

Coal mill is the equipment to be used to grind coal into powder as fuel of rotary kiln burner in order to produce clinker in cement factory. Guide vane is components of dynamic classifier inside coal mill that always wear rapidly before overhaul period. These failure might affect and disrupt the production performance of rotary kiln.

This research has analyzed the cause of the wear using Root Cause Failure Analysis (RCFA) method to find the cause of failure so that the solution could be proposed to prevent it. Guide vane material was tested using chemical composition test (Optical Emission Spectroscopy) and microstructure test (Metallography Test) to determine the type of material, while the hardness test and impact test was conducted to determine the mechanical properties of the material.

Test result reveals that the guide vane consists of a layer hard material classified as Fe-Cr-C overlay and mild steel AISI 1023 as the base plate. Fe-Cr-C overlay material has mechanical properties of high hardness, low toughness, and very brittle. Based on this, guide vane's material is not tough enough to receive cyclic loads occur from coal granulates impact that lead to fatigue wear.

Key word : Coal Mill, Guide Vane, Fe-Cr-C, Fatigue Wear

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena dengan karuniaNya penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Sholawat serta salam senantiasa juga kami curahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahanda serta ibunda tercinta, Mat Nuh dan Sri Wahyuliani yang selalu membimbing dan menasehati dengan kesabaran yang diberikan selama ini, serta semua kakak saya tercinta untuk dukungannya.
2. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dan petunjuk berharga mengenai penulisan Tugas Akhir.
3. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT, Indra Sidharta, ST., M.Sc., Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc. sebagai dosen penguji yang telah memberikan arahan dan petunjuk berharga dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT selaku dosen wali, dimana setiap selalu memberikan arahan dan motivasi yang terbaik kepada saya agar menjadi yang lebih baik.
5. Evani Puspitaningrum yang selalu sabar dan memberikan semangat serta motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Sebastianus Dwi Danuputro, "*Partner in Crime*" yang selalu membantu dan direpotkan selama proses mengerjakan Tugas Akhir ini.

7. Karyawan PT. Semen Gresik Bapak Dwi Agus, Bapak Fredy, Pak Dodik, Pak Rendra, Pak Wibi terima kasih atas bantuan dalam pengambilan data.
8. Teman-teman M53 yang selalu mendukung dan menemani saya kapanpun dimanapun saya membutuhkannya.
9. ITS Team Sapuangin atas segala pengalaman yang diberikan.
10. Rekan-rekan Bezanika Bruzel 70 serta alumni SMAN 70 Jakarta yang berdomisili di Surabaya, Akmal hadian, Rifandi, Arief, James, Hari, Reza, Niken, Rianti, Andina, Gilas, Hamam, Haekal, dll.
11. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Mesin FTI-ITS yang selalu dengan senyum ramahnya memberikan bantuan dan semangat untuk penulis.
12. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebut satu-persatu.

Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari sempurna, kritik dan saran yang dapat menyempurnakan penyusunan Tugas Akhir sangat diperlukan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Surabaya, Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	10
1.3 Tujuan Penelitian.....	10
1.4 Batasan Masalah.....	10
1.5 Manfaat Penelitian.....	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI	
DASAR	13
2.1 Unit Pemeliharaan <i>Kiln</i> dan <i>Coal Mill</i> (PKCM) 3-4 PT. Semen Gresik.....	13
2.2 <i>Coal Mill</i>	14
2.3 <i>Guide Vane Coal Mill</i>	15
2.4 Investigasi Kerusakan (<i>Failure</i> <i>Investigation</i>).....	16
2.4.1 <i>Process Analysis, Mapping, dan</i> <i>Flowcharts</i>	18
2.4.2 <i>Why Analysis</i>	18
2.5 Teori Dasar	19
2.5.1 Definisi Keausan dan Jenis-Jenis Penyebab Keausan	19
2.5.2 Mekanisme Keausan.....	21
2.5.2.1 Keausan Adesif (<i>Adhesive</i> <i>Wear</i>).....	22

2.5.2.2 Keausan Abrasif (<i>Abrasive Wear</i>).....	22
2.5.2.3 Keausan Lelah (<i>Fatigue Wear</i>).....	23
2.5.2.4 Keausan Korosif (<i>Corrosive Wear</i>).....	24
2.5.3 Investigasi dalam Analisa Keausan	25
2.5.3.1 Menganalisa Komposisi Kimia.....	25
2.5.3.2 Menganalisa Kekerasan	25
2.5.3.3 Pengujian <i>Impact</i>	27
2.6 Penelitian Terdahulu.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	33
3.2 Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan yang Ada	34
3.3 Pengumpulan Data Historis <i>Guide Vane Coal Mill</i>	34
3.4 Studi Literatur.....	34
3.5 Investigasi Kerusakan.....	35
3.5.1 Dimensi dan <i>Material Guide Vane Coal Mill</i>	35
3.5.2 Peralatan yang Digunakan	36
3.5.3 Identifikasi Komposisi Kimia	36
3.5.4 Pengujian Metalografi	38
3.5.5 <i>Hardness Test</i>	40
3.5.6 <i>Impact Test</i>	42
3.6 Analisa Data dan Pembahasan.....	45
3.7 Diskusi Penyebab Kerusakan	46
3.8 Kesimpulan dan Saran.....	46
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Cara Kerja <i>Dynamic Classifier</i>	47
4.2 Data Spesifikasi <i>Material Guide Vane Coal Mill</i>	52

4.3 Menganalisa Jenis <i>Material</i>	53
4.3.1 Pengujian Komposisi Kimia	53
4.3.2 Pengujian Struktur Mikro pada <i>Layer Hardfacing Material Guide</i> <i>Vane Coal Mill</i> Setelah Dilakukan Pengetsaan.....	56
4.4 Menganalisa Sifat Mekanik	58
4.4.1 <i>Hardness Test</i>	58
4.4.2 <i>Impact Test</i>	61
4.5 Diskusi Penyebab Kerusakan pada <i>Guide</i> <i>Vane Coal Mill</i>	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Biaya pemeliharaan (dalam rupiah) area <i>kiln</i> Pabrik Tuban 1-4	2
Tabel 1.2 Waktu <i>downtime</i> (dalam jam) area <i>kiln</i> Pabrik Tuban 1-4	4
Tabel 1.3 Data pemeliharaan <i>guide vane coal mill</i> Pabrik Tuban 4	9
Tabel 2.1 Skala pengujian <i>rockwell</i>	26
Tabel 3.1 Rancangan tabel hasil studi eksperimen pengujian komposisi kimia.....	38
Tabel 3.2 Rancangan tabel hasil studi eksperimen pengujian kekerasan	42
Tabel 3.3 Rancangan tabel hasil studi eksperimen pengujian <i>impact</i>	45
Tabel 4.1 Data penunjang yang terdapat pada <i>coal mill</i>	51
Tabel 4.2 Komposisi kimia pada <i>layer hardfacing</i>	54
Tabel 4.3 Komposisi kimia pada <i>layer mild steel</i>	55
Tabel 4.4 Data hasil pengujian kekerasan pada <i>layer</i> <i>hardfacing</i>	59

Tabel 4.5 Data hasil pengujian kekerasan pada <i>layer mild steel</i>	61
Tabel 4.6 Data hasil pengujian <i>impact material guide vane coal mill</i>	62

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. merupakan *holding company cement* dan merupakan Badan Usaha Milik Negara pertama dengan status *multi national corporation*. Memiliki beberapa anak perusahaan penghasil semen diantaranya PT. Semen Padang yang memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 6 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Indarung (Sumatera Barat), PT. Semen Gresik yang memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Tuban (Jawa Timur), PT. Semen Tonasa yang memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 6 juta ton semen per tahun yang berlokasi di pangkep (Sulawesi Selatan), dan Thang Long Cement Company yang memiliki kapasitas terpasang 2,3 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Quang Ninh (Vietnam)^[1]. PT. Semen Gresik menjadikan pabrik Tuban sebagai penghasil semen *portland* dengan kapasitas terbesar diantara anak perusahaan lain.

Untuk mencapai itu semua, dalam proses produksinya PT. Semen Gresik selalu melakukan *maintenance* atau pemeliharaan secara rutin maupun non rutin untuk memaksimalkan performa seluruh mesin agar dapat beroperasi secara maksimal. Terjadinya pemeliharaan di pabrik merupakan hal yang sering kali dihadapi oleh perusahaan atau pihak pengambil keputusan terkait dengan perawatan, seperti misalnya pergantian *sparepart*, pemberian pelumas, dan *overhaul*. Pada dasarnya pemeliharaan sangat dibutuhkan untuk mengatasi permasalahan yang sering terjadi di pabrik dan kerap kali dijumpai dengan waktu yang tidak menentu, sehingga dengan adanya pemeliharaan ini pabrik dapat berproduksi secara maksimal tanpa mengalami *breakdown*.

Semen *portland* yang diproduksi tersebut dihasilkan melalui serangkaian proses dengan bahan baku utama batu kapur, tanah liat, pasir silika, dan pasir besi serta bahan baku korektif berupa *gypsum*, *trass*, dan batu kapur *high grade*. Proses produksi semen secara umum dibagi menjadi 5 tahapan utama yaitu penyediaan bahan baku, penggilingan bahan baku, pembakaran, penggilingan akhir, dan pengantongan atau pengemasan.

Pada tahap pembakaran tersebut terjadi pada area *kiln*. Dari tahun 2011 hingga 2014, kondisi mesin di area *kiln* mengalami pemeliharaan yang cukup banyak dan menghabiskan *cost* yang besar dalam penanganannya. Hal inilah yang dapat menyebabkan keuntungan yang diperoleh PT. Semen Gresik tidak maksimal. Pada tabel 1.1 ini menunjukkan biaya pemeliharaan yang dilakukan PT. Semen Gresik untuk area *kiln* dari tahun 2011 hingga 2014 ^[1]

Tabel 1.1 Biaya pemeliharaan (dalam rupiah) area *kiln* Pabrik Tuban 1-4 ^[1]

Tahun	KILN 1	KILN 2	KILN 3	KILN 4
2011	29,084,558,268	54,383,111,605	48,012,272,012	
2012	24,759,150,105	10,455,580,801	26,725,063,561	4,269,779,995
2013	27,354,770,978	26,619,960,032	22,703,820,000	689,641,989
2014	55,888,859,763	67,422,921,688	45,135,349,269	29,154,168,273
Total	1.37087E+11	1.5888E+11	1.4258E+11	4.4114E+10

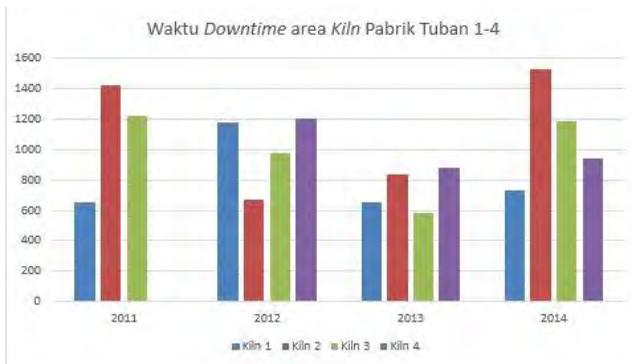


Gambar 1.1 Grafik biaya pemeliharaan (dalam rupiah) area *kiln* Pabrik Tuban 1-4 ^[1]

Pada gambar 1.1 menunjukkan grafik biaya pemeliharaan pada area *kiln* Pabrik Tuban 1-4. Pada grafik terlihat pada tahun 2014 area *kiln* Pabrik Tuban 4 memang memiliki biaya pemeliharaan paling rendah, tetapi *trend* kerusakan di Pabrik Tuban 4 lebih sering dibandingkan pabrik lainnya. Pemeliharaan pada pabrik PT. Semen Gresik memang rutin dilakukan dan sangat terencana, tetapi pemeliharaan tersebut sering kali harus dilakukan pada waktu yang tidak terduga akibat kerusakan yang dialami secara tiba-tiba dan terjadi pada waktu yang tidak menentu, sehingga apabila dibiarkan terus-menerus maka besar kemungkinan mesin harus dimatikan tidak sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Tabel 1.2 menunjukkan waktu *downtime* yang terjadi pada pabrik PT. Semen Gresik untuk area *kiln* dari tahun 2011 hingga 2014^[1].

Tabel 1.2 Waktu *downtime* (dalam jam) area *kiln* Pabrik Tuban 1-4^[1]

Tahun	KILN 1	KILN 2	KILN 3	KILN 4
2011	656.89	1418.63	1222.65	
2012	1179.72	667.18	972.75	1207.84
2013	654.67	834.7	584.42	882.57
2014	733.31	1523.25	1186.6	937.05
Total	6428.37	6760.017	6534.4	3027



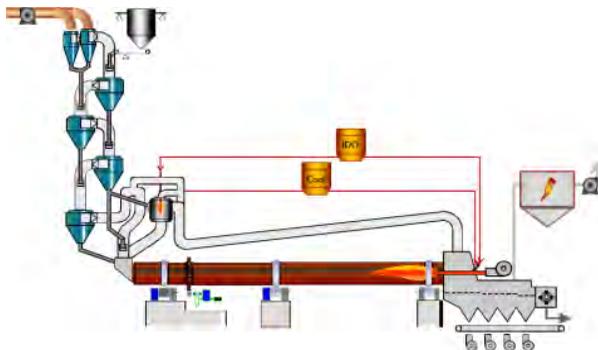
Gambar 1.2 Grafik waktu *downtime* (dalam jam) area *kiln* Pabrik Tuban 1-4^[1]

Pada gambar 1.2 menjelaskan area *kiln* di Pabrik Tuban 4 memiliki *downtime* yang paling tinggi dibanding Pabrik Tuban 1-3, kecuali di tahun 2014. Hal ini menjelaskan bahwa di Pabrik Tuban 4 banyak dilakukan pemeliharaan, padahal pabrik tersebut yang paling muda dibanding pabrik lainnya.

Pabrik semen memiliki banyak sekali *equipment* yang tersusun di dalamnya, salah satunya adalah *rotary kiln*. *Rotary kiln* adalah peralatan paling utama pada proses produksi semen yang memiliki peran penting dalam operasional maupun proses produksi, dan juga merupakan jantung produksi dari sebuah pabrik semen. *Rotary kiln* selalu diusahakan untuk tidak

mengalami *downtime*, oleh sebab itu diperlukan pemeliharaan yang baik agar dapat terus bekerja secara kontinyu.

Rotary kiln ini sendiri berbentuk silinder yang terbuat dari baja dan dilengkapi dengan *preheater* sebagai pemanas awal dan *prekalsiner*. Gerakan antara material dan gas panas hasil pembakaran batubara berlangsung secara *counter current*. Karena panas yang ditimbulkan batubara tinggi, maka *rotary kiln* perlu dilapisi batu tahan api pada bagian dalamnya untuk mencegah agar baja tidak meleleh. *Rotary kiln* dipasang secara horizontal dengan kemiringan sebesar 4° [1]. Gambar 1.3 ini memperlihatkan *rotary kiln* dan *equipment* lain di sekitarnya.

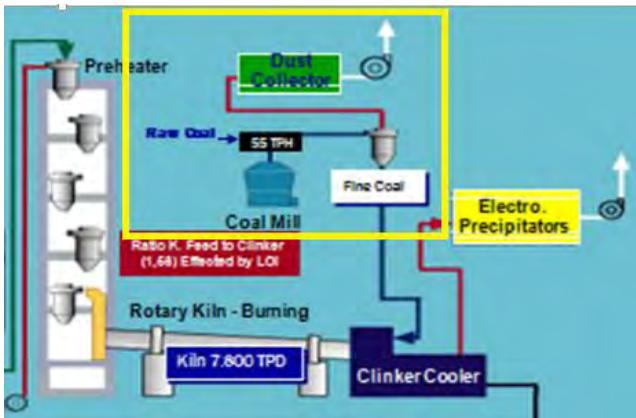


Gambar 1.3 Rangkaian pada area *kiln* [2]

Fungsi utama *rotary kiln* adalah sebagai tempat terjadinya kontak antara gas panas dan *material* umpan *kiln* sehingga terbentuk senyawa-senyawa penyusun semen, yaitu C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF [2]. Pada *rotary kiln* terjadi proses perubahan kimia dalam pembentukan *clinker*. Pada unit proses ini dibutuhkan energi termal yang besar untuk memproduksi *clinker*. *Rotary kiln* juga merupakan sebuah perangkat *pyroprocessing* yang digunakan untuk menaikkan *material* atau bahan baku sampai pada suhu tinggi (kalsinasi) dalam suatu proses berkelanjutan. *clinker* masuk *rotary kiln* dengan temperature 1400°C , setelah itu *clinker* diputar di dalam *rotary kiln* dengan kapasitas 8000

ton/jam dan turun menuju ke *clinker cooler* ^[1]. Panas pada *rotary kiln* didapat dari *burner* dengan bahan bakar batubara dalam bentuk *pulverize*. Di beberapa pabrik semen, gas sisa pemanasan *kiln* digunakan kembali untuk memanaskan *preheater*, tetapi terdapat juga beberapa pabrik semen yang memiliki tambahan *burner* dengan bahan bakar batubara dalam bentuk *pulverize* untuk memanaskan *preheater*.

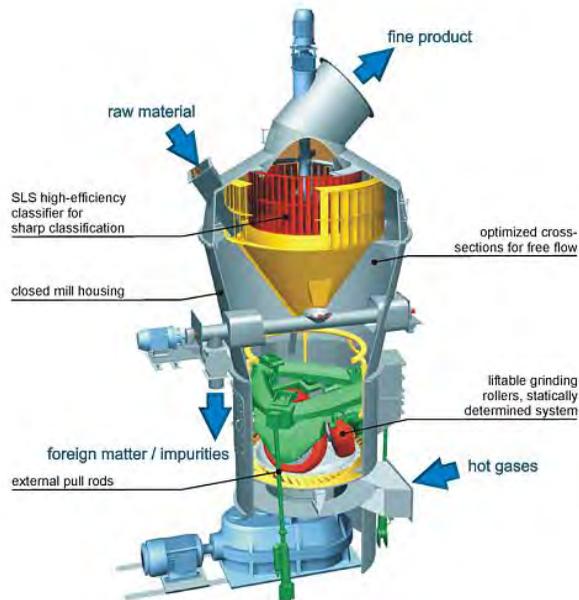
Proses pengolahan batubara tersebut terjadi pada *coal mill* jenis *vertical roller mill* yang mempunyai *grinding table* dan tiga buah *grinding roller*. Proses tersebut juga melalui beberapa tahapan dengan memanfaatkan peralatan lain seperti *dust collector* dan *fan coal mill* yang ditunjukkan pada gambar 1.4.



Gambar 1.4 Susunan *coal mill*, *dust collector*, *fan coal mill* ^[2]

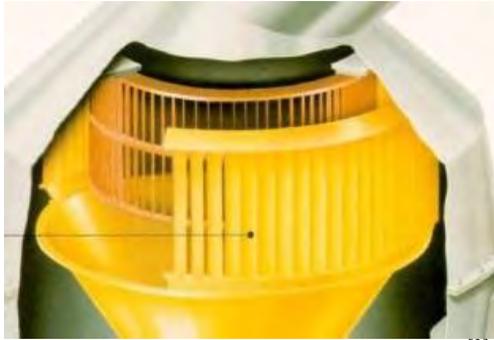
Coal mill berfungsi untuk menggiling dan menghaluskan batubara hingga berukuran mikron dan menjadikannya dalam bentuk *pulverize* atau *powder* dengan kapasitas 80 ton/jam ^[1]. Sehingga batubara yang sudah halus tersebut dapat bergerak menuju *classifier* yang berada di dalam *coal mill* itu sendiri dengan bantuan *hot gas* yang dihasilkan oleh *hot gas generator*. Setelah itu batubara tersebut menuju *dust collector* yang berfungsi untuk menyaring batubara halus agar masuk ke penampungan

untuk menjadi bahan bakar *burner* yang terdapat pada *rotary kiln*, sehingga hanya udara bersih yang masih dihisap oleh *fan coal mill* dan mengalir menuju cerobong atau *exhaust system* untuk dikeluarkan ke udara bebas. Pada gambar 1.5 berikut ini memperlihatkan rangkaian *part* yang berada pada *Coal Mill*.



Gambar 1.5 Rangkaian *part* yang berada pada *coal mill* ^[1]

Classifier yang berada di dalam *coal mill* terdiri dari dua bagian, yaitu *guide vane* dan *rotor* yang merupakan *dynamic classifier*. Prinsip kerja *classifier* adalah membagi suatu aliran material menjadi dua atau lebih aliran dengan distribusi ukuran partikel yang berbeda. Satu aliran mengandung lebih banyak partikel halus dan aliran yang lain lebih banyak mengandung partikel kasar. Gambar 1.6 menunjukkan *classifier* (*guide vane* dan *rotor*) yang berada pada *coal mill*.



Gambar 1.6 Classifier pada coal mill ^[3]

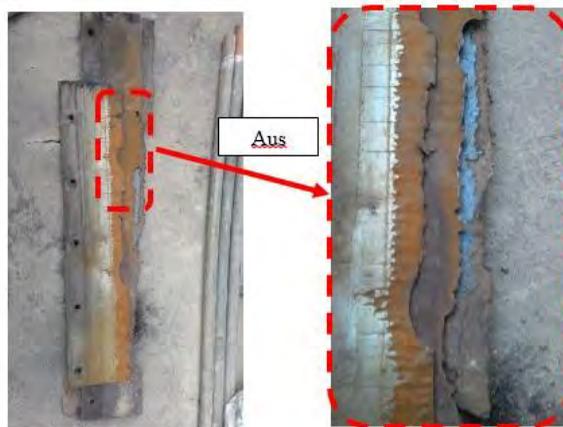
Keuntungan adanya *classifier* pada *coal mill* adalah lebih mudah mengontrol kehalusan produk, efisiensi penggilingan menjadi lebih baik, dan akan menaikkan kapasitas *mill*. Bertambahnya kapasitas *mill* disebabkan karena adanya pemisahan antara *material* kasar dan *material* halus oleh *classifier*, sehingga *material* yang digiling benar-benar *material* yang masih kasar. Hal ini juga akan menurunkan konsumsi energi untuk penggilingan.

Guide vane berfungsi untuk menentukan arah dan kecepatan aliran tertentu. *Equipment* ini juga tidak memerlukan alat penggerak dalam memisahkan antara batubara kasar dengan batubara halus. Batubara halus akan melewati *guide vane* dengan bantuan *hot gas*. *Guide vane* yang terdapat pada *classifier* di dalam *coal mill* pada Pabrik Tuban 4 memiliki tren keausan yang tinggi, sehingga sering kali dilakukan pemeliharaan lebih cepat dari waktu yang telah direncanakan. Hal ini menyebabkan kerugian bagi perusahaan, karena saat dilakukan pemeliharaan pada *equipment* tersebut *rotary kiln* tidak dapat berfungsi, sehingga area *kiln* harus dimatikan dan menyebabkan seluruh aktifitas Pabrik berhenti. Tabel 1.3 menunjukkan data pemeliharaan yang dilakukan pada *guide vane coal mill* Pabrik Tuban 4 akibat keausan.

Tabel 1.3 Data pemeliharaan *guide vane coal mill* Pabrik Tuban 4 [1]

Notification d	Notification	Time of chan	Description
12/13/2012	8:16:52 AM	7:08:58 PM	474RM01-REKONDISI ATOX MILL EQ
3/5/2013	7:10:14 PM	2:32:03 PM	474RM01-OVH TB4 APRIL 2013-SERVICE MILL
4/5/2013	11:08:26 AM	2:38:02 PM	474RM01-OVHTB4-REPAIR & SERVICE ATOXMILL
10/31/2013	10:30:25 AM	10:39:21 AM	474RM01- SERVICE COAL MILL
11/14/2013	10:05:55 AM	10:17:45 AM	474RM01- SERVICE COAL MILL
12/10/2013	5:22:21 PM	6:47:20 PM	474RM01 - SERVICE & REPAIR INSIDE MILL
3/14/2014	7:11:55 PM	3:11:35 PM	474RM01-SRD1-OVHTB4-2014-REKOND. MILL
3/21/2014	3:01:07 PM	9:21:57 AM	474RM01 - SERVICE INLET ATOX MILL
5/20/2014	2:05:23 PM	3:58:09 PM	474RM01-CEK INSIDE ATOX MILL OK
6/13/2014	10:15:37 AM	1:48:38 PM	474RM01-CHECK INSIDE MILL OK
6/17/2014	3:56:56 PM	1:56:54 PM	474RM01 - SERVICE COAL MILL OK
7/1/2014	10:24:05 AM	8:10:03 AM	474RM01 - SERVICE ATOX COAL MILL
7/16/2014	3:58:49 PM	1:10:33 PM	474RM01- ATOX COAL MILL VIBRASI TINGGI OK
1/30/2015	9:41:24 AM	9:39:20 AM	OVH TB4 2015-474RM01-SRD1-REKONDISI

Dari tabel 1.3 menunjukkan intensitas pemeliharaan yang cukup banyak pada *guide vane coal mill* Pabrik Tuban 4, terutama pada tahun 2014. Hal inilah yang melatar belakangi saya untuk menganalisa *guide vane coal mill* Pabrik Tuban 4, karena seharusnya performa pabrik yang baru didirikan dan beroperasi pada tahun 2012 ini dapat lebih maksimal. Gambar 1.7 berikut ini menampilkan keausan yang terjadi pada *guide vane coal mill* Pabrik Tuban 4.



Gambar 1.7 Keausan pada *guide vane coal mill* [1]

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui penyebab dan menganalisa keausan *guide vane coal mill* Pabrik Tuban 4, sehingga dapat menentukan kebijakan dan menyarankan spesifikasi *material* yang tepat untuk *equipment* tersebut. Hal inilah yang nantinya dapat mencegah, meminimalisir, ataupun memperlambat terjadinya *breakdown* dan meminimumkan total biaya yang dikeluarkan PT. Semen Gresik untuk pemeliharaan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui penyebab terjadinya keausan pada *guide vane coal mill* Pabrik Tuban 4
2. Mengetahui spesifikasi *material* yang tepat dan memberikan solusi kepada PT. Semen Gresik guna meminimalisasi keausan yang terjadi pada *guide vane coal mill* Pabrik Tuban 4.

1.4 Batasan Masalah

Dengan melihat banyaknya permasalahan yang ada, maka diberlakukan pembatasan masalah agar Tugas Akhir ini dapat berjalan secara fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan. Batasan masalah tersebut yaitu :

1. *Guide vane coal mill* yang ditinjau dalam Tugas Akhir ini adalah yang terdapat di Pabrik Tuban 4 dan menggunakan data dari tahun 2012 hingga 2014.
2. Data kerusakan, biaya pemeliharaan, dan *downtime* didapat dari Koordinator Anggaran, Seksi Perencanaan dan Persediaan, dan Seksi *Kiln dan Coal Mill 3-4 Machine Maintenance*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Perusahaan mendapatkan informasi terkait dengan penyebab keausan *guide vane coal mill* Pabrik Tuban 4.
2. Perusahaan mendapatkan rekomendasi solusi terkait dengan permasalahan yang dihadapi dalam penentuan kebijakan *guide vane coal mill* Pabrik Tuban 4.
3. Penulis mendapatkan pengetahuan dan pengalaman dalam menyelesaikan masalah pemeliharaan terkait dengan *guide vane coal mill* yang memiliki beberapa jadwal pemeliharaan yang tidak pasti.
4. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan dan bahan pertimbangan dalam melakukan penelitian selanjutnya, terkait dengan *maintenance management* pabrik dengan metoda *preventive maintenance*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI DASAR

2.1 Unit Pemeliharaan *Kiln* dan *Coal Mill* (PKCM) 3-4 PT. Semen Gresik

Unit PKCM 3-4 adalah unit kerja yang bertanggung jawab memelihara *preheater*, *rotary kiln*, *coal mill*, dan *clinker cooler* pada Pabrik Tuban 4. Di area inilah terjadi pembentukan *clinker* yang merupakan hasil campuran dari beberapa bahan baku pembuatan semen seperti batu kapur, tanah liat, pasir besi, dan pasir silika. *Clinker* inilah yang nantinya akan digiling pada mesin *finish mill* untuk menjadi semen yang memiliki nilai jual. PKCM merupakan unit yang sangat vital pada proses produksi semen, karena pabrik akan berhenti jika ada salah satu mesin di area ini yang mengalami *breakdown*. Pada gambar 2.1 ini menunjukkan sistem pada area *kiln* dan *coal mill* Pabrik Tuban 4 yang ditangani oleh unit PMKC 3-4.

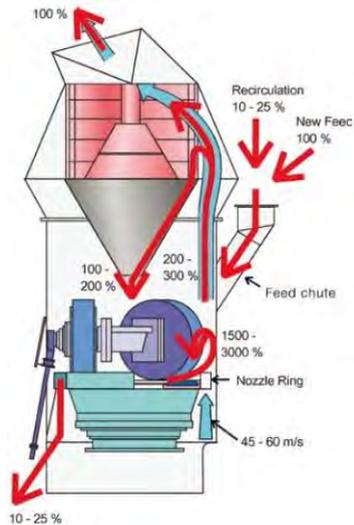


Gambar 2.1 Sistem area *kiln* dan *coal mill* Pabrik Tuban 4 [1]

2.2 Coal Mill

Fungsi dari *coal mill* adalah untuk menggiling dan menghaluskan batubara hingga berukuran mikron dan menjadikannya dalam bentuk *pulverize* atau *powder* dengan kapasitas 80 ton/jam ^[1]. Batubara yang sudah berbentuk *powder* tersebut merupakan bahan bakar yang digunakan *burner* pada *rotary kiln* untuk menghasilkan *clinker*.

Langkah kerja pertama *coal mill* hingga menghasilkan batubara dalam bentuk *powder* yaitu penggilingan batubara oleh *roller grinding* pada *grinding table* di dalam *coal mill*. Batubara yang masuk ke *coal mill* melalui *feed chute* ini berasal dari *coal storage* yang ditransportasikan oleh *belt conveyor* menuju *coal mill*. Batubara yang sudah halus oleh penggilingan tersebut akan dibawa oleh *hot gas* dan bergerak menuju *classifier*. *Hot gas* tersebut dihasilkan oleh *hot gas generator* dan masuk ke *coal mill* melalui *nozzle ring*. Pada *classifier* terdapat *guide vane* dan *rotor* yang merupakan komponen dari *dynamic classifier*. Batubara yang menuju ke *classifier* kerap kali tidak hanya yang halus, tetapi ada kemungkinan jika batubara yang belum halus ikut terangkut *hot gas* menuju *classifier*. Pada *classifier* batubara yang belum halus tersebut akan dihempaskan oleh *rotor* dan mengenai *guide vane*, sehingga batubara tersebut akan jatuh kembali menuju *grinding table* untuk digiling kembali hingga halus. Setelah melewati *classifier*, batubara yang sudah benar-benar halus tadi akan bergerak menuju *dust collector* diakibatkan oleh hisapan *fan coal mill*. Pada gambar 2.2 ini menjelaskan tentang sistematika kerja yang terjadi pada *coal mill*.



Gambar 2.2 Sistematisa kerja *coal mill* dalam menghasilkan batubara dalam bentuk *powder* ^[4]

2.3 *Guide Vane Coal Mill*

Guide vane pada *coal mill* berbeda dengan *guide vane* yang ada pada umumnya. *Guide vane coal mill* berfungsi untuk mengondisikan arah dan kecepatan alir tertentu. Sistem pemeliharaan yang dilakukan kepada *guide vane* ini adalah *condition base*, dengan pengertian tidak memiliki jadwal yang pasti untuk dilakukan pemeliharaan. *Guide vane* akan dilakukan pemeliharaan jika kondisi di lapangan memungkinkan untuk mematikan *coal mill*^[1]. Gambar 2.3 berikut ini menampilkan bentuk *guide vane* yang digunakan pada *coal mill*.



Gambar 2.3 *Guide vane* yang digunakan pada *coal mill* ^[4]

Material yang digunakan untuk *Guide Vane* merupakan *material* yang tahan aus, tetapi yang terjadi di lapangan berbeda. Fakta yang selalu terjadi di lapangan setiap kali dilakukan pemeliharaan terhadap *coal mill*, *guide vane* selalu mengalami keausan. Hal ini menyebabkan performa *guide vane* ataupun *coal mill* tidak maksimal. Sebelum dilakukan modifikasi, *guide vane* menggunakan *material mild steel*. Karena dinilai dengan menggunakan *material mild steel* sering mengalami keausan, pada *material* tersebut dilakukan modifikasi dalam paduannya. Modifikasi tersebut yakni dengan melapisi *mild steel (base plate)* setebal 6mm dengan *hardfacing* setebal 4mm. Modifikasi ini memang dapat menaikkan ketahanan aus *guide vane*, akan tetapi fakta di lapangan keausan masih sering terjadi.

2.4 Investigasi Kerusakan (*Failure Investigation*)

Analisa kegagalan adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mempertimbangkan faktor-faktor situasi dan kondisi kegagalan atau kerusakan tersebut. Hasil yang diharapkan

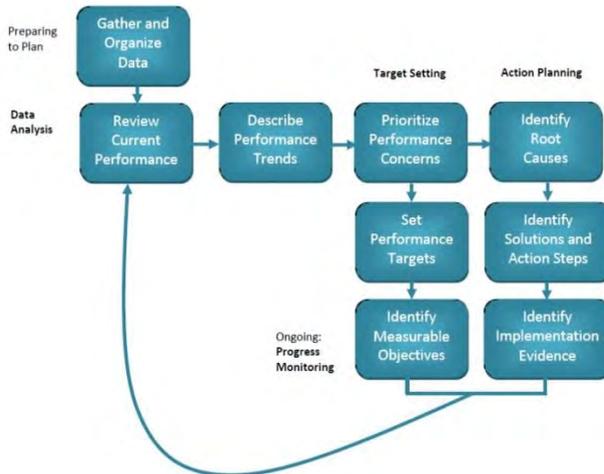
nantinya adalah dapat mengetahui penyebab kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut. Analisa kegagalan memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Menemukan penyebab utama kegagalan komponen.
2. Menghindari kegagalan atau kerusakan yang sama di masa yang akan datang dengan melakukan langkah-langkah penanggulangan yang telah diketahui.
3. Sebagai bahan laporan kegagalan produk kepada pembuat atau produsen komponen tersebut.
4. Sebagai langkah awal untuk memodifikasi komponen tersebut.
5. Sebagai pertimbangan untuk menentukan jadwal pemeliharaan dilakukan.

Investigasi kegagalan atau kerusakan menggunakan metoda *Root Cause Failure Analysis* akan mempermudah dalam menemukan penyebab dan menanggulangi permasalahan yang terjadi. Adapun tahapan atau langkah utama dalam melakukan analisa kegagalan tersebut yaitu ^[5]:

1. *Gather and organize data*
2. *Review current performance*
3. *Describe performances trends*
4. *Prioritize performance concerns*
5. *Identify root cause*
6. *Identify conclusion and action steps*
7. *Solution*

Gambar 2.4 berikut ini menjelaskan tahapan-tahapan dengan menggunakan metoda *Root Cause Failure Analysis* (RCFA).



Gambar 2.4 Tahapan-tahapan metoda RCFA [5]

2.4.1 *Process Analysis, Mapping, dan Flowcharts*

Process analysis, mapping, dan flowcharts merupakan *tools* dari metoda *Root Cause Failure Analysis*. *Tools* ini berpacu pada proses yang dikelompokkan dalam bentuk diagram proses. Tujuan dari *tools* ini adalah untuk mengetahui secara jelas penyebab dari kegagalan atau kerusakan komponen.

2.4.2 *Why Analysis*

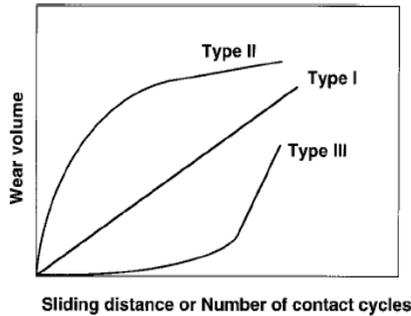
Why analysis merupakan *tools* dari metoda *Root Cause Failure Analysis*. *Tools* ini adalah teknik grafik yang mengandung sebuah penjabaran secara skematik dari kombinasi kejadian-kejadian dalam sebuah sistem. Dalam *tools* ini kita harus menganalisa secara kritis dengan selalu bertanya mengapa (*why*) untuk suatu permasalahan, agar dapat mengkombinasikan sebuah sistem dan mencari akar permasalahan yang terjadi.

2.5 Teori Dasar

2.5.1 Definisi Keausan dan Jenis-Jenis Penyebab Keausan

Sifat yang dimiliki oleh *material* terkadang membatasi kinerjanya. Namun demikian, jarang sekali kinerja suatu *material* hanya ditentukan oleh satu sifat, tetapi lebih kepada kombinasi dari beberapa sifat. Salah satu contohnya adalah ketahanan aus (*wear resistance*) yang merupakan fungsi dari beberapa sifat material (kekerasan, kekuatan, ketangguhan, keuletan dan lain-lain).

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan atau suatu keadaan yang memburuk dari suatu permukaan kerja akibat dari pemakaiannya (gesekan). Hal ini umumnya diakibatkan oleh adanya gesekan antar permukaan padatan dan terjadi pada berbagai macam kondisi kerja. Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap *material* yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar *material*, melainkan respon *material* terhadap sistem luar (kontak permukaan). *Material* apapun dapat mengalami keausan yang disebabkan oleh mekanisme yang beragam. Akibat negatif yang ditimbulkan adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dari mesin berkurang saat mengalami keausan. Dengan mengetahui volume keausan, kekasaran permukaan, dan bentuk partikel memberikan informasi penting tentang keausan. Tiga macam tipe keausan bisa dilihat pada gambar berikut ini.



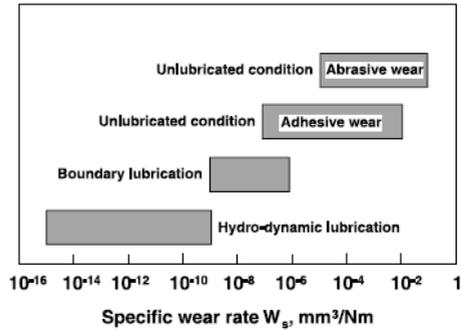
Gambar 2.5 Tiga macam tipe kurva keausan ^[12]

Kurva volume keausan sebagai fungsi jarak *sliding* atau banyak kontak permukaan dalam suatu siklus seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Tipe I menunjukkan nilai keausan yang konstan dari keseluruhan proses, tipe II menunjukkan suatu peralihan yang mulanya *rate* keausannya tinggi lalu keausannya konstan pada *rate* rendah, tipe keausan ini sering diamati pada jenis *material* logam, tipe III menunjukkan bencana besar peralihan dari *rate* keausan rendah menuju *rate* keausan yang begitu tinggi, seperti kelelahan patah (*fatigue fracture*), ini terjadi pada *material* jenis keramik.

Pada umumnya, keausan dievaluasi dengan jumlah kehilangan dan keadaan permukaan yang aus. Derajat keausan dinyatakan dengan *wear rate*, *specific wear rate*, atau *wear coefficient*. *Wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak. *Specific wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak dan persatuan beban. *Wear coefficient* adalah hasil dari *specific wear rate* dengan kekerasan (*hardness*) dari *material* yang aus.

Pada gambar 2.6 berikut ini menunjukkan *specific wear rate* berbagai material logam dengan berbagai kondisi

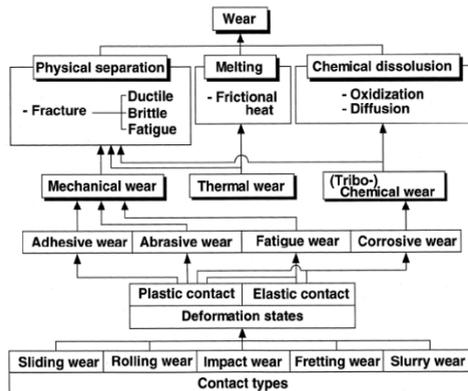
pelumasan yang menunjukkan distribusi antara range 10^{-15} hingga $10^{-1} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ [12].



Gambar 2.6 Specific wear rate pada material logam dengan berbagai kondisi pelumasan [12]

2.5.2 Mekanisme Keausan

Keausan dapat terjadi melalui empat macam mekanisme, berikut ini adalah penjelasan dari masing - masing mekanisme keausan.



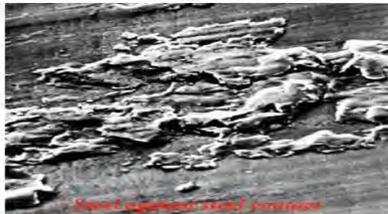
Gambar 2.7 Berbagai macam mekanisme keausan yang timbul karena efek kontak permukaan [12]

Berikut ini adalah penjelasan dari gambar 2.7 mengenai berbagai macam tipe keausan yang dihasilkan oleh berbagai macam variasi.

2.5.2.1 Keausan Adesif (*Adhesive Wear*)

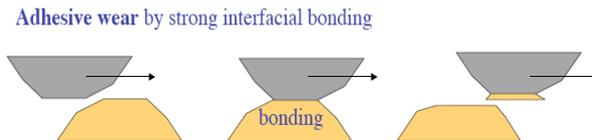
Keausan adesif terjadi bila kontak permukaan dari *material* atau lebih mengakibatkan adanya perlekatan (*adhesive*) antara satu sama lain, seta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pengikatan (*bonding*) permukaan *material* yang satu oleh yang lain, seperti ditunjukkan pada gambar 2.8 dan mekanismenya pada gambar 2.9.

Faktor yang menyebabkan terjadinya keausan adesif antara lain kontaminasi permukaan dan terjadinya ikatan (*bonding*) antar molekul pada *material*, yaitu ikatan ion, kovalen, ikatan logam, atau ikatan van der wall dari *material* yang bergesekan.



H. Czichos, *Tribology*, Springer 1978

Gambar 2.8 Pengamatan *micrographs* keausan adesif^[12]

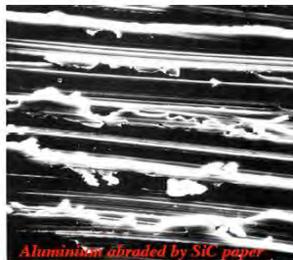


Gambar 2.9 Mekanisme keausan adesif^[12]

2.5.2.2 Keausan Abrasif (*Abrasive Wear*)

Terjadi bila suatu partikel keras dari *material*

tertentu meluncur pada permukaan *material* lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan *material* yang lebih lunak, seperti diperlihatkan pada gambar 2.10 dan mekanismenya pada gambar 2.11.

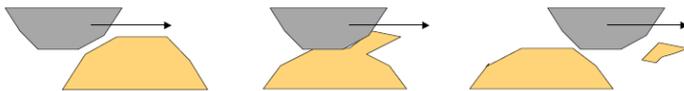


H. Czichos, Tribology, Springer 1978

Dia 10/44

Gambar 2.10 Pengamatan *micrographs* keausan abrasif [12]

Abrasive wear by plastic deformation and microcutting



Gambar 2.11 Mekanisme keausan abrasif [12]

2.5.2.3 Keausan Lelah (*Fatigue Wear*)

Keausan lelah merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adesif maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan lelah dibutuhkan multi interaksi.

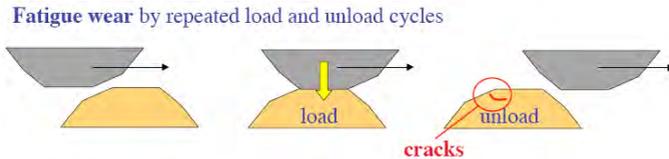
Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan *material*. Jadi, volume *material* yang hilang oleh keausan lelah bukanlah parameter yang terlalu penting,

tetapi yang lebih penting adalah umur *material* setelah mengalami revolusi putaran atau waktu sebelum keausan lelah muncul. Gambar 2.12 menunjukkan kegagalan lelah yang terjadi pada *ball bearing* dan gambar 2.13 menunjukkan mekanisme keausan lelah.



Fatigue failure of a steel ball bearing

Gambar 2.12 Keausan lelah pada *ball bearing* ^[12]



Gambar 2.13 Mekanisme keausan lelah ^[12]

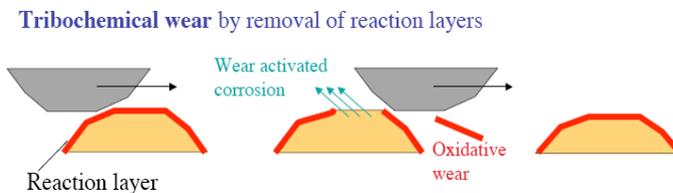
2.5.2.4 Keausan Korosif (*Corrosive Wear*)

Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi *material* di permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan *material* induk. Sebagai konsekuensinya, *material* akan mengarah kepada perpatahan *interface* antara lapisan permukaan dan *material* induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut. Gambar 2.14 menunjukkan keausan korosif pada baja dan gambar 2.15 menunjukkan mekanisme keausan korosif.



Agglomerated oxide particles after wear of a passive steel.

Gambar 2.14 Keausan korosif pada baja ^[12]



Gambar 2.15 Mekanisme keausan korosif ^[12]

2.5.3 Investigasi dalam Analisa Keausan

2.5.3.1 Menganalisa Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilaksanakan untuk mengetahui kandungan paduan yang berada pada *material guide vane coal mill*, agar dapat diketahui jenis *material* yang digunakan. Dari analisa ini juga didapat spesifikasi *material* untuk mengetahui kesesuaiannya dengan standarisasi yang ada, dan kesesuaian kondisi operasi dengan sifat mekanik yang dimiliki *material* tersebut.

2.5.3.2 Menganalisa Kekerasan

Dalam rangkaian proses analisa keausan pengujian kekerasan dilaksanakan untuk mengetahui kesesuaian sifat mekanik yang dimiliki *material* dengan standarisasi yang ada, dan kesesuaian dengan kondisi operasi yang ada.

Kekerasan adalah kemampuan untuk menahan indentasi/penetrasi/abrasi. Ada beberapa jenis pengujian kekerasan yang ter-*standard* diantaranya pengujian *brinell*, *rockwell* dan *vickers*.

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan *rockwell c*. Pengujian *rockwell c* merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengukur kekerasan karena angka kekerasan dapat langsung dibaca di mesin dan digunakan untuk *material* yang memiliki nilai kekerasan tinggi. Tabel 2.1 merupakan skala yang digunakan dalam pengujian *rockwell* [13].

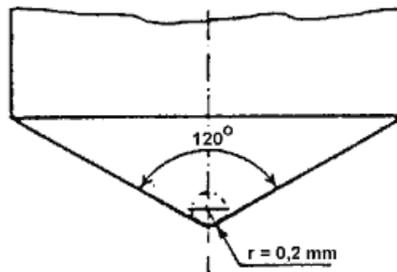
Tabel 2.1 Skala pengujian *rockwell* [13]

Scale	Indenter	F0 (kgf)	F1 (kgf)	F (kgf)	E	Jenis Material Uji
A	Diamond cone	10	50	60	100	Extremely hard materials, tungsten carbides, dll
B	1/16" steel ball	10	90	100	130	Medium hard materials, low dan medium carbon steels, kuningan, perunggu, dll
C	Diamond cone	10	140	150	100	Hardened steels, hardened and tempered alloys
D	Diamond cone	10	90	100	100	Annealed kuningan dan tembaga
E	1/8" steel ball	10	90	100	130	Beryllium copper, phosphor bronze, dll
F	1/16" steel ball	10	50	60	130	Aluminium sheet
G	1/16" steel ball	10	140	150	130	Cast iron, aluminium alloys
H	1/8" steel ball	10	50	60	130	Plastik dan soft metals seperti timah
K	1/8" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale
L	1/4" steel ball	10	50	60	130	Sama dengan H scale
M	1/4" steel ball	10	90	100	130	Sama dengan H scale
P	1/4" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale
R	1/2" steel ball	10	50	60	130	Sama dengan H scale
S	1/2" steel ball	10	90	100	130	Sama dengan H scale
V	1/2" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale

Pada *rockwell* terdapat dua beban, yaitu beban awal (*minor load*) dan beban utama (*major load*). Permukaan benda yang diuji mula-mula diindentasi oleh indenter dengan menggunakan beban awal. Setelah itu indentasi diteruskan dengan memberikan beban utama selama beberapa detik. Angka kekerasan benda uji langsung dapat dilihat di mesin.

Dalam pengelompokannya, pengujian *rockwell* dibagi menjadi dua yaitu *superficial rockwell* digunakan untuk spesimen yang tipis. Beban awalnya (*minor load*) adalah 3 kg, sedangkan beban utamanya (*major load*) adalah 15 kg, 30 kg dan 45 kg. Untuk *rockwell*, beban awalnya adalah 10 kg, sedangkan beban utamanya 60 kg dan 150 kg [11].

Rockwell menggunakan beberapa skala tergantung pada jenis indenter dan besar beban utama. Gambar 2.16 menunjukkan indenter *rockwell* yang sering digunakan, yaitu *rockwell* dengan bentuk kerucut intan dengan sudut puncak 120° .



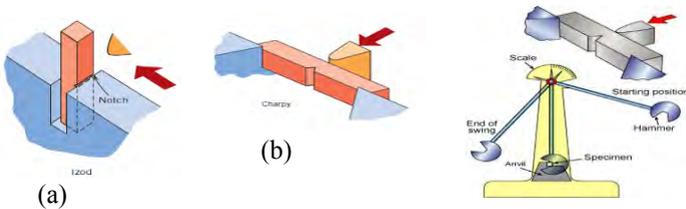
Gambar 2.16 Bentuk indenter *rockwell* [13]

2.5.3.3 Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* digunakan untuk mengetahui ketangguhan *impact* dan pola patahan *material guide vane coal mill*. Pada pengujian ini digunakan batang uji yang bertakik (*notch*) dan dipukul dengan sebuah bandul. Terdapat

dua macam *standard* pengujian yang digunakan, yaitu metode *charpy* (banyak digunakan di Amerika dan negara-negara lain) dan metode *izod* (digunakan di Inggris) ^[11].

Pada metode *charpy*, batang uji diletakkan mendatar dan ujung-ujungnya ditahan ke arah mendatar oleh penahan. Bandul berayun dan memukul batang uji tepat di belakang takikan. Pada Gambar 2.17 menjelaskan metode dan dimensi spesimen *impact* tersebut, dan sesuai dengan *standard JIS Z 2202*.



Gambar 2.17 Skema pengujian *impact izod* (a) dan *charpy* (b) ^[11]

Impact energy, ketahanan batang uji terhadap pukulan (*impact*) dinyatakan sebagai ketangguhan bahan terhadap beban kejut dan pada batang uji yang bertakik.

Selain *impact energy*, pada pengujian impak juga bisa didapatkan *impact strength*. Cara untuk mendapatkan *impact strength* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara pengamatan dan teoritis. Kekuatan impak (*impact strength*) adalah energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dan dapat langsung dilihat pada mesin uji *impact*. Sedangkan secara teori, energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan berat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan setelah *impact*. Energi yang dipakai untuk mematahkan batang uji dapat dihitung sebagai berikut:

energi awal (E_0) : $W_h = W \times l(1 - \cos \alpha)$

energi awal (E_1) : $W_{h1} = W \times l(1 - \cos \beta)$

Energi untuk mematahkan batang uji adalah:

$$E_{max} = W \times l(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (kgm)$$

Kekuatan *impact* dari logam dapat dihitung dengan rumus:

$$IS = \frac{W \times l(\cos \beta - \cos \alpha)}{A} \quad (kgm/mm^2)$$

Dimana:

W = Berat bandul (kg)

A = Luas penampang pada bagian yang tertakik (mm^2)

l = Panjang batang bandul (m)

β = Sudut akhir ($^\circ$)

α = Sudut awal ($^\circ$)

Untuk menghitung energi seperti rumus diatas, terlebih dahulu dihitung panjang batang bandul (l) dan berat bandul (W). Panjang batang bandul didapat dengan cara mengayunkan bandul dengan sudut $\pm 10^\circ$ dalam 50 ayunan dan mencatat waktunya dengan stopwatch:

$$T_{SO} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Dimana :

g = 9,8 m/s²

Sedangkan berat bandul (W) dapat dihitung dengan rumus:

$$E_{max} = W \times l(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (kgm)$$

Dimana:

E_{max} = 30 kgm

α = 156 $^\circ$

β = 0 $^\circ$

Selain mengukur *impact energy*, pengujian *impact* juga digunakan untuk mempelajari pola patahan, apakah patah getas (*brittle fracture*) atau patah ulet (*ductile fracture*). Untuk mempelajari ini dilakukan pengamatan visual pada permukaan patahan. Patahan getas (*granular fracture*) tampak berkilat dan berbutir. Sedangkan patahan ulet (*shear fracture*) tampak lebih gelap dan seperti berserabut ^[11].

2.6 Penelitian Terdahulu

1. R. Vuthaluru dan kawan-kawan pada tahun 2005 meneliti tentang *Investigation of Wear Pattern in a Complex Coal Pulveriser Using CFD Modelling*. Pada penelitian tersebut dilakukan analisa dan mensimulasikan gerakan partikel udara dan batubara di dalam *pulverize* untuk menyelidiki efek dari saluran udara terhadap pola keausan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan euler-langrange. Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah memodifikasi jalur aliran udara menggunakan *baffle splitters* di saluran udara utama, terbukti dapat mengoptimisasikan aliran udara dan penurunan potensi keausan pada komponen yang bersangkutan ^[14].
2. Eduardo Albertin dan kawan-kawan pada tahun 2006 meneliti tentang *Maximizing Wear Resistance of Balls for Grinding of Coal*. Pada penelitian tersebut dilakukan analisa terhadap keausan *ball mill* yang terdapat pada sebuah pembangkit listrik di Brazil. Analisa tersebut membandingkan antara *material ball mill* yang digunakan saat itu, dengan *material ball mill seven grades of high chromium cast iron* untuk menggiling batubara yang digunakan pada pembangkit listrik tersebut. Kesimpulan yang didapat dari analisa tersebut adalah, tingkat keausan *cast iron* dengan kadar kandungan Cr 25-30% meningkatkan

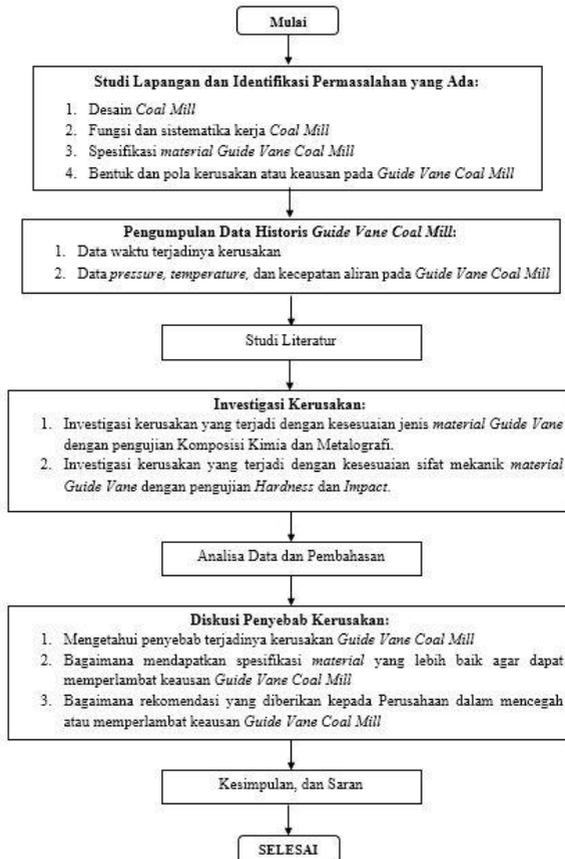
ketahanan aus hingga 10-20% dibandingkan material sebelumnya. Sedangkan *cast iron* dengan kadar kandungan Cr 15-18% meningkatkan ketahanan aus hingga 50% dibandingkan material sebelumnya ^[15].

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian pada tugas akhir ini akan dilaksanakan dengan mengikuti diagram alir penelitian yang ditunjukkan oleh gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan yang Ada

Tahap ini dilakukan penulis untuk mengetahui dan mendapatkan data-data awal dari kondisi aktual yang terjadi, serta mempelajari permasalahan yang ada di lapangan dan dapat dijadikan topik Tugas Akhir. Tahap ini menyangkut area *coal mill* dan *kiln* Pabrik Tuban 4 PT. Semen Gresik yang digunakan sebagai objek penelitian. Hal yang menjadi dasar dari identifikasi masalah adalah permasalahan seperti yang telah dikemukakan sebelumnya pada latar belakang, yaitu keausan pada *guide vane coal mill*.

3.3 Pengumpulan Data Historis Guide Vane Coal Mill

Tahap ini adalah mengumpulkan data-data historis *guide vane coal mill* yang ada di lapangan, untuk menunjang analisa yang akan dilakukan penulis. Seluruh data-data diperoleh dari unit Pemeliharaan Mesin *Kiln* dan *Coal Mill* 3-4. Data-data tersebut yaitu:

1. Data waktu terjadinya keausan pada *guide vane coal mill*
2. Data *pressure*, *temperature*, dan kecepatan aliran pada *guide vane coal mill*

3.4 Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses ulasan terhadap buku dan jurnal yang mendukung dalam memberikan informasi tentang faktor-faktor yang terkait dengan kerusakan yang sejenis. Literatur utama yang akan dijadikan pedoman penulis berasal dari buku-buku referensi maupun data yang bersumber dari perusahaan PT. Semen Gresik serta dari materi-materi terkait yang ada dalam perkuliahan. Pada tahap ini akan didapatkan referensi literatur untuk mendukung pemecahan permasalahan yang akan dianalisa.

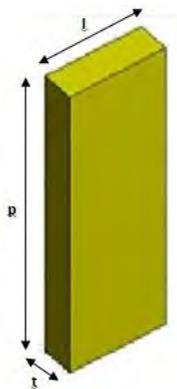
3.5 Investigasi Kerusakan

Studi literatur yang tadi sudah dilakukan akan dijadikan pedoman untuk menginvestigasikan permasalahan yang akan dianalisa sehingga mendapatkan hasil yang akurat. Investigasi yang dilakukan yaitu :

1. Investigasi kerusakan yang terjadi dengan kesesuaian jenis *material guide vane* dengan pengujian komposisi kimia dan metalografi.
2. Investigasi kerusakan yang terjadi dengan kesesuaian sifat mekanik *material guide vane* dengan pengujian *hardness* dan *impact*.

3.5.1 Dimensi dan *Material Guide Vane Coal Mill*

Guide vane yang digunakan pada *classifier coal mill* merupakan plat modifikasi yang dipesan sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan. Gambar 3.2 ini menjelaskan dimensi dari *guide vane* tersebut.



Gambar 3.2 Dimensi *guide vane coal mill*

Keterangan pada gambar 3.2 beserta ukurannya adalah sebagai berikut:

Panjang (p)	: 2420 mm
Lebar (l)	: 215 mm
Tebal (t)	: 20 mm

Perbedaan ketebalan pada *duo plate* (10 mm) saat menjadi *guide vane* (20 mm) itu dikarenakan dilakukan modifikasi *duo plate* saat digunakan untuk *guide vane*. Modifikasi tersebut dilakukan terhadap dua buah *duo plate* yang di las. Sisi yang dilakukan pengelasan adalah sisi *mild steel* pada dua buah *duo plate* tersebut. Untuk lebih jelasnya akan dijelaskan melalui gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Ketebalan lapisan paduan material *duo plate* yang digunakan pada *guide vane coal mill*

3.5.2 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggaris dan jangka sorong
2. Kamera *iphone 5*
3. Alat pemotong (gerinda, gergaji mesin, dan *cutting wheel*)
4. Mikroskop optis (*light microscope*)
5. Peralatan *grinding, polishing, dan etching*
6. Mesin *Optical Emission Spectroscopy* (OES)
7. Mesin *hardness test* (merk Frank)
8. Mesin *impact test* (merk Frank)

3.5.3 Identifikasi Komposisi Kimia

Identifikasi komposisi kimia dilakukan dengan metode *Optical Emission Spectroscopy* (OES) pada kedua *layer* yang terdapat pada material *guide vane*, yaitu *hardfacing* dan *mild steel*. Dari pengujian tersebut diperoleh informasi paduan yang terkandung di dalam *guide vane coal*

mill agar dapat menentukan jenis *material guide vane coal mill*. Pada gambar 3.4 berikut ini merupakan peralatan metode *Optical Emission Spectroscopy* (OES) yang digunakan pada pengujian ini.



Gambar 3.4 Peralatan metode *Optical Emission Spectroscopy* (OES)

Pada tabel 3.1 di bawah ini adalah rancangan tabel hasil studi eksperimen pengujian komposisi kimia.

Tabel 3.1 Rancangan tabel hasil studi eksperimen pengujian komposisi kimia

Element	Composition (%)
Fe	
C	
Si	
Mn	
P	
S	
Cr	
Mo	
Ni	
Al	
Co	
Cu	
Nb	
Ti	
V	
W	
Pb	
Sn	
B	
Ca	
Zr	
Zn	
Bi	
As	
N	
Se	
Sb	
Ta	

3.5.4 Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan juga untuk mengetahui jenis *material guide vane coal mill*. Tahap persiapan metalografi untuk spesimen dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan komponen untuk dijadikan spesimen uji.
2. *Grinding* : Spesimen digosok pada mesin *grinder*, dari yang paling kasar dimulai dengan *grade* 50 sambil dialiri air. Setelah terjadi garis-garis goresan yang sejajar dan merata, spesimen dicuci dengan air, dan kertas gosok diganti dengan *grade* yang lebih tinggi secara *gradual* yaitu 120, 150, 220, 400, 600, 800, 1000, 1200, 2000.
3. *Polishing* : Spesimen dipoles dengan ditekan pada permukaan piringan yang berputar cepat. Piringan ini dilapisi kain penggosok yang telah ditaburi bubuk alumina. Untuk kehalusan 0,05 mikron harus menggunakan kain penggosok lain. Agar pemakaiannya tidak berantakan, bubuk 1 mikron ditaburkan pada kain penggosok 10", sedang bubuk 0,05 mikron pada kain penggosok 8". Akan didapatkan permukaan spesimen yang mengkilap seperti cermin. Untuk membersihkan sisa-sisa *polishing powder* dan goresan-goresan, spesimen dicuci dengan air dan alkohol kemudian dikeringkan dengan *dryer* atau digosok dengan *soft tissue*.



Gambar 3.5 Mesin *grinding* dan *polishing*

4. *Etching* : Mencelup permukaan spesimen ke dalam larutan kimia tertentu (*etching reagent*) dalam waktu yang singkat (dari beberapa detik sampai beberapa

puluh detik). Untuk masing-masing logam diperlukan *etching reagent* dan lamanya waktu pencelupan yang berbeda-beda. Adapun *etching reagent* yang digunakan untuk spesimen ini adalah *nital* dengan lama waktu pencelupan 5 detik. Tujuannya untuk melihat struktur mikro secara umum (*general structure*) pada permukaan spesimen tersebut.

5. Pengamatan struktur mikro : Pengamatan ini dilakukan dalam dua kali perbesaran, yaitu perbesaran 100 kali dan perbesaran 500 kali. Perbesaran dilakukan dengan menggunakan mikroskop optis seperti pada gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Mikroskop optis

3.5.5 Hardness Test

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik *material guide vane coal mill* dengan menggunakan metode *rockwell* skala c dan mesin uji merk Frank yang dapat dilihat pada gambar 3.7. Metode ini sangat mudah dikarenakan hasilnya dapat langsung dibaca pada alat uji. Pengujian ini dilakukan kepada masing-masing *layer* yang terdapat pada spesimen uji.



Gambar 3. 7 Alat uji kekerasan *rockwell c* (merk Frank)

Dari pengujian kekerasan ini didapatkan nilai kekerasan dalam HRC (*Hardness Rockwell C*). Pengujian ini dilakukan dengan melakukan indentasi sebanyak 10 titik. Pengindentasian dilakukan pada bagian permukaan spesimen uji yang rata. Lokasi titik-titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Panah merah tersebut merupakan daerah yang dilakukan indentasi terhadap spesimen uji *hardness test*

Angka kekerasan pengujian ini yaitu dengan cara diberikan beban berupa indenter kerucut intan dengan sudut puncak 120°. Adapun prosedur pengujian kekerasan *Rockwell c* yaitu :

1. Pemetaan titik indentasi pada daerah permukaan yang rata dengan jarak minimal 3 mm.
2. Spesimen uji dipasang pada mesin *rockwell c* dan diberi beban awal (*minor load*) sebesar 10 kg.
3. Penekanan dilanjutkan dengan diberi beban utama 150 kg (*major load*) selama 5-10 detik.

Pada tabel 3.2 di bawah ini adalah rancangan tabel hasil studi eksperimen pengujian kekerasan.

Tabel 3.2 Rancangan tabel hasil studi eksperimen pengujian kekerasan

Pengujian ke-	Nilai Kekerasan (HRC)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

3.5.6 *Impact Test*

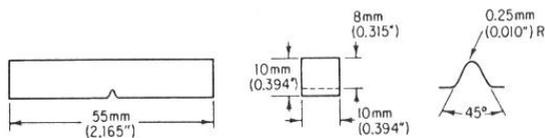
Pengujian *impact* ini dilakukan juga untuk mengetahui sifat mekanik *material guide vane coal mill*. Pengujian ini mengacu pada *standard* JIS Z 2242, dilakukan pada temperatur kamar, dan menggunakan mesin uji merk

Frank seperti gambar 3.9. Metode yang digunakan adalah *charpy* dengan melakukan pengujian kepada 3 buah spesimen uji. Takikan V diberikan pada sisi *mild steel*, dan kemudian ayunan bandul memukul sisi *hardfacing*.



Gambar 3.9 Mesin uji *impact*

Pada gambar 3.10 berikut ini merupakan *standard* dimensi spesimen untuk pengujian *impact* sesuai dengan acuan JIS Z 2242.



Gambar 3.10 Dimensi *standard* uji *impact*

Adapun langkah – langkah dalam pengujian ini yaitu:

1. Spesimen uji diletakkan pada landasan (*anvil*) dan *notch* (takik) harus teletak di tengah. Arah *notch*

menghadap ke arah yang berlawanan dengan datangnya bandul.

2. Bandul atau beban dinaikkan setinggi atau sebesar sudut 15°
3. Posisi jarum penunjuk skala diatur pada posisi nol
4. Bandul dilepas
5. Energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen uji dilihat pada jarum skala penunjuk dan dicatat.
6. *Impact strength* dari material dihitung.
7. Menganalisa pola patahan spesimen uji

Pada tabel 3.3 di bawah ini adalah rancangan tabel hasil studi eksperimen pengujian *impact*.

Tabel 3.3 Rancangan tabel hasil studi eksperimen pengujian *impact*

Kode Spesimen	I	II	III
<u>Sebelum Percobaan</u>			
Bahan	Duo Plate	Duo Plate	Duo Plate
Standar pengujian	JIS Z 2242	JIS Z 2242	JIS Z 2242
Standar specimen	JIS Z 2202	JIS Z 2202	JIS Z 2202
Temperatur	25 °C	25 °C	25 °C
Panjang spesimen (B)	55 mm	55 mm	55 mm
Tebal (A)	10 mm	10 mm	10 mm
Tebal (C)	10 mm	10 mm	10 mm
<u>Saat percobaan</u>			
Waktu periode (T_{50})	91/0,823 sekon	91/0,823 sekon	91/0,823 sekon
Jarak tumpuan (p)	40 mm	40 mm	40 mm
Sudut awal (α)	156 °C	156 °C	156 °C
Sudut akhir (β)			
Energi untuk mematahkan (Ekpm)			
Energi untuk mematahkan (Joule)			
Energi untuk mematahkan (Joule/mm ²)			
<u>Sesudah percobaan</u>			
Tebal patahan (D)			
Tebal sisa patahan (D')			
Tebal Hard Facing			

3.6 Analisa Data dan Pembahasan

Tahap ini dilakukan penulis untuk menganalisa atas semua data yang telah didapatkan. Berdasarkan data-data tersebut kemudian diberikan pembahasan yang mendukung terkait tujuan penelitian.

3.7 Diskusi Penyebab Kerusakan

Dari keseluruhan yang telah dilakukan dapat didiskusikan hal-hal apa saja yang sekiranya menjadi penyebab kerusakan *guide vane coal mill*, agar dapat mengetahui cara menanganinya. Hasil diskusi tersebut nantinya akan menjawab permasalahan sebagai berikut :

1. Mengetahui penyebab terjadinya kerusakan *guide vane coal mill*
2. Bagaimana mendapatkan spesifikasi *material* yang lebih baik agar dapat memperlambat keausan *guide vane coal mill*
3. Bagaimana rekomendasi yang diberikan kepada Perusahaan dalam mencegah atau memperlambat keausan *guide vane coal mill*

3.8 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian Tugas Akhir ini. Setelah permasalahan dianalisa, maka akan dapat menjelaskan fenomena dan mekanisme kerusakan atau keausan berdasarkan data yang diperoleh. Berdasarkan data tersebut pula akan diperoleh solusi yang paling baik dan bisa dijadikan sebagai kesimpulan agar dapat dijadikan pertimbangan untuk PT. Semen Gresik dalam menanggulangi atau menghindari kasus kerusakan yang serupa.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas data yang didapat dan menganalisa mengenai kemungkinan penyebab terjadinya keausan pada *guide vane coal mill* yang dapat menyebabkan performa yang tidak maksimal pada *classifier* yang terdapat pada *coal mill*. Adapun pengujian yang perlu dilakukan untuk mengetahui penyebab kegagalan atau *failure* meliputi:

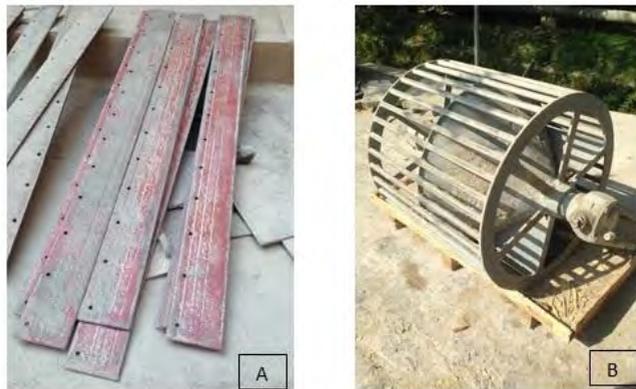
1. Melakukan peninjauan kondisi di lapangan untuk melihat keausan *material guide vane coal mill*. Analisa dilakukan terhadap sistematika kerja *coal mill* untuk memperkirakan kemungkinan penyebab keausan.
2. Pengujian komposisi kimia dan metalografi yang bertujuan untuk mengetahui jenis material yang digunakan sebagai *overlay*.
3. Pengujian terhadap sifat mekanik (*impact* dan *hardness test*) *material guide vane*, untuk mendapatkan konfirmasi *material* yang diperkirakan sebelumnya.

Data-data tersebut mengacu pada kondisi operasional, pola kerusakan, dan informasi penunjang lainnya yang didapatkan dari pihak perusahaan. Dari hasil studi lapangan dan studi literatur pada komponen *guide vane coal mill* yang mengalami keausan diperoleh beberapa data. Data yang didapat ini nantinya digunakan untuk mempermudah dalam analisa dan pembahasan keausan yang terjadi. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

4.1 Cara Kerja *Dynamic Classifier*

Classifier yang berada di dalam *coal mill* termasuk ke dalam kategori *dynamic classifier* yang terdiri dari dua bagian, yaitu *guide vane* dan *rotor*. Prinsip kerja *classifier* adalah membagi suatu aliran material menjadi dua atau lebih

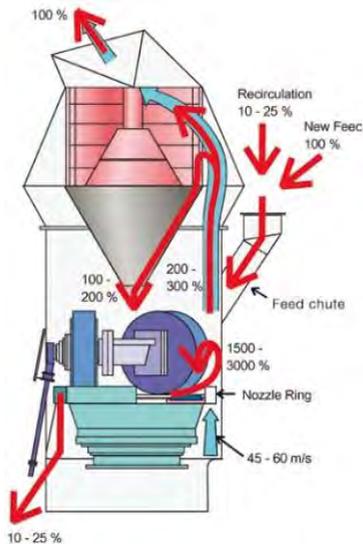
aliran dengan distribusi ukuran partikel yang berbeda. Satu aliran mengandung lebih banyak partikel halus dan aliran yang lain lebih banyak mengandung partikel kasar. Keuntungan adanya *classifier* pada *coal mill* adalah lebih mudah mengontrol kehalusan produk, efisiensi penggilingan menjadi lebih baik, dan akan menaikkan kapasitas *mill*. Bertambahnya kapasitas *mill* disebabkan karena adanya pemisahan antara *material* kasar dan *material* halus oleh *classifier*, sehingga *material* yang digiling benar-benar *material* yang masih kasar. Hal ini juga akan menurunkan konsumsi energi untuk penggilingan. *Guide vane* dan *rotor* tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 *Guide vane* (A) dan rotor (B) ^[1]

Guide vane pada *classifier* berfungsi untuk menentukan arah dan kecepatan aliran tertentu. Komponen ini juga tidak memerlukan alat penggerak dalam memisahkan antara batubara kasar dengan batubara halus. Batubara halus akan melewati *guide vane* dengan bantuan *hot gas* yang berasal dari *hot gas generator*.

Gambar 4.2 berikut ini menampilkan sistematika kerja yang terjadi pada *coal mill*.



Gambar 4.2 Sistematika kerja *coal mill* [4]

Sistematika kerja *coal mill* ditampilkan pada gambar 4.2, batubara masuk melalui *inlet feed* kemudian digiling hingga menjadikannya dalam bentuk *pulverize* atau *powder*. Batubara *powder* tersebut akan tertiuip *hot gas* yang dihasilkan oleh *hot gas generator* menuju *classifier* yang berada di dalam *coal mill*. Butiran yang halus akan melewati *guide vane* dan *rotor* karena memiliki kecepatan yang cukup tinggi untuk melewati *rotor*. Butiran kasar yang ikut terangkat menuju *classifier* akan melewati *guide vane* dan terpukul oleh *rotor* karena kecepatannya kurang tinggi. Batubara kasar yang terpukul oleh *rotor* tersebut akan menumbuk *guide vane*, kemudian akan jatuh kembali menuju *grinding table* untuk dihaluskan kembali.

Pada gambar 4.3 berikut ini menunjukkan arah aliran gaya dan sistematika pemisahan batubara kasar dan batubara halus yang terjadi pada *classifier coal mill*.

Centrifugal force

$$F_z = m \times (v_t^2/R)$$

Aerodynamic force

$$F_L = C_d \times A \times \rho_a \times (\Delta v_t^2/2)$$

Gravity

$$F_G = m \times g$$

m : particle mass

v_t : tangential speed

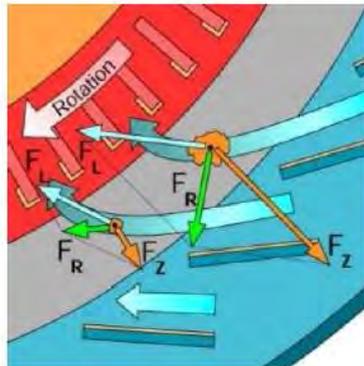
R : radius

C_d : aerodynamic coefficient f(Re)

ρ_a : air density

A : particle section

Δv_t : $v_t(\text{air}) - v_t(\text{particle})$



Gambar 4.3 Arah aliran gaya dan sistematika yang terjadi pada *classifier coal mill* ^[3]

Gambar 4.3 di atas menjelaskan arah aliran dan gaya sistematika pada *classifier coal mill* untuk memisahkan *material* kasar dan halus. *Lift Force* (F_L) dikurangi *Gravity Force* (F_G) merupakan gaya angkat untuk membawa batubara menuju *classiffier*, gaya ini dihasilkan oleh aliran udara pada *coal mill* yang melewati *guide vane* menuju *rotor*. *Centrifugal Force* (F_z) merupakan gaya yang dihasilkan oleh aliran udara dari putaran *rotor*, pada *case* ini aliran udara menuju ke arah *guide vane coal mill*. Gaya Resultan (F_R) disini adalah untuk menentukan arah batubara. Semisal arah tersebut benar batubara akan melewati *rotor*, dan jika tidak batubara akan terpekuk oleh *rotor* dan jatuh kembali ke *grinding table*.

Tabel 4.1 di bawah ini menunjukkan data penunjang pada *coal mill* yang didapatkan saat melakukan studi lapangan.

Tabel 4.1 Data penunjang yang terdapat pada *coal mill*

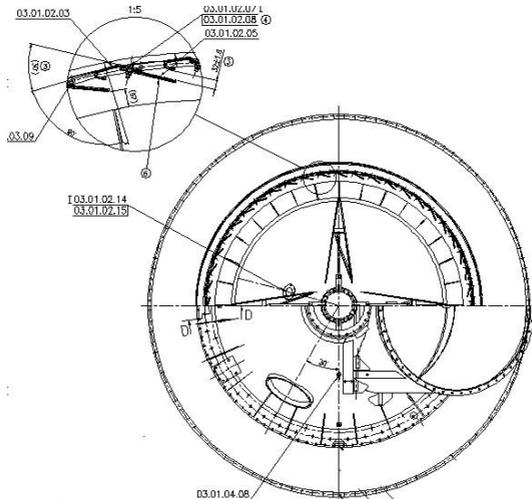
No.	Data	Keterangan
1.	<i>Temperature Inlet</i>	292°C
2.	<i>Temperature Outlet</i>	71°C
3.	<i>Pressure Inlet</i>	-12,2 Mbar
4.	<i>Pressure Outlet</i>	-53 Mbar
5.	<i>Differential Pressure</i>	34,1 Mbar
6.	Kecepatan <i>Hot Gas</i>	52,5 m/s
7.	Kecepatan Rotor	100,25 rpm
8.	Jari-jari Rotor	1810 mm
9.	Jenis Batubara yang digunakan	<i>Medium Calorie Coal</i> (5700 kcal/kg)
10.	Densitas Batubara	1430 kg/m ³
11.	Jarak sela-sela <i>Guide Vane</i>	32 mm
12.	Kapasitas <i>design Coal Mill</i>	80 ton/hour
13.	Kapasitas <i>Coal Mill</i> di lapangan	59 ton/hour

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat kapasitas *coal mill* di lapangan sebesar 59 ton/hour. Hal tersebut menunjukkan kapasitas *coal mill* di lapangan masih berada di bawah kapasitas *design coal mill* yaitu sebesar 80 ton/hour. Dari hal tersebut dapat diketahui kapasitas *coal mill* bukanlah penyebab dari kerusakan yang terjadi pada *guide vane*, karena seharusnya dengan lebih kecilnya kapasitas *coal mill* di lapangan tersebut *guide vane* lebih sedikit mengalami interaksi dengan batubara. Ketidaksiuaian jenis *material*

yang digunakan mengindikasikan penyebab terjadinya kerusakan yang dialami *guide vane*, serta menjadi salah satu penyebab tidak maksimalnya performa *guide vane* terutama dalam hal *life time*.

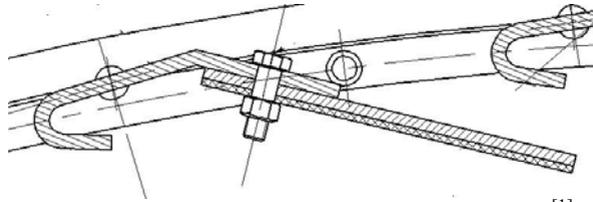
4.2 Data Spesifikasi *Material Guide Vane Coal Mill*

Setelah dilakukan studi lapangan didapatkan beberapa informasi tentang dimensi dari *material guide vane coal mill*. Pada gambar 4.4 di bawah ini menunjukkan posisi *guide vane* pada gambar teknik.



Gambar 4.4 Posisi pada gambar teknik *guide vane coal mill* ^[1]

Selanjutnya pada gambar 4.5 di bawah ini akan menampilkan dimensi *guide vane coal mill*.



Gambar 4.5 Dimensi *guide vane coal mill* ^[1]

Keterangan pada gambar 4.5 beserta ukurannya adalah sebagai berikut:

Panjang (p) : 2420 mm

Lebar (l) : 215 mm

Tebal (t) : 20 mm ^[1]

Material yang digunakan pada *guide vane coal mill* saat ini adalah *duo plate*. *Duo plate* merupakan *material* yang dibentuk oleh dua jenis lapisan paduan yang berbeda. Jenis paduan *material* dari *duo plate* adalah *mild steel* setebal 6 mm dilapisi dengan *hardfacing* setebal 4 mm. Pada *guide vane coal mill* ini menggunakan dua buah *duo plate* yang di las pada masing-masing *layer mild steel*, sehingga terdapat empat *layer* pada *guide vane* tersebut. Tetapi hal tersebut berbeda dengan yang tergambar pada gambar teknik gambar 4.5 yang didapat dari pihak perusahaan. ^[1]

4.3 Menganalisa Jenis *Material*

Tahapan ini dilakukan dengan cara pengujian *material* yaitu komposisi kimia dan metalografi.

4.3.1 Pengujian Komposisi Kimia

Berikut ini adalah hasil pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES), pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dari *material* yang berpengaruh terhadap jenis *material* tersebut. Pada tabel 4.2 berikut ini menunjukkan komposisi kimia *material guide vane* pada *layer hardfacing*.

Tabel 4.2 Komposisi kimia pada *layer hardfacing*

Element	Composition (%)
Fe	74,5
C	3,79
Si	1,18
Mn	1,35
P	0,0111
S	0,0089
Cr	18,8
Mo	<0,0050
Pb	<0,0050
Ni	0,0864
Al	0,0137
Co	0,0139
Cu	0,0220
Nb	0,0205
Ti	0,0538
V	0,0344
W	0,0114

Berdasarkan pengujian komposisi kimia *material guide vane* pada *layer hardfacing* tersebut, diketahui mengandung tiga *element* terbesar yaitu Fe sebesar 74,5%, Cr sebesar 18,8%, dan C sebesar 3,79%. *Material* jenis ini merupakan *high chromium white irons*^[6] yang sering disebut sebagai Fe-Cr-C *overlay*.

Pada tabel 4.3 berikut ini menunjukkan hasil uji komposisi kimia *material mild steel* yang merupakan *base plate* dari Fe-Cr-C *overlay*.

Tabel 4.3 Komposisi kimia pada *layer mild steel*

Element	Composition (%)
Fe	98,7
C	0,204
Si	0,255
Mn	0,520
P	0,0198
S	0,0218
Cr	0,0455
Mo	0,0150
Ni	0,0342
Al	0,0031
Co	0,0026
Cu	0,0299
Nb	0,0119
Ti	0,0024
V	0,0056
W	0,0053
Pb	0,0010
Sn	0,0044
B	0,0009
Ca	0,0008
Zr	0,0112
Zn	0,0008
Bi	0,0058
As	0,0347
N	0,0209
Se	<0,0010
Sb	<0,0010
Ta	<0,0040

Mild steel adalah *material* yang memiliki kadar karbon rendah, atau biasa disebut *low carbon steel*. Disebut *low carbon steel* jika suatu material mengandung kadar karbon

antara 0,05% - 0,25%. Pada data hasil pengujian komposisi kimia di atas dapat diketahui *layer mild steel* tersebut mengandung 0,204% C (karbon). Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat diketahui *layer* tersebut benar termasuk jenis *mild steel* atau *low carbon steel*. Mengacu pada literatur ^[7] *material* tersebut termasuk ke dalam *material* yang biasa digunakan dalam pembuatan plat AISI 1023. *Material* tersebut merupakan *standard carbon steels*.

4.3.2 Pengujian Struktur Mikro pada *Layer Hardfacing Material Guide Vane Coal Mill* Setelah Dilakukan Pengetsaan

Kondisi pengamatan metalografi sesudah dilakukan pengetsaan dilakukan untuk melihat struktur mikro dari *material hardfacing* agar dapat diketahui jenis *material* yang digunakan.

Pada gambar 4.6 dan gambar 4.7 ini menampilkan struktur mikro dari *layer hardfacing* yang terdapat pada *material guide vane coal mill* setelah dilakukan pengetsaan.



Gambar 4.6 Foto struktur mikro pada *guide vane coal mill layer hardfacing* setelah di-etsa dan dilakukan perbesaran 100x



Gambar 4.7 Foto struktur mikro pada *guide vane coal mill layer hardfacing* setelah di-etsa dan dilakukan perbesaran 500x

Setelah dilakukan uji metalografi, dari hasil yang diperoleh dapat dilihat struktur mikro *layer hardfacing material guide vane coal mill*. Gambar tersebut menunjukkan adanya *pearlite*, *austenite*, dan *flake*, dari hal tersebut menunjukkan *hardfacing* tergolong *material martensitic*.

Berdasarkan literatur ^[8] didapatkan struktur mikro dari *material Fe-Cr-C* ditunjukkan pada gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8 Foto struktur mikro Fe-Cr-C [8]

Mengacu pada literature [8] tersebut struktur mikro pada gambar 4.7 memiliki kemiripan dengan struktur mikro pada gambar 4.8, sehingga dari perbandingan ini mengindikasikan *layer hardfacing* tergolong jenis *material Fe-Cr-C*.

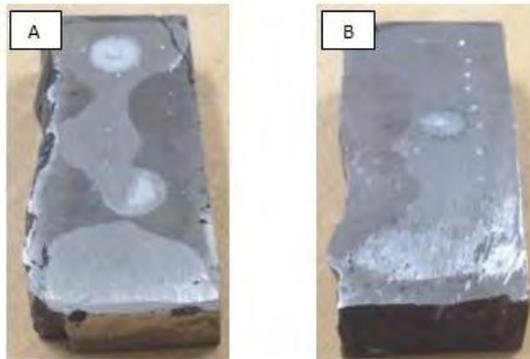
4.4 Menganalisa Sifat Mekanik

Analisa ini dilakukan dengan pengujian *hardness* dan *impact* untuk mengetahui kemampuan dan sifat mekanik *material guide vane coal mill*.

4.4.1 *Hardness Test*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan *material guide vane coal mill*. Uji kekerasan ini menggunakan metode uji kekerasan *rockwell c*, untuk didapatkan nilai kekerasan dalam HRC (*Hardness Rockwell C*). Pengujian ini dilakukan dengan melakukan indentasi sebanyak 10 titik. Pengindentasian dilakukan pada bagian permukaan spesimen

uji yang rata. Lokasi titik-titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.9. Nilai kekerasan pada pengujian juga dapat dilihat pada tabel 4.4 dan tabel 4.5.

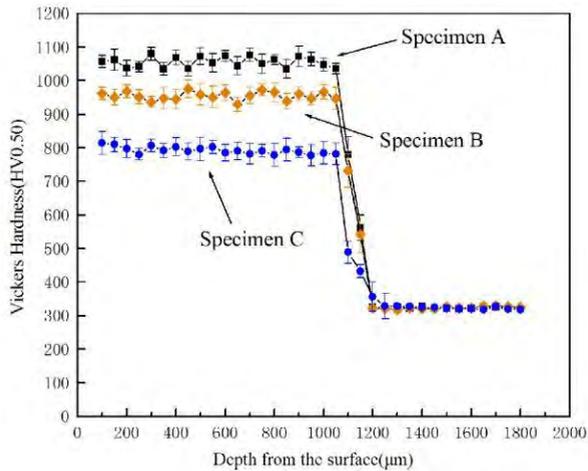


Gambar 4.9 Spesimen uji kekerasan pada *layer hardfacing* (A), dan spesimen uji kekerasan pada *layer mild steel* (B).

Tabel 4.4 Data hasil pengujian kekerasan pada *layer hardfacing*

Pengujian ke-	Nilai Kekerasan (HRC)
1	55
2	57
3	55
4	55
5	55
6	51
7	53
8	55
9	55
10	55

Dari nilai kekerasan yang didapat dari *layer hardfacing* setelah dilakukan 10 kali indentasi, didapatkan rata-rata sebesar 54,6 HRC. Berdasarkan literatur [8] didapatkan grafik perbandingan antara kekerasan (HV) dengan kedalaman dari permukaan (μm) terhadap tiga spesimen uji berbeda yang ditunjukkan pada gambar 4.10 di bawah ini.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan kekerasan (HV) dengan kedalaman dari permukaan (μm) terhadap tiga spesimen uji berbeda [8]

Dari gambar 4.10 diketahui hasil pengujian kekerasan pada Spesimen C yang dilakukan Fenggui Lu sebesar 800 HV atau setara dengan 62,5 HRC tersebut memiliki nilai kekerasan rata-rata yang berbeda dengan hasil pengujian kekerasan *layer hardfacing material guide vane coal mill* dengan jenis struktur mikro yang serupa. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan metode proses pengelasan antara *layer hardfacing* dengan *layer base plate* tersebut.

Tabel 4.5 Data hasil pengujian kekerasan pada *layer mild steel*

Pengujian ke-	Nilai Kekerasan (HRC)
1	26
2	27
3	26
4	28
5	26
6	25
7	27
8	26
9	24
10	26

Menurut literatur ^[9] *mild steel* memiliki nilai kekerasan 114 – 153 HB. Tetapi dari hasil yang didapat nilai kekerasan dari *layer mild steel* setelah dilakukan 10 kali indentasi didapatkan rata-rata sebesar 26,1 HRC atau setara dengan 255,98 HB. Hal ini mungkin saja terjadi akibat adanya *heat treatment* pada proses pembuatan *material* tersebut.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapat nilai kekerasan *material hardfacing* sebesar 54,6 HRC lebih besar dibanding nilai kekerasan yang dimiliki *mild steel* sebesar 26,1 HRC.

4.4.2 *Impact Test*

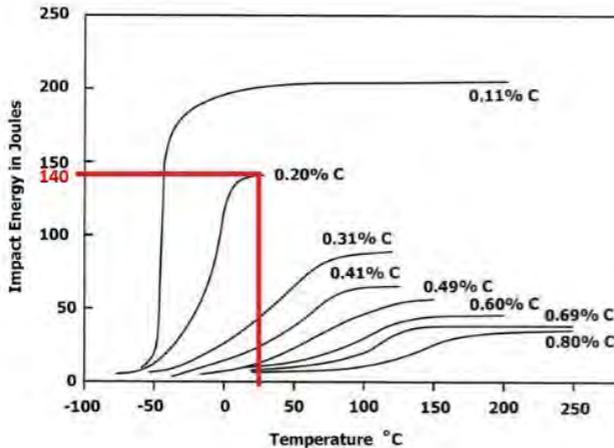
Uji *impact* dilakukan untuk mengetahui apakah sifat mekanik *material guide vane* memenuhi syarat untuk menerima beban *impact* dari batubara, sehingga dari hasil ini dapat dilakukan evaluasi kekuatan *material* apakah sesuai dengan kebutuhan atau tidak. Pada tabel 4.6 berikut menunjukkan hasil pengujian *impact* dari *material guide vane*.

Tabel 4.6 Data hasil pengujian *impact material guide vane coal mill*

Kode Spesimen	I	II	III
Sebelum Percobaan			
Bahan	Duo Plate	Duo Plate	Duo Plate
Standar pengujian	JIS Z 2242	JIS Z 2242	JIS Z 2242
Standar specimen	JIS Z 2202	JIS Z 2202	JIS Z 2202
Temperatur	25 °C	25 °C	25 °C
Panjang spesimen (B)	55 mm	55 mm	55 mm
Tebal (A)	10 mm	10 mm	10 mm
Tebal (C)	10 mm	10 mm	10 mm
Saat percobaan			
Waktu periode (T_{50})	91/0,823 sekon	91/0,823 sekon	91/0,823 sekon
Jarak tumpuan (p)	40 mm	40 mm	40 mm
Sudut awal (α)	156 °C	156 °C	156 °C
Sudut akhir (β)	114 °C	115,5 °C	115,5 °C
Energi untuk mematahkan (Ekpm)	7,9 Kpm	7,4 Kpm	7,5 Kpm
Energi untuk mematahkan (Joule)	77,473 J	72,569 J	73,55 J
Energi untuk mematahkan (Joule/mm ²)	0,968 J/mm ²	0,907 J/mm ²	0,919 J/mm ²
Sesudah percobaan			
Tebal patahan (D)	8 mm	8 mm	8 mm
Tebal sisa patahan (D')	0 mm	0 mm	0 mm
Tebal Hard Facing	3,4 mm	3,9 mm	3,2 mm

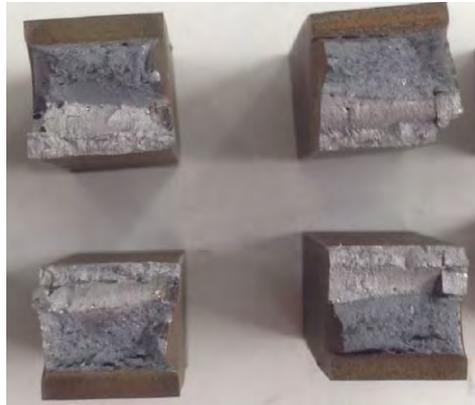
Dari tabel 4.6 diatas nilai *impact strenght* untuk *guide vane* pada *temperature* kamar (25 °C) rata-rata sebesar 74, 53 joule atau sebesar 0,9313 J/mm² . Nilai tersebut merupakan *impact strength material guide vane* yang memiliki dua *layer* yaitu *hardfacing* dan *mild steel*. Berdasarkan literatur ^[10] didapatkan grafik *the charpy v-notch ductile-brittle transition*

curves for several normalized irons and steels yang ditunjukkan pada gambar 4.11 di bawah ini.



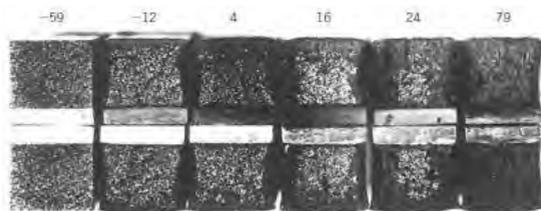
Gambar 4.11 Grafik *the charpy v-notch ductile-brittle transition curves for several normalized irons and steels* ^[10]

Dari gambar 4.11 di atas dapat diketahui hasil pengujian *impact charpy v-notch* pada *material* yang mengandung 0,20% karbon (*mild steel*) pada *temperature* 25°C adalah sebesar 140 joule. *Impact strength mild steel* lebih besar dibandingkan *material guide vane*. Hasil tersebut mengindikasikan *mild steel* memiliki ketangguhan yang lebih besar dibandingkan *guide vane*. Pada gambar 4.12 berikut ini menampilkan pola patahan spesimen hasil pengujian *impact*.



Gambar 4.12 Pola patahan spesimen uji *impact*

Dari gambar 4.12 dapat dilihat pola patahan pada spesimen uji berbentuk pasir, dan pola patahan *layer hardfacing* lebih mengkilap dibandingkan *layer mild steel* yang gelap. Mengacu pada buku referensi ^[11] didapatkan informasi pola patahan akibat uji *impact* serupa dengan gambar 4.13 berikut ini.



Gambar 4.13 Perbandingan pola patahan spesimen uji *impact* terhadap *temperature* ^[11]

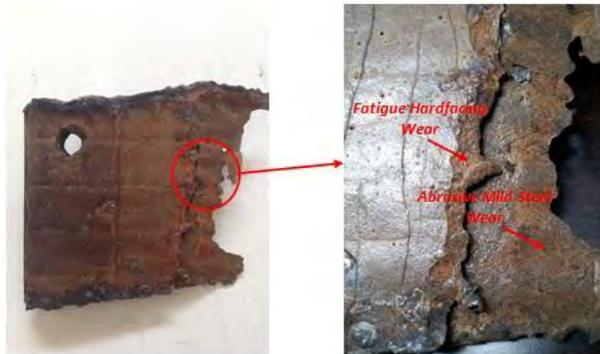
Pada gambar 4.13 di atas didapatkan informasi bahwa ketika pola patahan berserabut *material* AISI A36 tersebut menunjukkan patah ulet, hal itu ditunjukkan pada *material* yang pengujiannya dilakukan pada *temperature* 79°C. Dapat dikatakan getas ketika pola patahan mengkilat seperti yang

dialami *material* dengan pengujian pada *temperature* -59°C [11].

Berdasarkan hal tersebut, *material guide vane coal mill* memiliki pola patahan datar mengkilap pada *layer hardfacing* dan datar berpasir pada *layer mild steel*. Hal ini mengindikasikan *guide vane* tergolong *material* yang getas.

4.5 Diskusi Penyebab Kerusakan pada *Guide Vane Coal Mill*

Gambar 4.14 ini merupakan pengamatan makroskopik kerusakan yang terjadi pada *guide vane coal mill*.



Gambar 4.14 Permukaan *guide vane coal mill* yang mengalami kerusakan [1]

Pada gambar 4.14 di atas dapat dilihat pola kerusakan yang terjadi pada permukaan *guide vane coal mill*. Pada gambar tersebut dapat dilihat *material* mengalami beberapa retakan. Mengacu pada buku referensi [12] didapatkan informasi pola kerusakan *guide vane coal mill* akibat *fatigue wear* serupa dengan gambar 4.15 berikut ini.



Fatigue failure of a steel ball bearing

Gambar 4.15 *Fatigue wear* pada *ball bearing* ^[12]

Gambar 4.15 menunjukkan kerusakan yang terjadi pada *ball bearing*. Dari gambar didapatkan informasi bahwa terdapat retakan-retakan yang akan memicu terjadinya kerusakan atau pengelupasan *material*. Hal ini menunjukkan penyebab kerusakan pada *ball bearing* tersebut diakibatkan oleh *fatigue wear*.

Berdasarkan hal tersebut, *material guide vane coal mill* memiliki pola kerusakan retakan-retakan yang mengindikasikan penyebab kerusakan tersebut diakibatkan oleh *fatigue wear* yang dialami permukaan *guide vane* akibat mengalami beban berulang. *Fatigue wear* menyebabkan retak-retak mikro, kemudian retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan *material*.

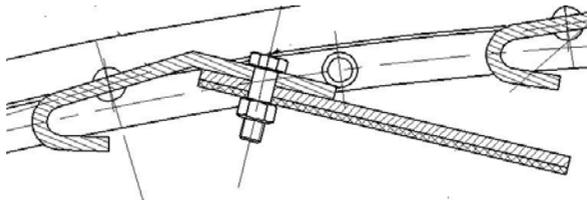
Pada gambar 4.16 dibawah juga merupakan hasil pengamatan makroskopik kerusakan yang terjadi pada permukaan *guide vane coal mill*.



Gambar 4.16 Permukaan *guide vane coal mill* yang mengalami kerusakan

Pada gambar 4.16 di atas dapat dilihat *duo plate* sisi depan (*hardfacing*) mengalami kerusakan lebih luas dibandingkan *duo plate* sisi belakang (*base plate*). Hal ini mengindikasikan *base plate* lebih tangguh dalam menerima beban berulang dibandingkan dengan *hardfacing*.

Pada gambar 4.17 di bawah ini menampilkan gambar teknik dari *guide vane coal mill*.



Gambar 4.17 Gambar teknik *guide vane coal mill* [1]

Gambar 4.17 di atas memperlihatkan terdapat dua *layer* (satu buah *duo plate*) yang terdapat pada *guide vane*. *Layer* dengan ketebalan yang lebih besar sebagai *base plate* menghadap ke sisi luar, sedangkan *layer* dengan ketebalan yang lebih kecil sebagai *hardfacing* menghadap ke sisi dalam. Pada kondisi operasional *guide vane* menggunakan dua buah *duo plate* dengan mengelas kedua sisi *base plate*, sehingga

guide vane terdiri dari empat *layer* dan kedua sisi permukaan *guide vane* merupakan *layer hardfacing*. *Layer base plate* dengan jenis *material mild steel* memiliki nilai ketangguhan yang lebih besar dibandingkan *layer hardfacing*, oleh sebab itu disarankan *guide vane* menggunakan satu buah *duo plate* dengan *layer mild steel* diposisikan menghadap ke sisi dalam. Hal tersebut dikarenakan sisi dalam *guide vane* cenderung akan lebih banyak terkena beban berulang, sehingga sisi dalam lebih membutuhkan nilai ketangguhan yang lebih besar.

Dari keseluruhan yang telah dilakukan dapat didiskusikan penyebab kerusakan *guide vane coal mill*, yaitu :

1. Terdapat perbedaan jumlah *duo plate* yang digunakan di lapangan dengan gambar teknik *standard* yang ada. Dari gambar teknik tidak ada keterangan mengenai sisi *layer* untuk *hardfacing* dan *mild steel*.
2. *Material guide vane coal mill* merupakan paduan antara *mild steel* AISI 1023 yang mengalami proses *heat treatment* pada *layer base plate* dan Fe-Cr-C *overlay* sebagai *layer hardfacing*. *Layer hardfacing* menyebabkan ketangguhan *guide vane* menurun, hal ini dapat diketahui dari ketangguhan *layer mild steel* sebagai *base plate* yang lebih besar dibandingkan ketangguhan yang dimiliki *guide vane*.
3. *Material guide vane* memiliki nilai kekerasan tinggi khususnya pada *layer hardfacing* yang terkena beban *impact* berulang. Hal tersebut menyebabkan *material hardfacing* tidak cukup tangguh terhadap *fatigue wear*.
4. *Guide vane* mengalami beban *impact* berulang yang terjadi dalam waktu yang lama. Berdasarkan pengamatan permukaan *guide vane* daerah kerusakan menyebar merata di daerah tertentu, tetapi dapat dilihat *layer hardfacing* memiliki luas permukaan

yang mengalami kerusakan lebih dominan dibandingkan *layer mild steel*.

halaman sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis keausan yang terjadi pada *guide vane coal mill* Pabrik Tuban 4 PT. Semen Gresik yang berdasar pada analisa semua data yang telah didapatkan dari Unit Pemeliharaan *Kiln* dan *Coal Mill* Pabrik 3-4 adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas *coal mill* di lapangan sebesar 59 ton/jam lebih kecil dibandingkan kapasitas *standard design coal mill* sebesar 80 ton/jam, tetapi *guide vane* yang terdapat pada *coal mill* masih sering mengalami kerusakan. Hal ini mengindikasikan ketidaksesuaian penggunaan jenis *material* pada *guide vane* tersebut.
2. Berdasarkan pengujian komposisi kimia dan metalografi pada *guide vane*, *layer hardfacing* tergolong jenis *material* Fe-Cr-C *overlay* dan *layer base plate* atau *mild steel* tergolong jenis *material* AISI 1023.
3. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan *layer hardfacing* Fe-Cr-C *overlay* sebesar 54,6 HRC. Dengan nilai kekerasan tersebut Fe-Cr-C *overlay* masih mengalami kerusakan akibat beban *impact* berulang dari tumbukkan partikel batubara.
4. Penyebab kerusakan *guide vane* disebabkan oleh *fatigue wear*. Hal ini dikarenakan *material guide vane* memiliki ketangguhan yang tidak baik dan tidak sesuai, sehingga *material guide vane* tidak cukup tangguh untuk menerima beban *impact* berulang. Hal ini dapat dilihat dari permukaan *guide vane* yang lebih dominan mengalami kerusakan yaitu pada *layer hardfacing* dibandingkan *layer mild steel*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak Unit Pemeliharaan *Kiln* dan *Coal Mill* Pabrik Tuban 3-4 PT. Semen Gresik adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan dua buah *duo plate* dengan *layer hardfacing* pada kedua sisi luar *guide vane* dirasa kurang tepat. Sisi dalam disarankan menggunakan *layer material* yang ulet dan tahan aus karena menerima beban *impact* dan *fatigue*, sedangkan pada sisi luar bisa tetap menggunakan *layer hardfacing Fe-Cr-C overlay* karena hanya mengalami beban gesek.
2. Khusus untuk sisi dalam yang mengalami beban *impact* disarankan menggunakan *material* yang lebih ulet tetapi tahan aus seperti *low alloy carbon steel* yang mengandung *mangan (low/medium carbon manganese steel)* untuk menggantikan *mild steel* pada *layer base plate*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Database PT. Semen Gresik Tuban, Jawa Timur.
- [2] Gunawan, Ryan. 2014. *Laporan Kerja Praktek*. Surabaya : ITS
- [3] Institut Semen dan Beton Indonesia. 2013. *Grinding Technology Separator*. Bandung : Asosiasi Semen Indonesia
- [4] Flsmidth. 2010. *Manual Book Atox Coal Mill*. USA : Flsmidth Inc.
- [5] Clark County School. 2012. *School Improvement Planning Basics*. USA : CCSD
- [6] Veinthal, Renno. 2013. *Abrasive Impact Wear and Surface Fatigue Wear Behaviour of Fe-Cr-C PTA Overlay*. Wiener Neustadt : Tallin University of Technology
- [7] ASM Metals Handbook. *Standard Carbon Steel*. AISI 1023.
- [8] Lu, Fenffui. 2014. *Microstructure and Wear Resistance of Chromium Carbide Coating In Situ Synthesized by Veb*. Shanghai : Shanghai Jiao Tong University.
- [9] JIS G 4051. *Standard Carbon Steel*. S20C
- [10] Storey, Randall. *The Effect of Carbon on The Charpy V-Notch Ductile Brittle Transition Curve*. Louisville : University of Lousville
- [11] Callister, William. 2006. *Material Science Of Engineering 7th Edition*. Utah : University of Utah
- [12] Bhushan, Bharat. 2001. *Modern Tribology Handbook Volume One*. Danvers : USA
- [13] Sidney, Avner. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy Second Edition*. New York : McGraw-Hill
- [14] Vuthaluru, R. 2005. *Investigation of Wear Pattern in a Complex Coal Pulveriser Using CFD Modelling*. Perth : Curtin University of Technology

- [15] Albertin, Eduardo. 2006. *Maximizing Wear Resistance of Balls for Grinding of Coal*. Sao Paulo : Technological Research Institute of the State of Sao Paulo

TENTANG PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap **Muhammad Irvan Anhar** dilahirkan pada tanggal 18 Juli 1992 di Jakarta. Merupakan anak bungsu dari pasangan Mat Nuh dan Sri Wahyuliani. Memulai pendidikan di TK Kasih Ananda dan SD Islam Al-Azhar 5 Kemandoran, kemudian melanjutkan sekolah ke SMP Negeri 19 Jakarta. Setelah tamat SMP penulis melanjutkan jenjang pendidikan ke SMA Negeri 70 Jakarta dengan jurusan Ilmu Pasti Alam dan lulus pada tahun 2010. Setelah dinyatakan lulus dari SMA, penulis melanjutkan pendidikannya di salah satu jurusan terbaik pada salah satu Perguruan Tinggi Negeri yang terbaik di Indonesia yaitu Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, dan memperoleh gelar Sarjana pada bulan September 2015.

Ketika kuliah, penulis mengambil bidang studi metalurgi dengan Tugas Akhir spesifik pada bidang Analisa Kegagalan. Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan perkuliahan dan organisasi kemahasiswaan. Penulis pernah menjuarai kompetisi mobil irit skala nasional maupun internasional, serta berpartisipasi pada kompetisi mobil formula tingkat mahasiswa skala internasional. Organisasi kemahasiswaan yang pernah diikutinya yakni Himpunan Mahasiswa Mesin sebagai kepala biro minat bakat dan kegiatan *Mechanical City* sebagai ketua pelaksana. Selain itu penulis juga aktif berpartisipasi dalam kegiatan pelatihan manajemen dan *leadership* di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis dapat dihubungi melalui email berikut : irvananhar@hotmail.com atau irvananhar@gmail.com.

halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Grafik biaya pemeliharaan (dalam rupiah) area <i>kiln</i> Pabrik Tuban 1-4	3
Gambar 1.2	Grafik waktu <i>downtime</i> (dalam jam) area <i>kiln</i> Pabrik Tuban 1-4	4
Gambar 1.3	Rangkaian pada area <i>kiln</i>	5
Gambar 1.4	Susunan <i>coal mill</i> , <i>dust collector</i> , <i>fan coal mill</i>	6
Gambar 1.5	Rangkaian <i>part</i> yang berada pada <i>coal mill</i>	7
Gambar 1.6	<i>Classifier</i> pada <i>coal mill</i>	8
Gambar 1.7	Keausan pada <i>guide vane coal mill</i>	10
Gambar 2.1	Sistem area <i>kiln</i> dan <i>coal mill</i> Pabrik Tuban 4	13
Gambar 2.2	Sistematika kerja <i>coal mill</i> dalam menghasilkan batubara dalam bentuk <i>powder</i>	15
Gambar 2.3	<i>Guide vane</i> yang digunakan pada <i>coal mill</i>	16
Gambar 2.4	Tahapan-tahapan metoda RCFA	18
Gambar 2.5	Tiga macam tipe kurva keausan	20

Gambar 2.6	<i>Specific wear rate</i> pada material logam dengan berbagai kondisi pelumasan	21
Gambar 2.7	Berbagai macam mekanisme keausan yang timbul karena efek kontak permukaan	21
Gambar 2.8	Pengamatan <i>micrographs</i> keausan adesif	22
Gambar 2.9	Mekanisme keausan adesif	22
Gambar 2.10	Pengamatan <i>micrographs</i> keausan abrasif	23
Gambar 2.11	Mekanisme keausan abrasif	23
Gambar 2.12	Keausan lelah pada <i>ball bearing</i>	24
Gambar 2.13	Mekanisme keausan lelah	24
Gambar 2.14	Keausan korosif pada baja	25
Gambar 2.15	Mekanisme keausan korosif	25
Gambar 2.16	Bentuk indenter <i>rockwell</i>	27
Gambar 2.17	Skema pengujian <i>impact izod</i> (a) dan <i>charpy</i> (b)	28
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	33
Gambar 3.2	Dimensi <i>guide vane coal mill</i>	35
Gambar 3.3	Ketebalan lapisan paduan <i>material duo plate</i> yang digunakan pada <i>guide vane coal mill</i>	36
Gambar 3.4	Peralatan metode <i>Optical Emission Spectroscopy</i> (OES)	37

Gambar 3.5	Mesin <i>grinding</i> dan <i>polishing</i>	39
Gambar 3.6	Mikroskop optis	40
Gambar 3.7	Alat uji kekerasan <i>rockwell c</i> (merk Frank)	41
Gambar 3.8	Panah merah tersebut merupakan daerah yang dilakukan indentasi terhadap spesimen uji <i>hardness test</i>	41
Gambar 3.9	Mesin uji <i>impact</i>	43
Gambar 3.10	Dimensi <i>standard</i> uji <i>impact</i>	43
Gambar 4.1	<i>Guide vane</i> (A) dan <i>rotor</i> (B)	48
Gambar 4.2	Sistematika kerja <i>coal mill</i>	49
Gambar 4.3	Arah aliran gaya dan sistematika yang terjadi pada <i>classifier coal mill</i>	50
Gambar 4.4	Posisi pada gambar teknik <i>guide vane coal mill</i>	52
Gambar 4.5	Dimensi <i>guide vane coal mill</i>	53
Gambar 4.6	Foto struktur mikro pada <i>guide vane coal mill layer hardfacing</i> setelah di-etsa dan dilakukan perbesaran 100x	56
Gambar 4.7	Foto struktur mikro pada <i>guide vane coal mill layer hardfacing</i> setelah di-etsa dan dilakukan perbesaran 500x	57
Gambar 4.8	Foto struktur mikro Fe-Cr-C	58

Gambar 4.9	Spesimen uji kekerasan pada <i>layer hardfacing</i> (A), dan spesimen uji kekerasan pada <i>layer mild steel</i> (B).....	59
Gambar 4.10	Grafik perbandingan kekerasan (HV) dengan kedalaman dari permukaan (μm) terhadap tiga spesimen uji berbeda.....	60
Gambar 4.11	Grafik <i>the charpy v-notch ductile brittle transition curves for several normalized irons and steels</i>	63
Gambar 4.12	Pola patahan spesimen uji <i>impact</i>	64
Gambar 4.13	Perbandingan pola patahan spesimen uji <i>impact</i> terhadap <i>temperature</i>	64
Gambar 4.14	Permukaan <i>guide vane coal mill</i> yang mengalami kerusakan	65
Gambar 4.15	<i>Fatigue wear</i> pada <i>ball bearing</i>	66
Gambar 4.16	Permukaan <i>guide vane coal mill</i> yang mengalami kerusakan	67
Gambar 4.17	Gambar teknik <i>guide vane coal mill</i>	67

Analisa Penyebab dan Pencegahan Keausan *Guide Vane Coal Mill* Pabrik Tuban 4 (Studi Kasus PT. Semen Gresik Tuban, Jawa Timur)

Muhammad Irvan Anhar dan Witantyo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: witantyo@me.its.ac.id

Abstrak—*Coal mill* merupakan salah satu *equipment* pada pabrik semen yang digunakan untuk menghaluskan batubara hingga berbentuk *powder* sebagai bahan bakar *rotary kiln* untuk menghasilkan *clinker*. Salah satu komponen yang menyusun *coal mill* adalah *guide vane* yang merupakan *dynamic classifier* dan selalu mengalami keausan sebelum dilakukan *overhaul*. Keausan pada *guide vane coal mill* ini dapat mengganggu kerja *rotary kiln* sehingga mengganggu kinerja produksi. Dalam penelitian tugas akhir ini telah dianalisa penyebab keausan dengan metode *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) yang digunakan untuk mencari penyebab terjadinya kerusakan, sehingga solusi untuk pencegahannya dapat dilakukan. Dilakukan pengujian komposisi kimia (*Optical Emission Spectroscopy*) dan pengujian struktur mikro (*Metalography Test*) terhadap material *guide vane* untuk mengetahui jenis *material*, sedangkan pengujian kekerasan dan pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik *material guide vane*. Dari hasil analisa-analisa tersebut didapatkan jenis *material guide vane* tergolong *material Fe-Cr-C overlay* sebagai *layer hardfacing* dan *mild steel* AISI 1023 sebagai *base plate*. *Material Fe-Cr-C overlay* memiliki sifat mekanik dengan kekerasan yang tinggi, ketangguhan yang rendah, dan sangat getas dibandingkan *mild steel* AISI 1023 yang memiliki sifat mekanik dengan kekerasan rendah namun ketangguhannya tinggi dan ulet. Berdasarkan hal tersebut *material guide vane* tidak cukup tangguh untuk menerima beban berulang yang disebabkan oleh tumbukkan butiran batubara, sehingga terjadi *fatigue wear*.

Kata Kunci — *Coal Mill, Guide Vane, Keausan*

1. PENDAHULUAN

PT. Semen Gresik merupakan salah satu perusahaan semen terkemuka di Indonesia. Dalam proses produksinya PT. Semen Gresik selalu melakukan *maintenance* atau pemeliharaan secara rutin maupun non rutin untuk memaksimalkan performa seluruh mesin agar dapat beroperasi secara maksimal. Terjadinya pemeliharaan di pabrik merupakan hal yang sering kali dihadapi oleh perusahaan atau pihak pengambil keputusan terkait dengan perawatan, seperti misalnya pergantian *sparepart*, pemberian pelumas, dan *overhaul*. Pada dasarnya pemeliharaan sangat dibutuhkan untuk mengatasi permasalahan yang sering terjadi di pabrik, tetapi kerap kali dijumpai dengan waktu yang tidak menentu. Ketidakmenentuan pemeliharaan tersebut akan menjadi permasalahan, karena akan menambah biaya pemeliharaan yang sudah disediakan sesuai dengan periode yang ditentukan. Permasalahan tersebut terjadi di PT. Semen Gresik pada unit kerja pemeliharaan *kiln* dan *coal mill* yang bertugas menjamin produksi *clinker*. Diperoleh biaya pemeliharaan untuk unit kerja tersebut dari tahun 2011

hingga 2014 yaitu rata-rata sebesar 120 milyar rupiah per tahun, dan untuk waktu *downtime* yaitu sebesar 5687,44 jam per tahun^[1]. Hal inilah yang menyebabkan keuntungan perusahaan tidak maksimal, karena jika dilakukan pemeliharaan pada *rotary kiln* yang terdapat pada unit kerja tersebut menyebabkan pabrik mengalami *breakdown*.

Rotary kiln adalah peralatan paling utama pada proses produksi semen yang memiliki peran penting dalam operasional maupun proses produksi, dan juga merupakan jantung produksi dari sebuah pabrik semen. *Rotary kiln* selalu diusahakan untuk tidak mengalami *downtime*, oleh sebab itu diperlukan pemeliharaan yang baik agar dapat terus bekerja secara kontinyu. Pada mesin *kiln* terdapat *burner* yang digunakan untuk proses pembakaran dalam memproduksi *clinker*. Bahan bakar *burner* tersebut merupakan batubara dalam bentuk *powder* yang didapatkan dari penggilingan batubara pada *coal mill*.

Pada bagian *dynamic classifier* yang berada di dalam *coal mill* terdapat *guide vane* yang sering mengalami kerusakan. Pemeliharaan yang dilakukan pada *guide vane* tersebut menyebabkan *coal mill* harus dimatikan, sehingga *rotary kiln* mengalami *breakdown*. Mengacu pada permasalahan tersebut, *guide vane* akan dianalisa lebih mendalam pada tugas akhir ini. Hal ini diperlukan agar dapat diketahui penyebab dan pencegahan yang dapat dilakukan untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi pada *guide vane*, sehingga dapat memaksimalkan keuntungan yang diperoleh perusahaan.

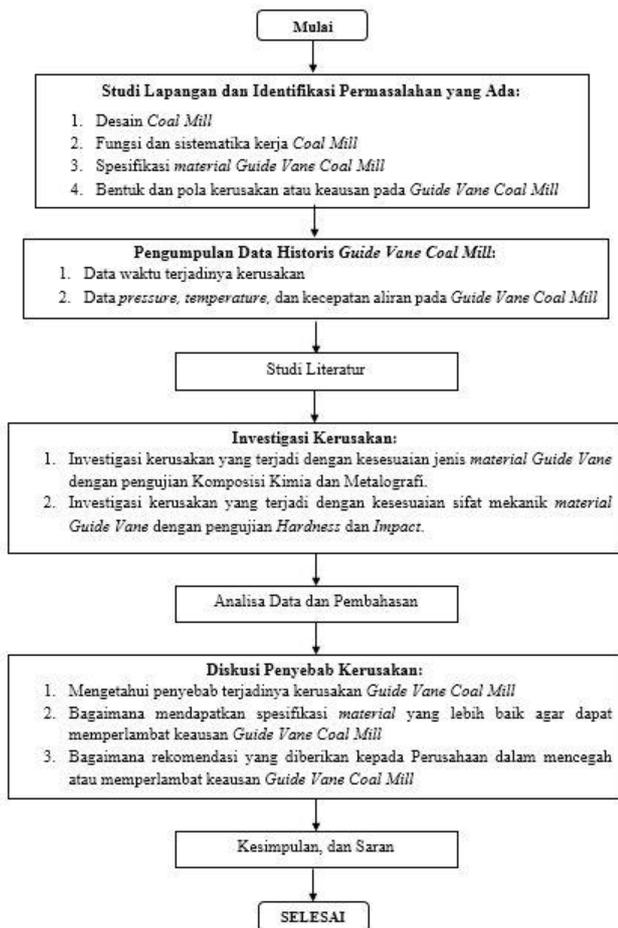
2. URAIAN PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian pada pelaksanaan tugas akhir ini mengikuti diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Penelitian ini dimulai dengan mengetahui spesifikasi *material* dan melakukan pengamatan pola kerusakan yang terjadi pada *guide vane*. Setelah itu dilakukan analisa terhadap desain, fungsi, serta sistematika kerja *coal mill* di unit kerja PMKC 3-4 PT. Semen Gresik. Tren kerusakan pada *guide vane* dapat diketahui dari data yang didapat dari pihak perusahaan disertai data penunjang lainnya. Dari hal-hal tersebut didapatkan hipotesa awal penyebab kerusakan didasari dengan buku terkait serta penelitian terdahulu.

Investigasi kerusakan menggunakan metode *Root Cause Failure Analysis* hingga menemukan penyebab kerusakan yang terjadi pada *guide vane*. Investigasi pertama melakukan uji komposisi kimia dan uji metalografi. Uji komposisi kimia dilakukan menggunakan *optical emission spectroscopy*, dan uji metalografi dilaksanakan setelah

melakukan *grinding*, *polishing*, dan *etching* terhadap *material guide vane* yang sudah berbentuk spesimen uji untuk mendapatkan pola struktur mikro. Hasil yang didapat dari kedua pengujian tersebut akan dibandingkan dengan referensi terkait untuk mengetahui jenis *material guide vane*.

Investigasi kedua melakukan uji kekerasan dan uji *impact*. Uji kekerasan menggunakan metode *rockwell c* terhadap *material guide vane* yang sudah berbentuk spesimen uji pada permukaan yang rata, dan uji *impact* menggunakan metode *charpy*. Kedua pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik *material guide vane*.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

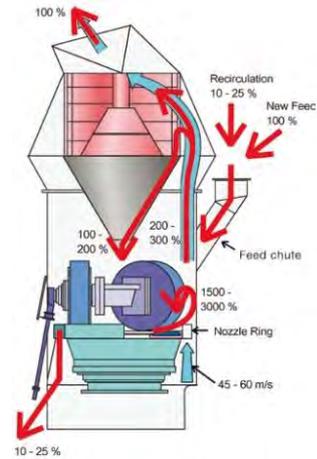
Hasil dari beberapa pengujian tersebut selanjutnya akan dianalisa serta didiskusikan hingga mengetahui penyebab kerusakan serta mendapatkan saran untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi pada *guide vane*.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Sistematika Kerja *Dynamic Classifier*

Prinsip kerja *dynamic classifier* yang terdiri dari *guide vane* dan *rotor* adalah membagi suatu aliran material menjadi dua atau lebih aliran dengan distribusi ukuran partikel yang berbeda. Satu aliran mengandung lebih banyak partikel halus dan aliran yang lain lebih banyak mengandung partikel kasar. Keuntungan adanya *dynamic classifier* pada *coal mill* adalah lebih mudah mengontrol kehalusan produk, efisiensi penggilingan menjadi lebih baik, dan akan menaikkan kapasitas *mill*. *Guide vane* yang terdapat pada *dynamic classifier* berfungsi untuk menentukan arah dan kecepatan aliran tertentu. Gambar 2 di

bawah ini menampilkan sistematika kerja aliran pada *coal mill*.



Gambar 2. Sistematika Kerja Coal Mill [2]

Urutan sistematika kerja *coal mill* yang ditampilkan pada Gambar 2 yaitu batubara masuk melalui *inlet feed*, kemudian batubara digiling hingga menjadikannya dalam bentuk *powder* dengan kapasitas desain *coal mill* sebesar 80 ton/jam [1]. Batubara *powder* tersebut akan tertiuap *hot gas* yang dihasilkan oleh *hot gas generator* menuju *classifier* yang berada di dalam *coal mill*. Butiran yang halus akan melewati *guide vane* dan *rotor* karena memiliki kecepatan yang cukup tinggi untuk melewati *rotor*. Butiran kasar yang ikut terangkat menuju *classifier* akan melewati *guide vane* dan terpukul oleh *rotor* karena kecepatannya kurang tinggi. Batubara kasar yang terpukul oleh *rotor* tersebut akan menumbuk *guide vane*, kemudian akan jatuh kembali menuju *grinding table* untuk dihaluskan kembali.

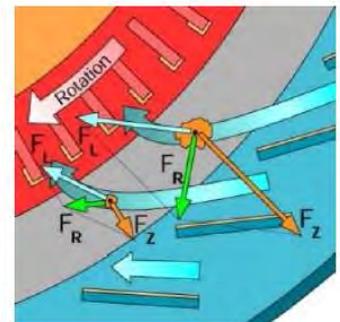
Gambar 3 berikut ini menunjukkan arah aliran gaya dan sistematika pemisahan batubara kasar dan batubara halus yang terjadi pada *classifier coal mill*.

$$\text{Centrifugal force} \\ F_z = m \times (v_t^2/R)$$

$$\text{Aerodynamic force} \\ F_L = C_d \times A \times \rho_a \times (\Delta v_r^2/2)$$

$$\text{Gravity} \\ F_G = m \times g$$

m : particle mass
 v_t : tangential speed
 R : radius
 C_d : aerodynamic coefficient $f(Re)$
 ρ_a : air density
 A : particle section
 Δv_r : $v_r(\text{air}) - v_r(\text{particle})$



Gambar 3. Arah Aliran Gaya dan Sistematika yang Terjadi pada *Classifier Coal Mill* [3]

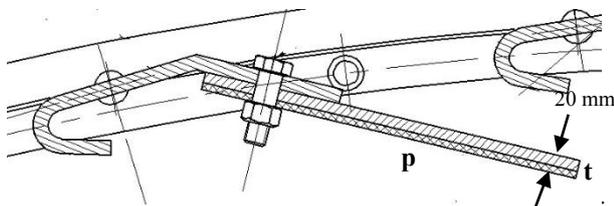
Gambar 3 di atas menjelaskan arah aliran gaya dan sistematika pada *classifier coal mill* untuk memisahkan *material* kasar dan halus. *Lift Force* (F_L) dikurangi *Gravity Force* (F_G) merupakan gaya angkat untuk membawa batubara menuju *classifier*, gaya ini dihasilkan oleh aliran udara pada *coal mill* yang melewati *guide vane* menuju *rotor*. *Centrifugal Force* (F_z) merupakan gaya yang dihasilkan oleh aliran udara dari putaran *rotor*, pada *case* ini aliran udara menuju ke arah *guide vane coal mill*. Gaya Resultan (F_R) disini adalah untuk menentukan arah batubara. Semisal arah tersebut benar batubara akan melewati *rotor*,

dan jika tidak batubara akan terpuak oleh *rotor* dan jatuh kembali ke *grinding table*.

Pada kondisi di lapangan kapasitas *coal mill* sebesar 59 ton/hour, hal ini menunjukkan kapasitas tersebut masih berada di bawah kapasitas desain *coal mill* yaitu sebesar 80 ton/hour^[1]. Dari hal tersebut dapat diketahui kapasitas *coal mill* bukanlah penyebab dari kerusakan yang terjadi pada *guide vane*, karena seharusnya dengan lebih kecilnya kapasitas *coal mill* di lapangan tersebut *guide vane* lebih sedikit mengalami interaksi dengan batubara. Ketidaksesuaian jenis *material* yang digunakan mengindikasikan penyebab terjadinya kerusakan yang dialami *guide vane*, serta menjadi salah satu penyebab tidak maksimalnya performa *guide vane* terutama dalam hal *life time*.

3.2 Spesifikasi Material Guide Vane

Gambar 4 di bawah ini menampilkan dimensi *guide vane coal mill*



Gambar 4. Dimensi Guide Vane Coal Mill^[1]

Dimensi *guide vane* pada Gambar 4 tersebut memiliki ukuran panjang (*p*) sebesar 2420 mm, lebar (*l*) sebesar 215 mm, dan tebal (*t*) sebesar 20 mm. *Material* yang digunakan pada *guide vane coal mill* saat ini adalah *duo plate*. *Duo plate* merupakan *material* yang dibentuk oleh dua jenis lapisan paduan yang berbeda. Jenis paduan *material* dari *duo plate* adalah *mild steel* setebal 6 mm dilapisi dengan *hardfacing* setebal 4 mm. Pada *guide vane coal mill* ini menggunakan dua buah *duo plate* yang di las pada masing-masing *layer mild steel*, sehingga terdapat empat *layer* pada *guide vane* tersebut^[1]. Tetapi hal tersebut berbeda dengan yang tergambar pada gambar teknik Gambar 4 yang didapat dari pihak perusahaan.

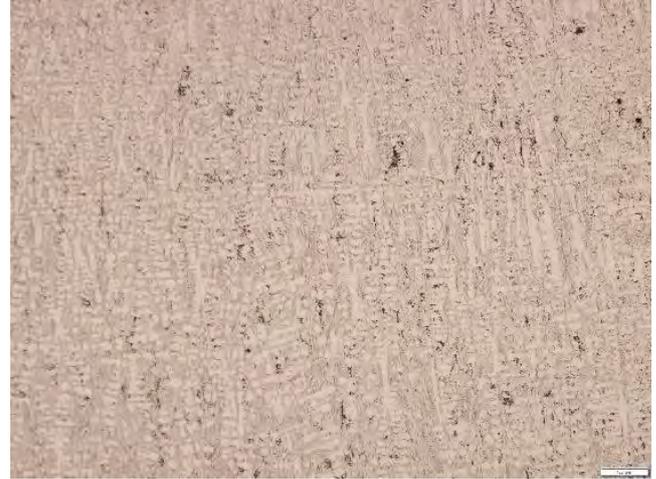
3.3 Analisa Jenis Material

3.3.1 Uji Komposisi Kimia

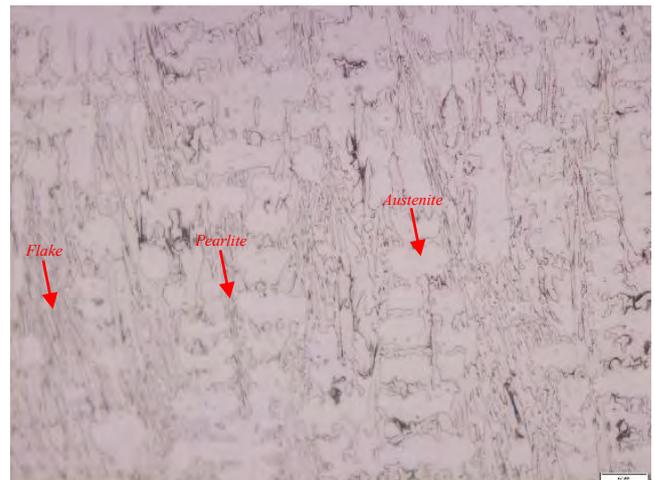
Pengujian komposisi kimia dan pengujian metalografi dilakukan guna mengetahui jenis *material guide vane*. Pengujian komposisi kimia menggunakan *optical emission spectroscopy* didapatkan *layer hardfacing guide vane* memiliki tiga *element* dominan yaitu Fe sebesar 74,5%, Cr sebesar 18,8%, dan C sebesar 3,79%. *Material* jenis ini merupakan *high chromium white irons*^[4] yang sering disebut sebagai Fe-Cr-C *overlay*. Pada *layer base plate*, *mild steel* adalah *material* yang memiliki kadar karbon rendah atau biasa disebut *low carbon steel*. Disebut *low carbon steel* jika suatu material mengandung kadar karbon antara 0,05% - 0,25%. Dari hasil data pengujian komposisi kimia yang dilakukan pada *layer base plate* dapat diketahui *layer* tersebut mengandung 0,204% C (karbon). Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat diketahui *layer* tersebut benar termasuk jenis *mild steel* atau *low carbon steel*. Mengacu pada literatur^[5] *material* tersebut termasuk ke dalam *material* yang biasa digunakan dalam pembuatan plat AISI 1023, dan merupakan *standard carbon steels*.

3.3.2 Uji Metalografi

Kondisi pengamatan metalografi sesudah dilakukan pengetsaan dilakukan untuk melihat struktur mikro dari *layer hardfacing* agar dapat diketahui jenis *material* yang digunakan. Pada Gambar 5 dan Gambar 6 ini menampilkan struktur mikro dari *layer hardfacing* yang terdapat pada *material guide vane* setelah dilakukan pengetsaan.



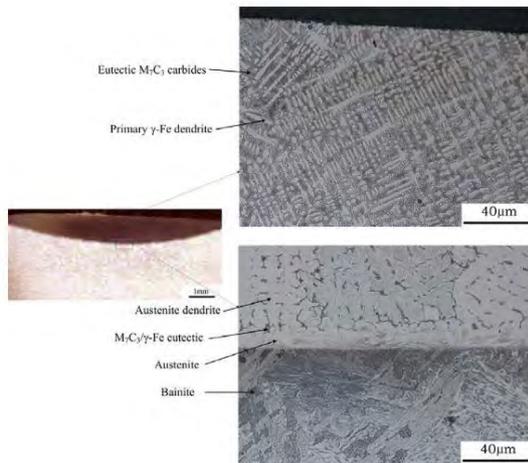
Gambar 5. Foto struktur mikro pada *guide vane coal mill layer hardfacing* setelah di-etsa dan dilakukan perbesaran 100x



Gambar 6. Foto struktur mikro pada *guide vane coal mill layer hardfacing* setelah di-etsa dan dilakukan perbesaran 500x

Setelah dilakukan uji metalografi, dari hasil yang diperoleh dapat dilihat struktur mikro *layer hardfacing material guide vane*. Gambar tersebut menunjukkan adanya *pearlite*, *austenite*, dan *flake*, dari hal tersebut menunjukkan *layer hardfacing* tergolong *material martensitic*.

Berdasarkan literatur^[6] didapatkan struktur mikro dari *material Fe-Cr-C overlay* ditunjukkan pada Gambar 7. Mengacu pada literatur^[6] tersebut struktur mikro pada Gambar 6 memiliki kemiripan dengan struktur mikro pada Gambar 7, sehingga dari perbandingan ini mengindikasikan *layer hardfacing* tergolong jenis *material Fe-Cr-C overlay*.



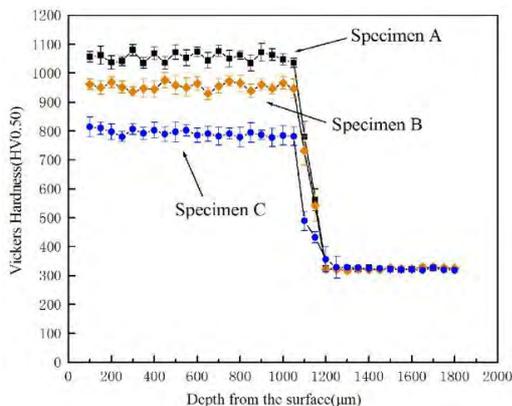
Gambar 7. Foto struktur mikro Fe-Cr-C [6]

3.4 Analisa Sifat Mekanik

3.4.1 Hardness Test

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan *material guide vane*. Uji kekerasan ini menggunakan metode *rockwell c* dan akan didapatkan nilai kekerasan dalam HRC (*Hardness Rockwell C*). Pengujian ini dilakukan dengan melakukan indentasi sebanyak 10 titik. Pengindentasian dilakukan pada bagian permukaan spesimen uji yang rata.

Nilai kekerasan rata-rata yang didapat dari pengujian terhadap *layer hardfacing* setelah dilakukan 10 kali indentasi yaitu sebesar 54,6 HRC. Berdasarkan literature [6] didapatkan grafik perbandingan antara kekerasan (HV) dengan kedalaman dari permukaan (μm) terhadap tiga spesimen uji berbeda yang ditunjukkan pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Grafik perbandingan kekerasan (HV) dengan kedalaman dari permukaan (μm) terhadap tiga spesimen uji berbeda [6]

Dari Gambar 8 diketahui hasil pengujian kekerasan pada Spesimen C sebesar 800 HV atau setara dengan 62,5 HRC tersebut memiliki nilai kekerasan rata-rata yang berbeda dengan hasil pengujian kekerasan *layer hardfacing material guide vane* dengan jenis struktur mikro yang serupa. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan metode proses pengelesan antara *layer hardfacing* dengan *layer base plate* tersebut.

Menurut literatur [7] *mild steel* memiliki nilai kekerasan 114 – 153 HB. Tetapi dari hasil pengujian yang didapat nilai kekerasan dari *layer mild steel* setelah dilakukan 10 kali indentasi didapatkan rata-rata sebesar 26,1 HRC atau setara dengan 255,98 HB. Hal ini mungkin saja terjadi akibat

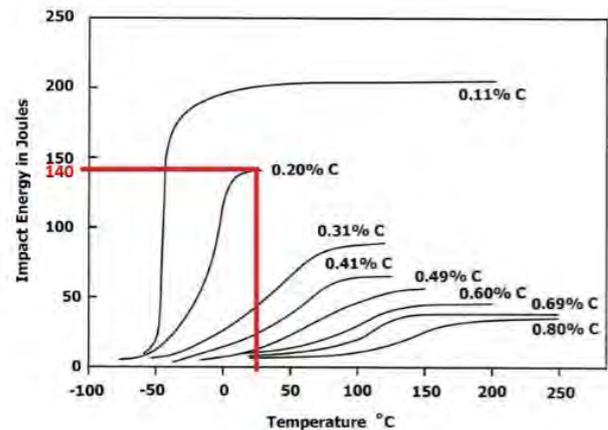
adanya *heat treatment* pada proses pembuatan *material* tersebut.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapat nilai kekerasan *material hardfacing* sebesar 54,6 HRC lebih besar dibanding nilai kekerasan yang dimiliki *mild steel* sebesar 26,1 HRC.

3.4.2 Impact Test

Uji *impact* dilakukan untuk mengetahui apakah sifat mekanik *material guide vane* memenuhi syarat untuk menerima beban *impact* dari batubara, sehingga dari hasil ini dapat dilakukan evaluasi kekuatan *material* apakah sesuai dengan kebutuhan atau tidak.

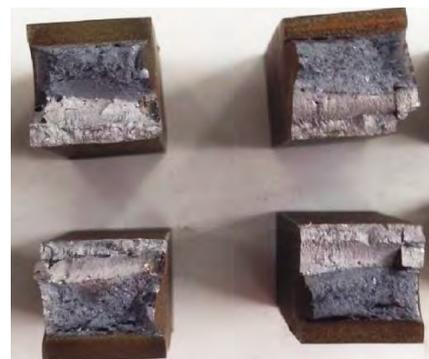
Dari pengujian yang telah dilakukan, nilai *impact strenght* untuk *guide vane* pada *temperature* kamar ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) rata-rata sebesar 74,53 joule atau sebesar $0,9313\text{ J/mm}^2$. Nilai tersebut merupakan *impact strength material guide vane* yang memiliki dua *layer* yaitu *hardfacing* dan *mild steel*. Berdasarkan literature [8] didapatkan grafik *the charpy v-notch ductile-brittle transition curves for several normalized irons and steels* yang ditunjukkan pada Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. Grafik *the charpy v-notch ductile-brittle transition curves for several normalized irons and steels* [8]

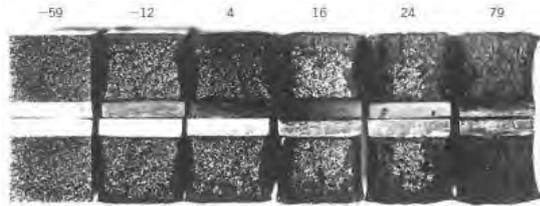
Dari Gambar 9 di atas dapat diketahui hasil pengujian *impact charpy v-notch* pada *material* yang mengandung 0,20% karbon (*mild steel*) pada *temperature* 25°C adalah sebesar 140 joule. *Impact strength mild steel* lebih besar dibandingkan *material guide vane*. Hasil tersebut mengindikasikan *mild steel* memiliki ketangguhan yang lebih besar dibandingkan *guide vane*.

Pada Gambar 10 berikut ini menampilkan pola patahan spesimen hasil pengujian *impact*.



Gambar 10. Pola patahan spesimen uji *impact*

Dari Gambar 10 dapat dilihat pola patahan pada spesimen uji berbentuk seperti pasir, dan pola patahan *layer hardfacing* lebih mengkilap dibandingkan *layer mild steel* yang gelap. Mengacu pada buku referensi [9] didapatkan informasi pola patahan akibat uji *impact* serupa dengan Gambar 11 berikut ini.



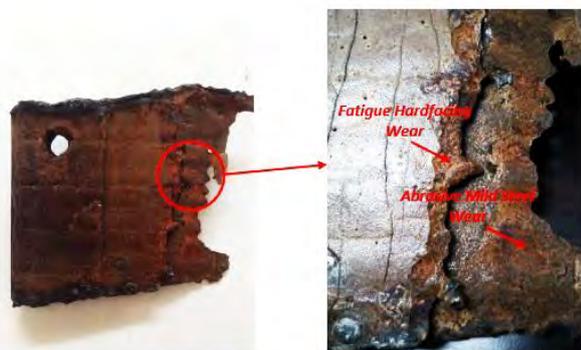
Gambar 11. Perbandingan pola patahan spesimen uji *Impact* terhadap *temperature* [9]

Pada Gambar 11 di atas didapatkan informasi bahwa ketika pola patahan berserabut *material* AISI A36 tersebut menunjukkan patah ulet, hal itu ditunjukkan pada *material* yang pengujiannya dilakukan pada *temperature* 79°C. Dapat dikatakan getas ketika pola patahan mengkilap seperti yang dialami *material* dengan pengujian pada *temperature* -59°C [9].

Berdasarkan hal tersebut, *material guide vane coal mill* memiliki pola patahan datar mengkilap pada *layer hardfacing* dan datar berpasir pada *layer mild steel*. Hal ini mengindikasikan *guide vane* tergolong *material* yang getas.

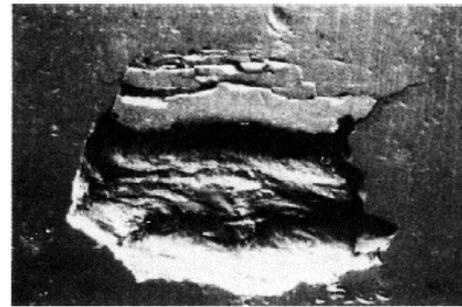
3.5 Diskusi Penyebab Kerusakan

Gambar 12 berikut ini merupakan pengamatan makroskopik kerusakan yang terjadi pada permukaan *guide vane*.



Gambar 12. Permukaan *guide vane* yang mengalami kerusakan

Pada Gambar 12 tersebut dapat dilihat pola kerusakan yang terjadi pada permukaan *guide vane coal mill*. Pada gambar tersebut dapat dilihat *material* mengalami beberapa retakan. Mengacu pada buku referensi [10] didapatkan informasi pola kerusakan *guide vane* diakibatkan oleh *fatigue wear* serupa dengan Gambar 13 berikut ini.



Fatigue failure of a steel ball bearing

Gambar 13. *Fatigue wear* pada *ball bearing* [10]

Gambar 13 menunjukkan kerusakan yang terjadi pada *ball bearing*. Dari gambar didapatkan informasi bahwa terdapat retakan-retakan yang akan memicu terjadinya kerusakan atau pengelupasan *material*. Hal ini menunjukkan penyebab kerusakan pada *ball bearing* tersebut diakibatkan oleh *fatigue wear* [10].

Berdasarkan hal tersebut, *material guide vane coal mill* memiliki pola kerusakan retakan-retakan yang mengindikasikan penyebab kerusakan tersebut diakibatkan oleh *fatigue wear* yang dialami permukaan *guide vane* akibat mengalami beban berulang. *Fatigue wear* menyebabkan retak-retak mikro, kemudian retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan *material*.

Pada Gambar 14 dibawah ini juga merupakan hasil pengamatan makroskopik kerusakan yang terjadi pada permukaan *guide vane*.



Gambar 14. Permukaan *guide vane* yang mengalami kerusakan [1]

Pada Gambar 14 di atas dapat dilihat *duo plate* sisi depan (*hardfacing*) mengalami kerusakan lebih luas dibandingkan *duo plate* sisi belakang (*base plate*). Hal ini mengindikasikan *base plate* lebih tangguh dalam menerima beban berulang dibandingkan dengan *hardfacing*.

Pada kondisi operasional *guide vane* menggunakan dua buah *duo plate* dengan mengelas kedua sisi *base plate*, sehingga *guide vane* terdiri dari empat *layer* dan kedua sisi permukaan *guide vane* merupakan *layer hardfacing*. *Layer base plate* dengan jenis *material mild steel* memiliki nilai ketangguhan yang lebih besar dibandingkan *layer hardfacing*, oleh sebab itu disarankan *guide vane* menggunakan satu buah *duo plate* dengan *layer mild steel* diposisikan menghadap ke sisi dalam. Hal tersebut dikarenakan sisi dalam *guide vane* cenderung akan lebih banyak terkena beban berulang, sehingga sisi dalam lebih membutuhkan nilai ketangguhan yang lebih besar.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas *coal mill* di lapangan sebesar 59 ton/jam lebih kecil dibandingkan kapasitas *standard design coal mill* sebesar 80 ton/jam, tetapi *guide vane* yang terdapat pada *coal mill* masih sering mengalami kerusakan. Hal ini mengindikasikan ketidaksesuaian penggunaan jenis *material* pada *guide vane* tersebut.
2. Berdasarkan pengujian komposisi kimia dan metalografi pada *guide vane*, *layer hardfacing* tergolong jenis *material* Fe-Cr-C *overlay* dan *layer base plate* atau *mild steel* tergolong jenis *material* AISI 1023.
3. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan *layer hardfacing* Fe-Cr-C *overlay* sebesar 54,6 HRC. Dengan nilai kekerasan tersebut Fe-Cr-C *overlay* masih mengalami kerusakan akibat beban *impact* berulang dari tumbukkan partikel batubara.
4. Penyebab kerusakan *guide vane* disebabkan oleh *fatigue wear*. Hal ini dikarenakan *material guide vane* memiliki ketangguhan yang tidak baik dan tidak sesuai, sehingga *material guide vane* tidak cukup tangguh untuk menerima beban *impact* berulang. Hal ini dapat dilihat dari permukaan *guide vane* yang lebih dominan mengalami kerusakan yaitu pada *layer hardfacing* dibandingkan *layer mild steel*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada PT. Semen Gresik, Laboraturium Metalurgi, dan Laboratorium Sistem Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITS yang telah banyak mendukung kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Database PT. Semen Gresik Tuban, Jawa Timur.
- [2] Flsmidth. 2010. *Manual Book Atox Coal Mill*. USA : Flsmidth Inc.
- [3] Institut Semen dan Beton Indonesia. 2013. *Grinding Technology Separator*. Bandung : Asosiasi Semen Indonesia
- [4] Veinthal, Renno. 2013. *Abrasive Impact Wear and Surface Fatigue Wear Behaviour of Fe-Cr-C PTA Overlay*. Wiener Neustadt : Tallin University of Technology.
- [5] ASM Metals Handbook. Standard Carbon Steel. AISI 1023
- [6] Lu, Fenffui. 2014. *Microstructure and Wear Resistance of Chromium Carbide Coating In Situ Synthesized by Veb*. Shanghai : Shanghai Jiao Tong University
- [7] JIS G 4051. *Standard Carbon Steel*. S20C
- [8] Storey, Randall. *The Effect of Carbon on The Charpy V-Notch Ductile Brittle Transition Curve*. Louisville : University of Lousville
- [9] Callister, William. 2006. *Material Science of Engineering 7th Edition*. Utah : University of Utah
- [10] Bhushan, Bharat. 2001. *Modern Tribology Handbook Volume One*. Danvers : USA



Proposal Tugas Akhir

ANALISA PENYEBAB DAN PENCEGAHAN KEAUSAN *GUIDE VANE COAL MILL PABRIK TUBAN 4* (Studi Kasus PT. Semen Gresik Tuban, Jawa Timur)

Nama : Muhammad Irvan Anhar

NRP : 2110100029

Dosen Pembimbing :

Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015

PT. Semen Indonesia
(Persero) Tbk.



PT. Semen Gresik



LATAR BELAKANG



Area Kiln & Coal Mill

Preheater

Rotary Kiln

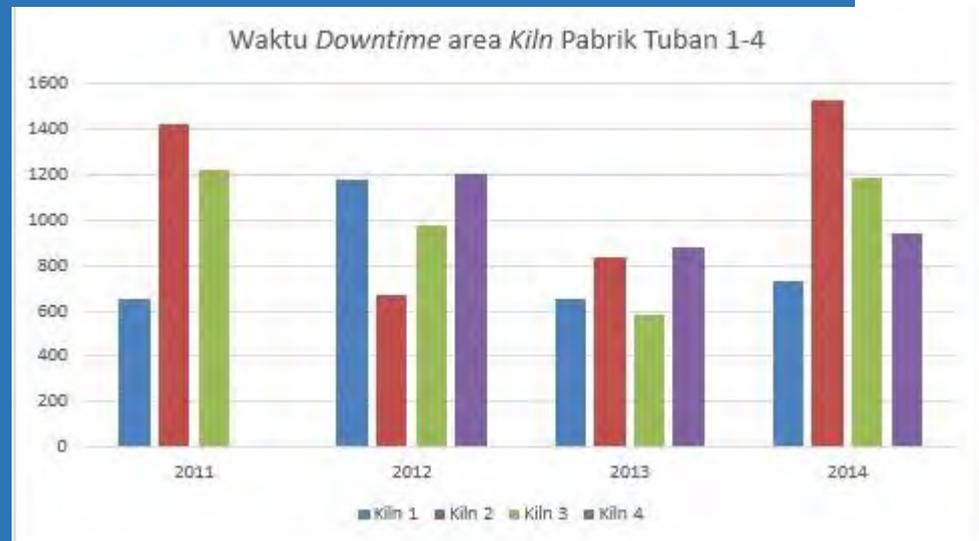
Clinker Cooler

Coal Mill

Area Kiln dan Coal Mill

- Menghabiskan biaya rata-rata sebesar **Rp 120 Milyar** tiap tahunnya

Pabrik Tuban 4 mengalami rata-rata *downtime* paling besar selama tiga tahun terakhir sebesar **1009 jam**

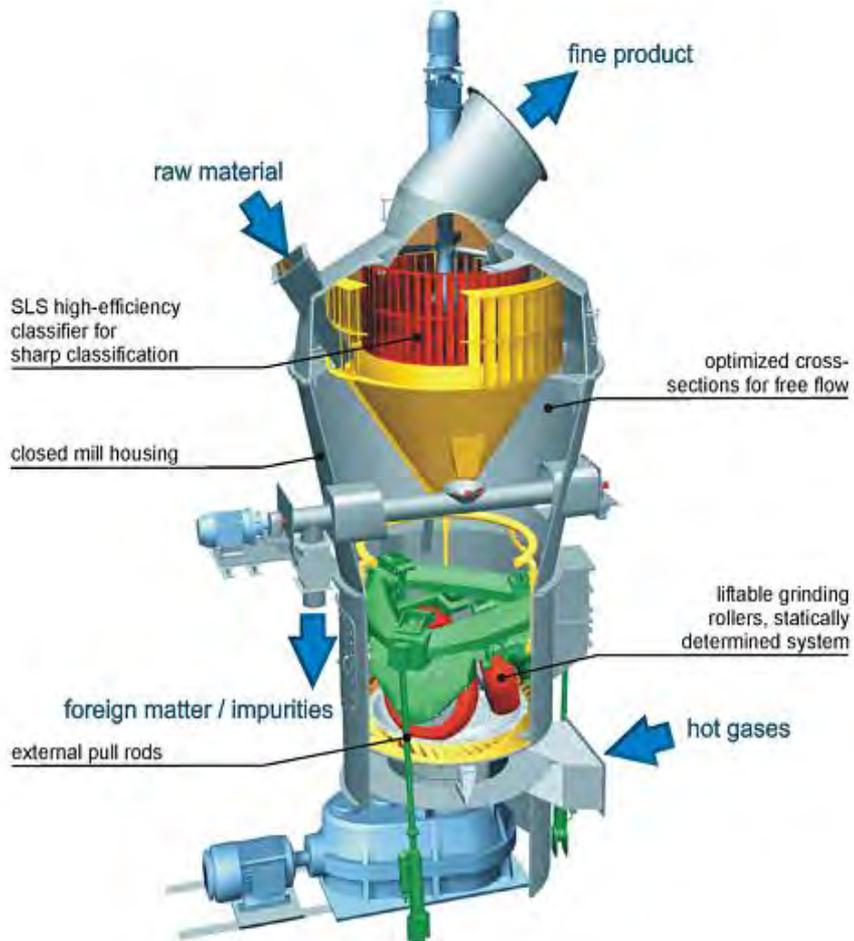


ROTARY KILN

Temperature pada *Rotary Kiln* sebesar 1400°C

Memiliki kapasitas 8000 Ton/Jam untuk memproduksi *Clinker*



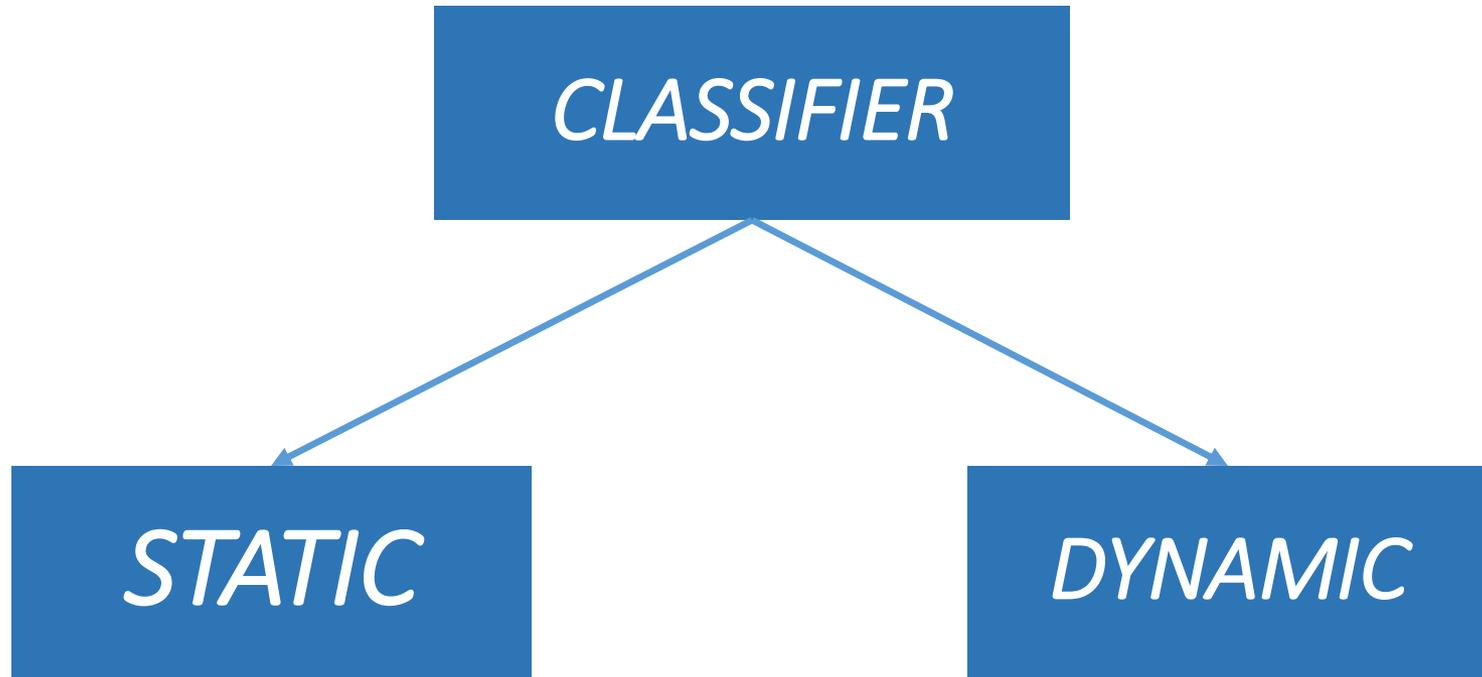


COAL MILL

Berfungsi untuk menggiling dan menghaluskan batubara hingga berukuran mikron dengan kapasitas 80 Ton/Jam

CLASSIFIER

- Lebih mudah mengontrol kehalusan produk
- Dengan adanya pemisahan antara *material* kasar dan halus di *Classifier*, maka *material* yang digiling di dalam *Coal Mill* benar-benar *material* yang masih kasar. Sehingga hal ini menyebabkan efisiensi penggilingan menjadi lebih baik dan akan menaikkan kapasitas *Coal Mill*
- Dengan naiknya kapasitas *mill*, maka akan menurunkan konsumsi energi untuk penggilingan

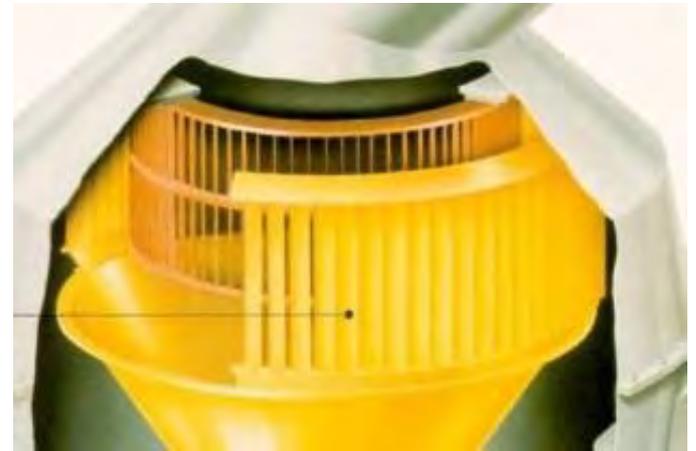


- Tidak memerlukan alat penggerak dalam pemisahannya
- Hanya sebagai pemisah, tidak berfungsi sebagai pengumpul produk yang halus

- Dalam pemisahannya memerlukan alat penggerak
- Bentuk *Classifier* selain sebagai pemisah, juga sebagai pengumpul material hasil pemisah (halus dan kasar)

Guide Vane Coal Mill

Merupakan salah satu komponen *Dynamic Classifier* selain *Rotor*, yang berfungsi untuk menentukan arah dan kecepatan aliran tertentu



PERUMUSAN MASALAH

Perusahaan belum mengetahui penyebab dan pencegahan keausan *Guide Vane Coal Mill* Pabrik Tuban 4, sehingga perlu dilakukan analisa *equipment* terkait agar dapat menentukan kebijakan dan menyarankan spesifikasi *material* yang tepat untuk *equipment* tersebut

- Mengetahui penyebab terjadinya keausan
- Mengetahui spesifikasi material yang tepat dan memberikan solusi kepada Perusahaan guna meminimalisasi keausan yang terjadi

TUJUAN

BATASAN MASALAH

- *Guide Vane Coal Mill* yang ditinjau terdapat di Pabrik Tuban 4 dan menggunakan data Tahun 2012-2014
- Data kerusakan, biaya pemeliharaan, dan *downtime* didapat dari Koordinator Anggaran, Seksi Perencanaan dan Persediaan, dan Seksi *Kiln* dan *Coal Mill 3-4 Machine Maintenance*

MANFAAT PENELITIAN

- Perusahaan mendapatkan informasi terkait penyebab keausan
- Perusahaan mendapatkan rekomendasi solusi terkait untuk menentukan kebijakan
- Penulis mendapatkan pengetahuan dan pengalaman dalam menyelesaikan masalah pemeliharaan yang memiliki jadwal tidak pasti
- Hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan dan bahan pertimbangan dalam melakukan penelitian selanjutnya

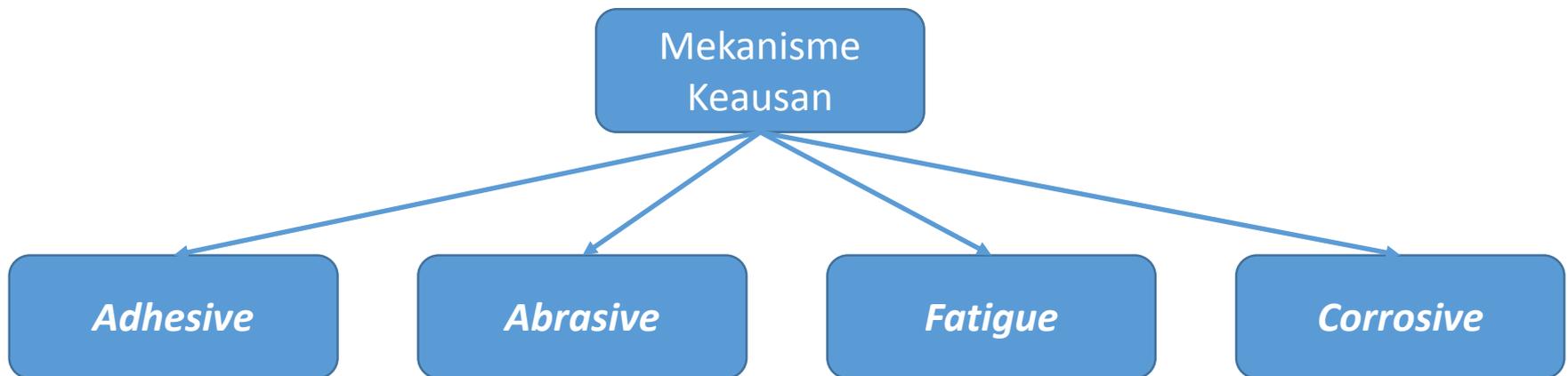
Failure Investigation

Root Cause Failure Analysis (RCFA)

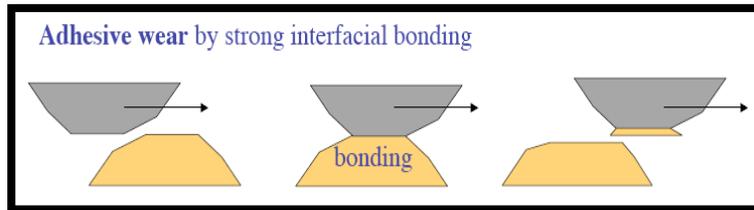
- 1. Gather and organize data*
- 2. Review current performance*
- 3. Describe performances trends*
- 4. Prioritize performance concerns*
- 5. Identify root cause*
- 6. Identify conclusion and action steps*
- 7. Solution*

TEORI DASAR

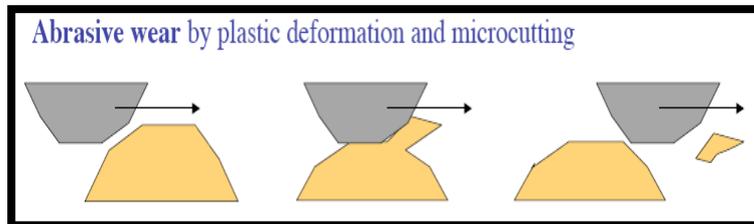
Keausan : Rusaknya permukaan padatan atau suatu keadaan yang memburuk dari suatu permukaan kerja akibat dari pemakaiannya



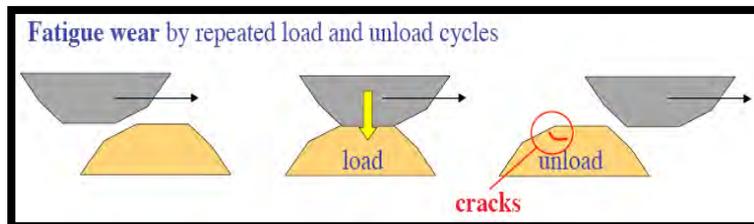
Mekanisme Keausan



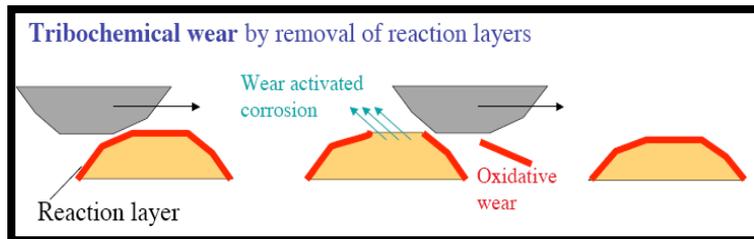
Adhesive



Abrasive



Fatigue



Corrosive

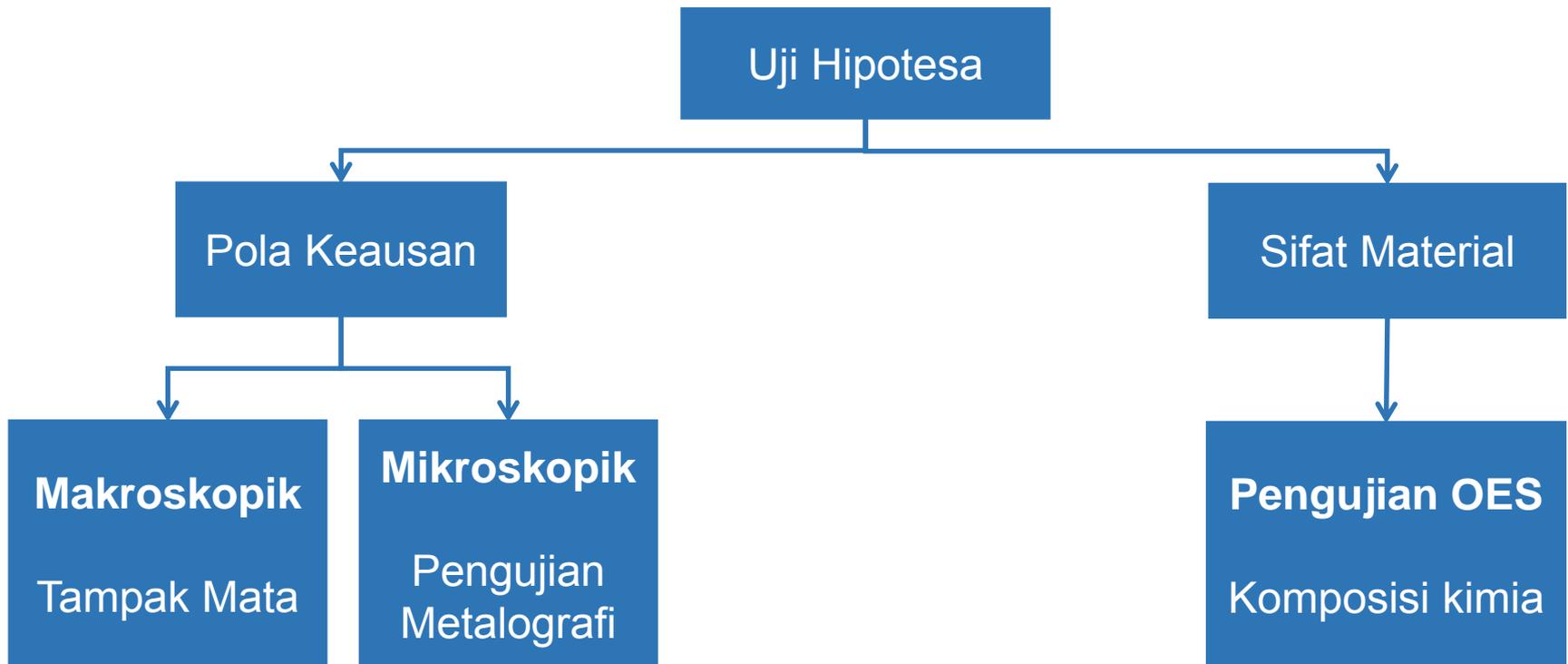
METODOLOGI PENELITIAN



Pengumpulan Data Historis

Notification d	Notification	Time of chan	Description
12/13/2012	8:16:52 AM	7:08:58 PM	474RM01-REKONDISI ATOX MILL EQ
3/5/2013	7:10:14 PM	2:32:03 PM	474RM01-OVH TB4 APRIL 2013-SERVICE MILL
4/5/2013	11:08:28 AM	2:39:02 PM	474RM01-OVHTB4-REPAIR & SERVICE ATOXMILL
10/31/2013	10:30:25 AM	10:39:21 AM	474RM01- SERVICE COAL MILL
11/14/2013	10:05:55 AM	10:17:45 AM	474RM01- SERVICE COAL MILL
12/10/2013	5:22:21 PM	6:47:20 PM	474RM01 - SERVICE & REPAIR INSIDE MILL
3/14/2014	7:11:55 PM	3:11:35 PM	474RM01-SR01-OVHTB4-2014-REKOND. MILL
3/21/2014	3:01:07 PM	9:21:57 AM	474RM01 - SERVICE INLET ATOX MILL
5/20/2014	2:05:23 PM	3:58:09 PM	474RM01- CEK INSIDE ATOX MILL OK
6/13/2014	10:15:37 AM	1:48:38 PM	474RM01-CHECK INSIDE MILL OK
6/17/2014	3:56:56 PM	1:59:54 PM	474RM01 - SERVICE COAL MILL OK
7/1/2014	10:24:05 AM	8:10:03 AM	474RM01 - SERVICE ATOX COAL MILL
7/16/2014	3:58:49 PM	1:10:33 PM	474RM01- ATOX COAL MILL VIBRASI TINGGI OK
1/30/2015	9:41:24 AM	9:39:20 AM	OVH TB4 2015-474RM01-SR01-REKONDISI

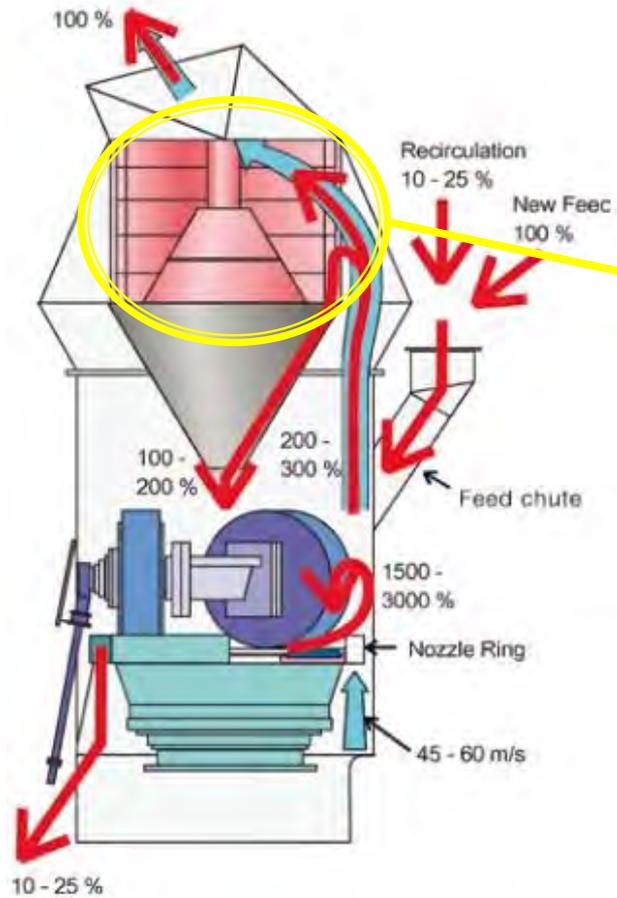
Uji Hipotesa



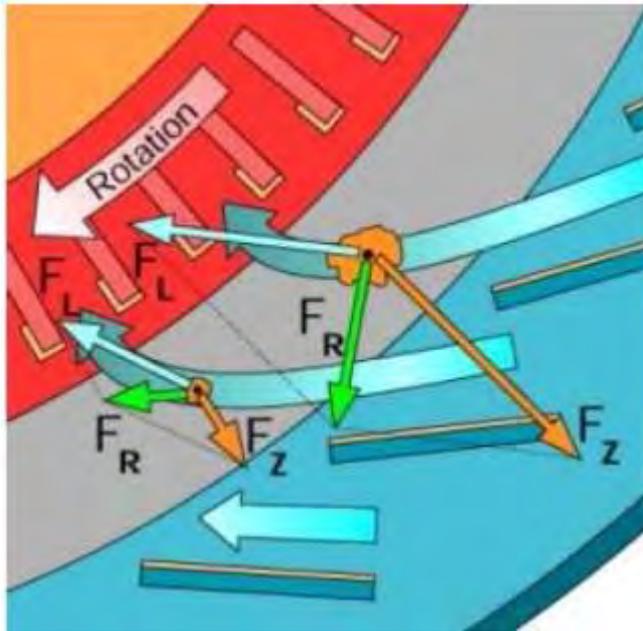
Peninjauan kondisi di lapangan



Cara Kerja *Dynamic Classifier*



Arah Aliran Gaya dan Sistematika yang Terjadi pada *Coal Mill*

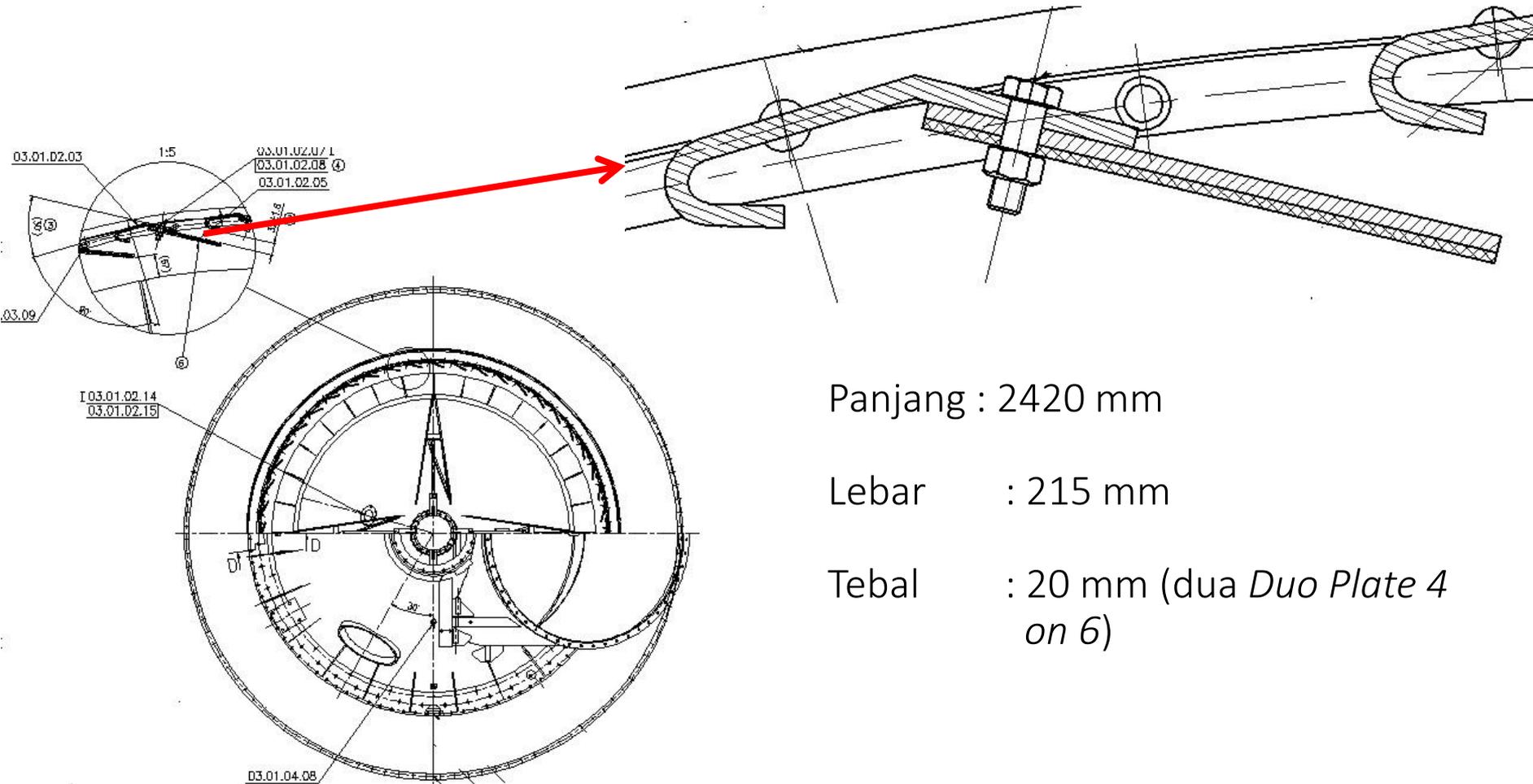


F_L = Lift Force

F_Z = Centrifugal Force

F_R = Resultan Force

Dimensi *Guide Vane*



Panjang : 2420 mm

Lebar : 215 mm

Tebal : 20 mm (dua *Duo Plate 4 on 6*)

Menganalisa jenis *material Guide Vane*



Pengujian *Optical Emission Spectroscopy*

Hard Facing

High Chromium White Irons
atau sering disebut *Fe-Cr-C*
Overlays

Element	Composition (%)
Fe	74,5
C	3,79
Si	1,18
<u>Mn</u>	1,35
P	0,0111
S	0,0089
Cr	18,8
Mo	<0,0050
<u>Pb</u>	<0,0050
Ni	0,0864
Al	0,0137
Co	0,0139
Cu	0,0220
<u>Nb</u>	0,0205
Ti	0,0538
V	0,0344
W	0,0114

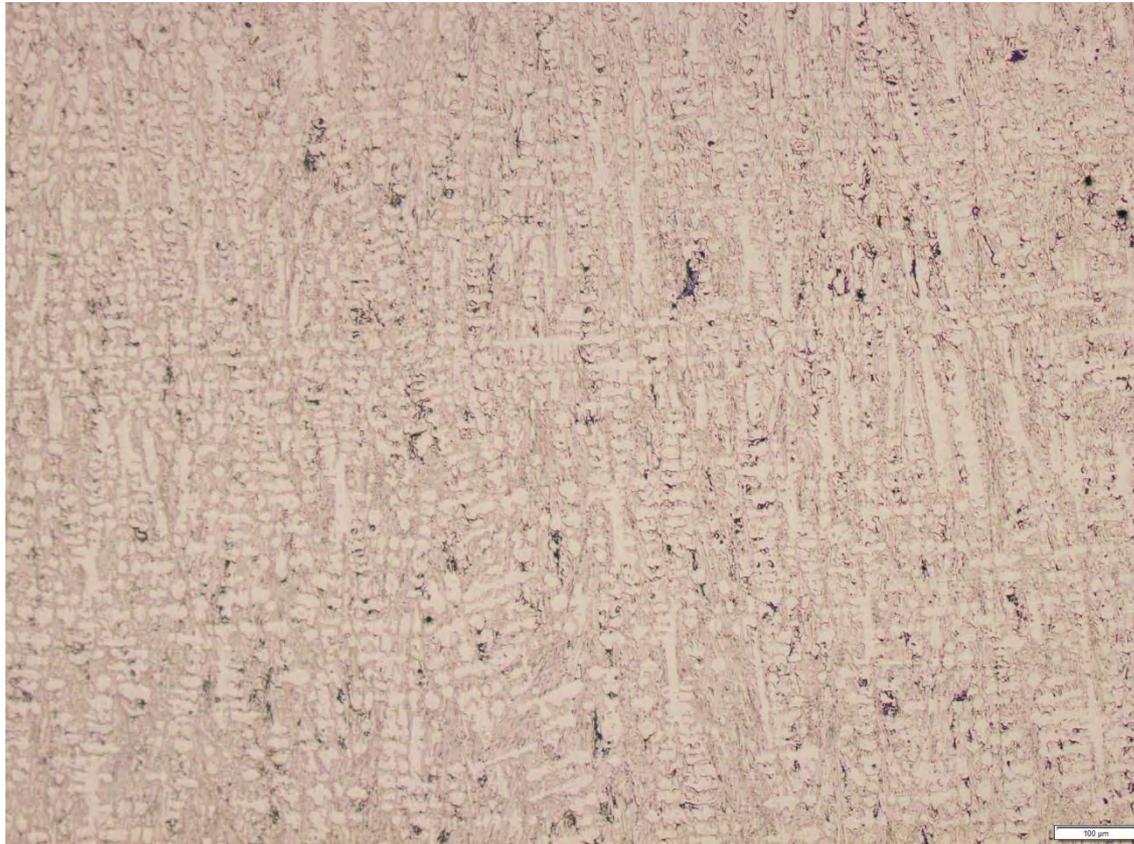
Mild Steel

Element	Composition (%)		
Fe	98,7	V	0,0056
C	0,204	W	0,0053
Si	0,255	Pb	0,0010
<u>Mn</u>	0,520	Sn	0,0044
P	0,0198	B	0,0009
S	0,0218	Ca	0,0008
Cr	0,0455	Zr	0,0112
Mo	0,0150	Zn	0,0008
Ni	0,0342	Bi	0,0058
Al	0,0031	As	0,0347
Co	0,0026	N	0,0209
Cu	0,0299	Se	<0,0010
<u>Nb</u>	0,0119	Sb	<0,0010
Ti	0,0024	Ta	<0,0040

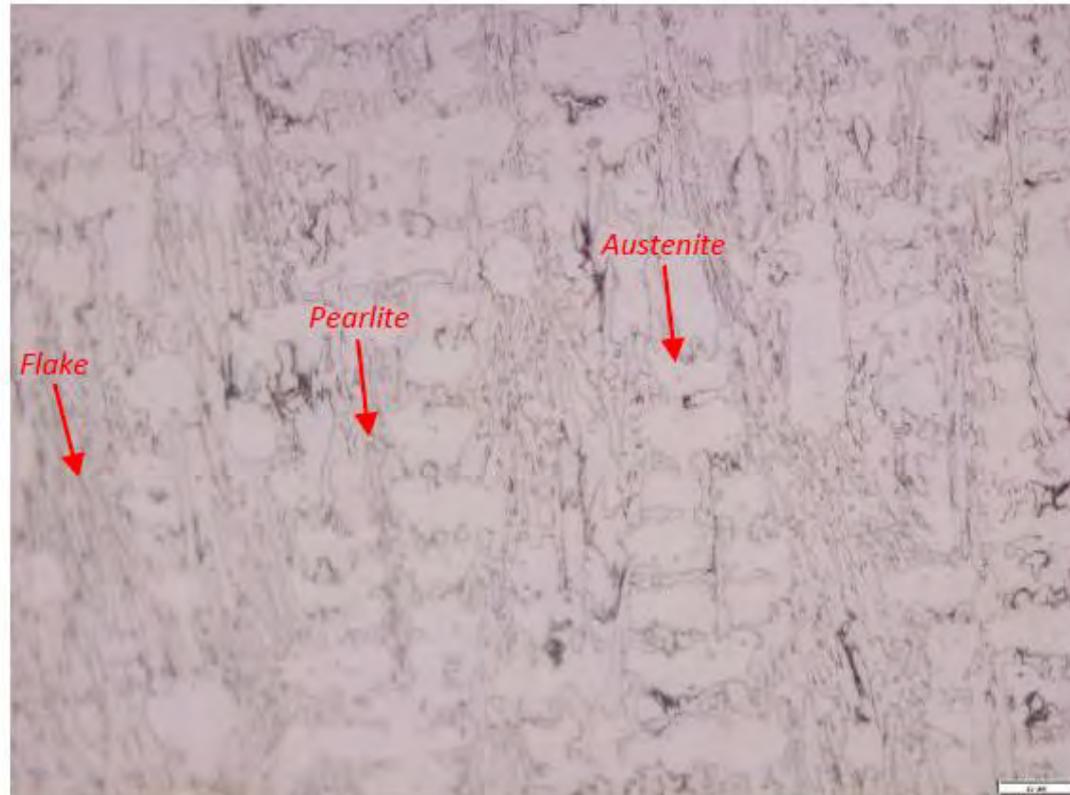
Low Carbon Steel

- ▶ Paduan yang mengandung 0,05% - 0,25% C

Pengujian *Metallography*



Perbesaran 100x



Perbesaran 500x

- ▶ Karena terdapat *Pearlite* dan *Austenite*, *material* tersebut tergolong *martensitic*
- ▶ Mengacu pada Jurnal berjudul *Microstructure and Wear Resistance of Chromium Carbide Coating* yang ditulis oleh Fenggui Lu, struktur mikro tersebut tergolong jenis *material Fe-Cr-C*

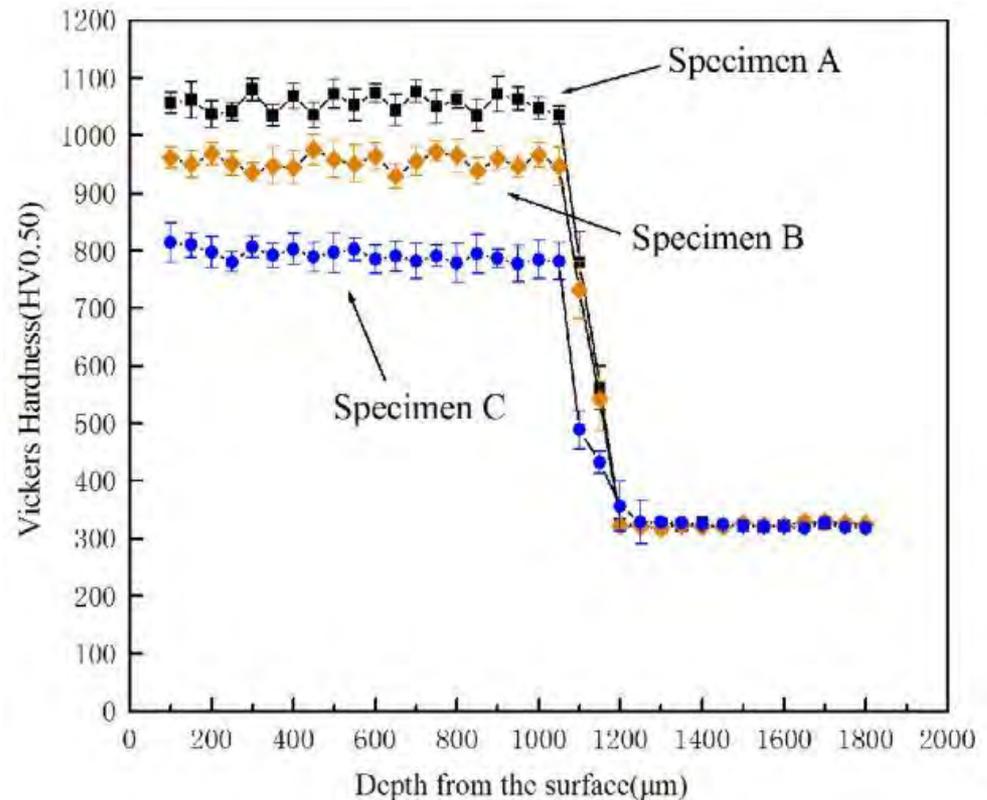
Menganalisa sifat mekanik *Guide Vane*



Hardness Test layer Hardfacing

Mengacu pada Jurnal berjudul *Microstructure and Wear Resistance of Chromium Carbide Coating* yang ditulis oleh Fenggui Lu dengan material yang memiliki struktur mikro serupa, nilai kekerasan rata-rata *layer Hardfacing* sebesar 54,6 HRC atau setara dengan 63 HV memiliki perbedaan nilai kekerasan. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan proses pengelasan

Pengujian ke-	Nilai Kekerasan (HRC)
1	55
2	57
3	55
4	55
5	55
6	51
7	53
8	55
9	55
10	55



Hardness Test layer Mild Steel

Pengujian ke-	Nilai Kekerasan (HRC)
1	26
2	27
3	26
4	28
5	26
6	25
7	27
8	26
9	24
10	26

Nilai kekerasan rata-rata layer *Mild Steel* sebesar 26,1 HRC lebih kecil dibanding *layer Hardfacing*

Impact Test

Impact Strength Guide Vane didapatkan sebesar 74,53 Joule. Sedangkan data yang didapat dari Jurnal, *Impact Strength Mild Steel* sebesar 140 Joule.

Hasil tersebut mengindikasikan ketangguhan *Mild Steel* lebih besar dibandingkan *Guide Vane*

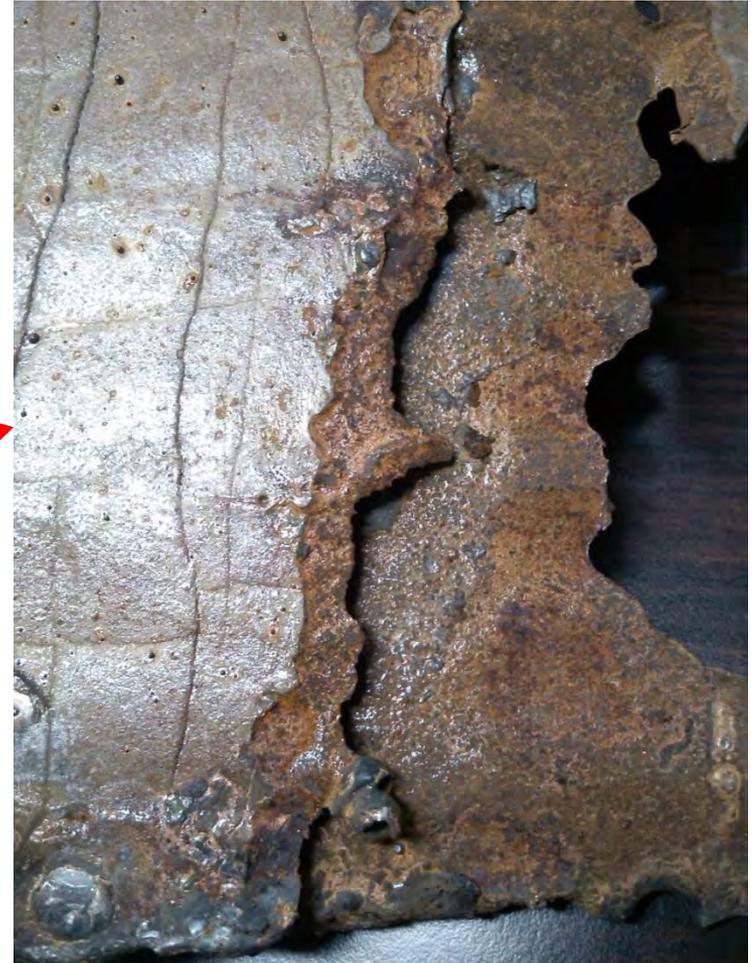
Kode Spesimen	I	II	III
Sebelum Percobaan			
Bahan	Duo Plate	Duo Plate	Duo Plate
Standar pengujian	JIS Z 2242	JIS Z 2242	JIS Z 2242
Standar specimen	JIS Z 2202	JIS Z 2202	JIS Z 2202
Temperatur	25 °C	25 °C	25 °C
Panjang spesimen (B)	55 mm	55 mm	55 mm
Tebal (A)	10 mm	10 mm	10 mm
Tebal (C)	10 mm	10 mm	10 mm
Saat percobaan			
Waktu periode (T ₅₀)	91/0,823 sekon	91/0,823 sekon	91/0,823 sekon
Jarak tumpuan (p)	40 mm	40 mm	40 mm
Sudut awal (α)	156 °C	156 °C	156 °C
Sudut akhir (β)	114 °C	115,5 °C	115,5 °C
Energi untuk mematahkan (Ekpm)	7,9 Kpm	7,4 Kpm	7,5 Kpm
Energi untuk mematahkan (Joule)	77,473 J	72,569 J	73,55 J
Energi untuk mematahkan (Joule/mm ²)	0,968 J/mm ²	0,907 J/mm ²	0,919 J/mm ²
Setelah percobaan			
Tebal patahan (D)	8 mm	8 mm	8 mm
Tebal sisa patahan (D')	0 mm	0 mm	0 mm
Tebal Hard Facing	3,4 mm	3,9 mm	3,2 mm

Pola Patahan

- Pola patahan *Layer Hardfacing* datar dan mengkilap, sedangkan *layer Mild Steel* datar berpasir dan lebih gelap
- Ini mengindikasikan bahwa *material Guide Vane* getas



Pola Kerusakan *Guide Vane*



Kesimpulan

- ▶ Kapasitas *coal mill* di lapangan sebesar 59 ton/jam lebih kecil dibandingkan kapasitas *standard design coal mill* sebesar 80 ton/jam, tetapi *guide vane* yang terdapat pada *coal mill* masih sering mengalami kerusakan. Hal ini mengindikasikan ketidaksesuaian penggunaan jenis *material* pada *guide vane* tersebut.
- ▶ Berdasarkan pengujian komposisi kimia dan metalografi pada *guide vane*, *layer hardfacing* tergolong jenis *material* Fe–Cr–C *overlay* dan *layer base plate* atau *mild steel* tergolong jenis *material* AISI 1023.
- ▶ Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan *layer hardfacing* Fe–Cr–C *overlay* sebesar 54,6 HRC. Dengan nilai kekerasan tersebut Fe–Cr–C *overlay* masih mengalami kerusakan akibat beban *impact* berulang dari tumbukkan partikel batubara.
- ▶ Penyebab kerusakan *guide vane* disebabkan oleh *fatigue wear*. Hal ini dikarenakan *material guide vane* memiliki ketangguhan yang tidak baik dan tidak sesuai, sehingga *material guide vane* tidak cukup tangguh untuk menerima beban *impact* berulang. Hal ini dapat dilihat dari permukaan *guide vane* yang lebih dominan mengalami kerusakan yaitu pada *layer hardfacing* dibandingkan *layer mild steel*.

Saran

- ▶ Penggunaan dua buah *duo plate* dengan *layer hardfacing* pada kedua sisi luar *guide vane* dirasa kurang tepat. Sisi dalam disarankan menggunakan *layer material* yang ulet dan tahan aus karena menerima beban *impact* dan *fatigue*, sedangkan pada sisi luar bisa tetap menggunakan *layer hardfacing Fe-Cr-C overlay* karena hanya mengalami beban gesek.
- ▶ Khusus untuk sisi dalam yang mengalami beban *impact* disarankan menggunakan *material* yang lebih ulet tetapi tahan aus seperti *low alloy carbon steel* yang mengandung mangan (*low/medium carbon manganese steel*) untuk menggantikan *mild steel* pada *layer base plate*.

THANK YOU

