



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISIS KEGAGALAN KOMPONEN
DRIVER PLATE DALAM COOLER CLINKER
PADA UNIT TUBAN I PT. SEMEN
INDONESIA TBK.**

Mohamad Miftah Fadlika Makmur
2713 100 055

Dosen Pembimbing

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng, PhD.

Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - TL141584

ANALISA KEGAGALAN KOMPONEN *DRIVER PLATE* DALAM *COOLER CLINKER* PADA UNIT TUBAN I PT. SEMEN INDONESIA TBK

Mohamad Miftah Fadlika Makmur
NRP 2713 100 055

Dosen Pembimbing :
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

**FAILURE ANALYSIS OF DRIVER PLATE IN
COOLER CLINKER ON TUBAN 1 UNIT PT.
SEMEN INDONESIA TBK.**

Mohamad Miftah Fadlika Makmur
NRP 2713 100 055

Advisor :

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017

(this page left intentionally blank)

**ANALISIS KEGAGALAN KOMPONEN DRIVER PLATE
DALAM COOLER CLINKER PADA UNIT TUBAN I PT.
SEMEN INDONESIA TBK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Korosi dan Analisa Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Mohamad Miftah Fadlika Makmur
NRP. 2713 100 055

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD (Pembimbing I)
2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T (Pembimbing II)



**ANALISA KEGAGALAN KOMPONEN *DRIVER PLATE*
DALAM *COOLER CLINKER* PADA UNIT TUBAN I PT.
SEMEN INDONESIA TBK**

Nama : M. Miftah Fadlika Makmur
NRP : 2713100055
Departemen : Teknik Material FTI ITS
Dosen Pembimbing : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Abstrak

Mesin pendingin terak (*clinker cooler*) berfungsi sebagai pendingin terak (*clinker*) yang keluar dari mesin pemanas (*kiln*). *Drive plate* berfungsi untuk membawa terak dari *kiln* dengan menggerakkan *crossbar* dalam proses pendinginan terak. Beberapa pengujian dilakukan untuk mendukung hasil analisis. Uji komposisi didapatkan material *driver plate* berkesesuaian komposisinya dengan ASTM A709. Pengamatan makroskopik menunjukkan adanya deformasi, terlihat dari perubahan geometri. Pengamatan mikroskopik menunjukkan struktur mikro daerah yang terdeformasi mengalami *strain hardening*. Analisa ANSYS menunjukan besar *total deformation* dan *equivalent stress*. Besar *total deformasi* sebesar 4.4 mm. Dan uji kekerasan menunjukkan adanya peningkatan nilai kekerasan di daerah dekat dengan kegagalan, dari 348.2 ± 9 BHN menjadi 370.6 ± 17 BHN. Faktor yang menyebabkan kegagalan adalah pemilihan material dan deformasi.

Kata kunci : *Drive Plate, Clinker Cooler, Deformasi*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**FAILURE ANALYSIS OF DRIVER PLATE IN COOLER
CLINKER ON TUBAN 1 UNIT PT. SEMEN
INDONESISA TBK.**

Nama : M. Miftah Fadlika Makmur
NRP : 2713100055
Departemen : Teknik Material FTI ITS
Dosen Pembimbing : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Abstrak

The clinker cooler serves as a clinker cooler coming out of the heater (kiln). The drive plate serves to carry the slag from the kiln by moving the crossbar in the slag cooling process. Several tests were conducted to support the results of the analysis. Composition test was obtained by material driver plate according to composition with ASTM A709. Macroscopic observations show the presence of deformation, visible from geometric changes. Microscopic observation showed that the deformed micro-structures of the terrain had strain hardening. ANSYS analysis shows the total deformation and equivalent stress. The total deformation of 4.4 mm. And the hardness test showed an increase in hardness value in the area close to failure, from 348.2 ± 9 BHN to 370.6 ± 17 BHN. Factors that cause failure are material selection and deformation.

Kata kunci : *Drive Plate, Clinker Cooler, Deformation*

(this page left intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, anugerah dan petunjuk-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul :

“Analisa Kegagalan Komponen Driver Plate dalam Cooler Clinker pada Unit Tuban 1 PT. Semen Indonesia Tbk.”

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang kepada :

1. Allah SWT, yang senantiasa menjadi tempat mencurahkan keluh kesah serta senantiasa menjadi penulis
2. Kedua orang tua penulis atas segala doa, dukungan moril dan meteril, pengertian dan semangat yang telah diberikan selama ini
3. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD dan Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis
4. Dr Agung Purniawan, S.T, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dan Amaliya Rasyida ST., M.Sc. selaku dosen wali yang selalu memberi bimbingan dan menjadi orang tua kedua selama di perkuliahan
5. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang, serta seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, Juli 2017
Penulis

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian <i>Clinker Cooler</i>	5
2.2 Pengertian <i>Grate Cooler</i>	7
2.3 Material <i>Driver Plate</i> (HARDOX 500).....	8
2.4 Baja ASTM A841	9
2.5 Diagram Fase Fe- Fe ₃ C.....	10
2.6 Baja Paduan	12
2.6.1 Pengaruh terhadap diagram fasa....	12
2.7 Analisa Kegagalan.....	14
2.8 Prosedur dalam Analisa Kegagalan	16

2.9	Dislokasi dan Deformasi	17
2.10	Pengujian Kekerasan.....	18
2.10.1	Uji kekerasan brinnel.....	19
2.11	Penelitian Sebelumnya.....	20
2.11.1	Deformation tests and failure process analysis of an anchorage structure.	20
2.11.2	Analisa perpindahan pada grate cooler industri semen	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2	Metode Penelitian.....	28
3.3	Material yang digunakan	28
3.3.1	Material.....	28
3.3.2	Spesimen.....	29
3.4	Peralatan	30
3.5	Tahapan Penelitian	32
3.5.1	Review Dokumen Perusahaan	32
3.5.2	Preparasi Spesimen	32
3.5.3	Uji Komposisi	33
3.5.4	Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik	33
3.5.5	Uji Kekerasan.....	34
3.5.6	Rancangan Penelitian.....	35
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		
4.1	Analisis Data.....	37
4.1.1	<i>Driver Plate</i> di <i>Cooler Clinker</i>	37
4.1.2	Uji Komposisi Unsur	38

4.1.3	Pengamatan Makroskopik.....	40
4.1.4	Pengamatan Mikroskopik	43
4.1.5	Analisa Software ANSYS	45
4.1.6	Uji Kekerasan	46
4.1.7	Muai volume Driver Plate terhadap perubahan bentuk	49
4.2	Pembahasan.....	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen utama <i>Clinker Cooler</i> (FLSmith, 2016)	6
Gambar 2.2	Komponen <i>Cooler</i> (FLSmith Komponen, 2016)	7
Gambar 2.3	Skema umum <i>Grate Cooler</i> ..	8
Gambar 2.1	Diagram fase Fe - Fe ₃ C (Avner, 1974)	11
Gambar 2.6	Pengaruh unsur paduan terhadap temperatur eutectoid (kiri) dan kadar dalam eutectoid (kanan) (Avner, 1974)	13
Gambar 2.7	Pengaruh kadar chromium terhadap luasan daerah austenite (Avner, 1974)	13
Gambar 2.8	Struktur Mikro ASTM A709 (ASTM A709)	13
Gambar 2.9	Struktur Mikro Acicular Ferrite	13
Gambar 2.10	Struktur Mikro Polygonal Ferrite	13
Gambar 2.11	Struktur Mikro Upper Bainite	13
Gambar 2.12	Struktur Mikro Lath Martensite	13

Gambar 2.13 Kurva standar tegangan – regangan baja ringan (Lange, 1995)	18
Gambar 2.14 Penampakan pergeseran yang berubah akibat meningkatnya nilai gaya tekan keluar	20
Gambar 2.15 Tampak dari tahap <i>de-bonding</i>	21
Gambar 2.16 Tahap pembentukan kegagalan	22
Gambar 2.17 Koefisien Perpindahan Panas per <i>section</i>	23
Gambar 2.18 Nilai perpindahan panas per <i>section</i>	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2 Komponen <i>driver plate</i> yang patah.....	29
Gambar 3.3 Bagian komponen <i>driver plate</i> yang akan diuji dan dianalisa	30
Gambar 3.4 Universal Hardness Tester ..	31
Gambar 3.5 Mikroskop Optik <i>Olympus</i> <i>BX51M-RF</i>	32
Gambar 3.6a Kamera merk Canon tipe SLR	34
Gambar 3.6b Mikroskop Optik	34
Gambar 3.7 Universal Hardness Tester HBRV 187.5A.....	34
Gambar 4.1 Desain <i>driver plate</i> tampak depan	37

Gambar 4.2	Pengamatan makroskopik permukaan spesimen <i>Driver plate</i>	40
Gambar 4.3	Pengukuran lebar komponen <i>Driver plate</i>	41
Gambar 4.4	Pengukuran tebal komponen <i>Driver plate</i>	41
Gambar 4.5	Diagram transformasi HSLA	43
Gambar 4.6a	Foto struktur mikro material <i>driver plate</i> daerah jauh dari deformasi.....	44
Gambar 4.6b	Foto struktur mikro material <i>driver plate</i> dekat dari deformasi pada perbesaran 1000X	44
Gambar 4.7	Daerah indentasi pengujian kekerasan pada <i>Driver Plate</i> . Ket : titik merah untuk daerah di dekat deformasi dan titik biru untuk daerah di jauh dari deformasi	47
Gambar 4.8	Grafik nilai kekerasan <i>Driver plate</i> pada area dekat deformasi dan jauh dari deformasi	47
Gambar 4.9	Hasil analisa untuk <i>total stress</i> (a) <i>Driver Plate</i> (b) <i>Hardox 500</i>	47
Gambar 4.10	Hasil analisa untuk <i>total deformation</i> (a) <i>Driver Plate</i> (b) <i>Hardox 500</i> ..	47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Kimia pada HARDOX 600 (ASTM A48, 1999).....	9
Tabel 2.2	Sifat mekanik pada HARDOX 600 (ASTM A48,1999)	9
Tabel 2.3	Komposisi Kimia pada Baja ASTM A841 (ASTM A841, 1999)	9
Tabel 2.4	Sifat Mekanik ASTM A841 (ASTM A841, 1999)	10
Tabel 2.5	Sifat fisik ASTM A841 (ASTM A841, 1999)	10
Tabel 2.6	Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin	14
Tabel 2.7	Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin (Brooks 2002)	15
Tabel 2.8	Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks 2002)	16
Tabel 3.1	Komposisi Kimia <i>Driver Plate</i>	29
Tabel 3.2	Rancangan penelitian	35
Tabel 4.1	Dimensi dan Operasi <i>Driver Plate</i> PT. Semen Indonesia Tuban	37
Tabel 4.2	Sifat mekanik HARDOX 500 ..	38
Table 4.3	Komposisi material HARDOX 500.....	38
Tabel 4.4	Perbandingan Hasil Uji Komposisi Unsur Komponen <i>Driver plate</i>	

	dengan HSLA A841	39
Tabel 4.5	Lebar <i>driver plate</i>	42
Tabel 4.6	Tebal <i>driver plate</i>	42
Tabel 4.7	Nilai Kekerasan pada <i>Driver Plate</i> Berdasarkan Area Indentasi.....	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia merupakan produsen semen terbesar di Indonesia. Keberhasilan pembangunan pabrik Tuban IV dan Tonasa V, serta akuisisi perusahaan semen Vietnam Thang Long Cement Company pada akhir tahun 2013, maka pada awal tahun 2013 perseroan memiliki kapasitas terpasang sebesar 30 ton/tahun dan telah menjadi perusahaan semen terbesar di Asia Tenggara berdasarkan kapasitas terpasang. Proses pembuatan semen PT. Semen Indonesia unit Tuban 1 secara garis besar melalui proses dengan dimulai dari pengambilan bahan baku, proses pembuatan klinker, proses penggilingan semen dan *packing* semen. Dalam proses produksi semen ini, terdapat banyak *equipment* yang digunakan dan salah satunya adalah *clinker cooler*. (Ibrahim,2004)

Semen sendiri terdiri atas bahan baku utama dan bahan baku tambahan jika ditinjau dari segi fungsinya. Material yang termasuk bahan baku utama adalah batu kapur (CaCO_3), *clay* (tanah liat), pasir silika (SiO_2), *iron sand* (Fe_2O_3). Serta bahan baku tambahan dari semen adalah *trass*, *gypsum* dan dolomit. Proses produksi semen yang pertama yaitu penambangan bahan baku untuk pembuatan semen terutama batu kapur (CaCO_3) dan *clay* (tanah liat) menggunakan alat-alat berat kemudian dikirim ke pabrik, yang kedua, bahan-bahan yang telah ditambang kemudian diteliti di laboratorium kemudian dicampur dengan proporsi yang tepat dan kemudian dilanjutkan ke proses penggilingan awal (*raw mill*) untuk memperkecil dimensi material. Proses selanjutnya adalah bahan kemudian dipanaskan di *preheater*, dilanjutkan di dalam kiln sehingga bereaksi membentuk kristal klinker. Kiln ini menggunakan bahan dasar pembakaran batu bara yang sebelumnya diproses di *coal mill* yang berjenis *vertical roller mill*, agar ukuran batu bara ini dapat digunakan pada kiln. Kristal klinker ini kemudian didinginkan di *cooler* dengan bantuan angin.



Panas dari proses pendinginan ini di alirkan lagi ke *preheater* untuk menghemat energi. Klinker ini kemudian dihaluskan lagi dalam tabung yang berputar yang bersisi bola-bola baja yaitu pada *ball mill* sehingga menjadi serbuk semen yang halus. Klinker yang telah halus ini disimpan dalam silo. Dari silo ini semen di *packing* dan dijual ke konsumen. (Semenpadang.co.id)

Mesin pendingin terak (*clinker cooler*) berfungsi sebagai pendingin terak (*clinker*) yang keluar dari mesin pemanas (*kiln*). *Clinker* yang keluar dari *kiln* akan diantarkan menuju mesin penggiling (*hammer crusher*) melalui papan silang (*crossbar*) yang pada prosesnya di gerakan oleh batang berjalan (*Driver Plate*) yang berjajar diatas bagian *cooler*. Maka dari itu, dibutuhkan sifat kekerasan dan ketangguhan yang tinggi untuk komponen *Driver Plate* mengingat kondisi terak (*Clinker*) yang memiliki temperature tinggi akibat proses pemanasan di *kiln*. Pada Januari 2017, *Driver Plate* pada *clinker cooler* mengalami fenomena perubahan bentuk (*Deformation*). Komponen *Driver Plate* mengalami kegagalan berupa deformasi yang diakibatkan oleh beban yang terlalu besar dan kerja yang terus menerus, sehingga mengakibatkan equipment *Clinker cooler* berhenti berjalan di karenakan komponen lain yang lepas. Material standar untuk *driveplate* adalah hardox 500 atau hardox600.

Berdasarkan jenis kegagalan yang terjadi, maka hipotesa awal yang mungkin terjadi berupa dislokasi yang disebabkan oleh beban kerja yang terlalu berat dan juga kondisi temperature yang terlalu tinggi sehingga menyebabkan suatu pergeseran atau pegerakan atom-atom di dalam sistem kristal logam akibat tegangan mekanik yang dapat menciptakan deformasi plastis atau perubahan sturktur material secara permanen (Anwar, 2007). Maka dari itu, dilakukanlah analisa terhadap kegagalan ini untuk membuktikan hipotesa awal tersebut, agar kegagalan ini tidak terjadi lagi. Dengan melakukan beberapa pengujian seperti uji komposisi, uji mikroskopi, uji makroskopi dan perhitungan dari

BAB I PENDAHULUAN



studi lapangan serta studi literature mengenai deformasi pada benda padat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Apa faktor penyebab terjadinya kegagalan pada komponen *Driver Plate* di *clinker cooler*?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan pada komponen *Driver Plate* di *clinker cooler*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Data operasi kecepatan gerak pada *Driver Plate* sudah memenuhi standar operasional.
2. Desain *Driver Plate* memenuhi standar operasional.
3. Pengaruh lingkungan diabaikan.
4. Material dianggap homogen di semua sisi

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis faktor penyebab terjadinya kegagalan pada komponen *Driver Plate* di *clinker cooler*.
2. Menganalisis mekanisme kegagalan pada komponen *Driver Plate* di *clinker cooler*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan penanganan bila terjadi kegagalan dikemudian hari dan dasar pengembangan pada ilmu berikutnya.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

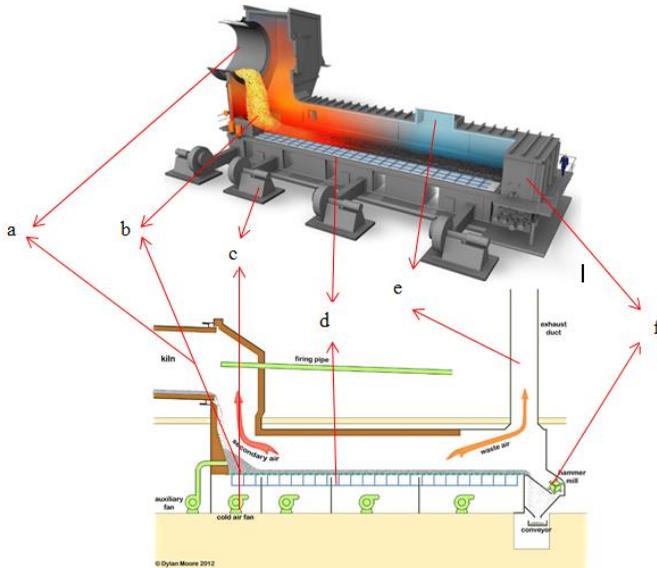
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Clinker Cooler*

Pada industri semen, terak (*clinker*) yang sudah diproses dari awal sampai dipanaskan pada mesin pemanas (*rotary kiln*) dengan temperatur $\pm 1800^{\circ}\text{C}$ selanjutnya akan diturunkan dari temperatur $\pm 1450^{\circ}\text{C}$ sampai *clinker* dengan temperatur $\pm 100\div 250^{\circ}\text{C}$ untuk selanjutnya akan dihancurkan oleh mesin penggiling (*hammer crusher*).

Pada Gambar 2.1 dijelaskan komponen – komponen pada *clinker cooler*. Proses pendinginan dimulai ketika (b) *clinker* keluar dari (a) *rotary kiln*. Selanjutnya *clinker* dihantarkan menuju ke (f) *hammer crusher* melalui (d) *crossbar* yang berjajar diatas bagian *cooler*. Bagian *cooler* terdiri atas (c) kipas (*fan*) yang memiliki fungsi sebagai pendingin. Udara yang digunakan untuk mendinginkan dibuang melalui (e) pipa pembuangan (*exhaust duct*).

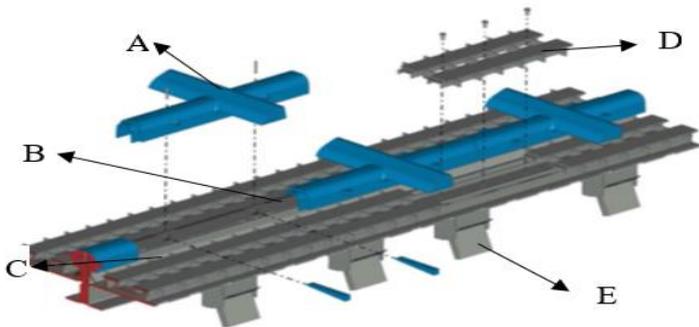
Pada *clinker cooler* proses pendinginan *clinker* dilakukan dengan mengalirkan udara dari sejumlah *fan*, yang selanjutnya dihembuskan melalui papan silang (*crossbar*) yang bergerak mengantarkan *clinker* menuju ke *hammer crusher*. Untuk keperluan pendinginan tersebut digunakan alat yang disebut *grate cooler*. Pada *grate cooler* proses pendinginan *clinker* dilakukan dengan mengalirkan udara dari sejumlah *fan*, yang selanjutnya dihembuskan melalui celah – celah landasan (*grate*) yang bergerak mengantarkan *clinker* menuju ke grinder untuk proses selanjutnya *crusher* untuk proses selanjutnya. (Anwar, 2011)



Gambar 2.1 Komponen utama *Clinker Cooler* (FLSmith, 2016)

Kapasitas desain clinker cooler adalah 7800 ton / hari sedangkan luas permukaan efektifnya adalah 160.6 m², terdapat 3 section pada clinker cooler antara lain inlet, existing, dan extended. (Firdaus, 2007)

Proses pendinginan *clinker* di dalam *clinker cooler* merupakan salah satu proses yang cukup penting mendapat perhatian dalam produksi semen. Hal ini disebabkan karena proses pendinginan *clinker* setelah melewati pemanasan di dalam *rotary kiln*, merupakan salah satu faktor dalam upaya menghasilkan *clinker* dengan kualitas yang diharapkan (Silika ratio:2.44, Alumina ratio:1.54, *Lime saturation*: 96.2). (Anwar, 2011)



Gambar 2. 2 Komponen *Cooler* (FLSmith Komponen, 2016)

Secara umum komponen *cooler* (Gambar 2.2) dapat dibedakan menjadi 3 bagian utama yaitu : *cooling chamber*, *cooler drive*, dan *cooler hammer*. *Cooling chamber* berfungsi sebagai tempat terjadinya pendinginan *clinker* seperti komponen *crossbar* (A), *air distribution plate* (D), *mechanical flow regulator* (E). *Cooler drive* terdiri atas *drive plate* (B) dan *actuator* (C) yang berfungsi untuk alat transport *clinker* menuju ke *cooler hammer* sebelum diproses untuk menjadi bahan baku pembuat semen.

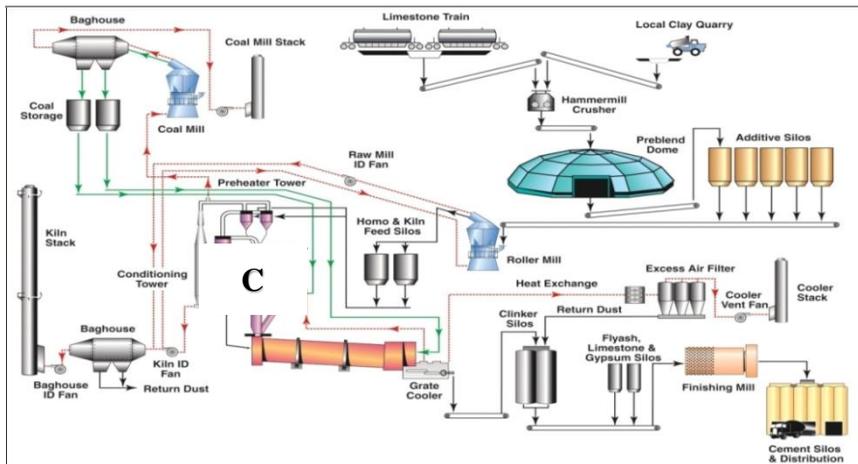
2.2. Pengertian *Grate Cooler*

Pada industri semen, *clinker* yang sudah di proses dari awal sampai dipanaskan pada *rotary kiln* dengan temperature $\pm 1800^{\circ}\text{C}$ selanjutnya akan diturunkan dari suhu $\pm 1450^{\circ}\text{C}$ sampai *clinker* bersuhu $+90^{\circ}\text{C}$ untuk selanjutnya akan dipecahkan oleh grinder.

Untuk keperluan pendinginan tersebut digunakan alat yang disebut *grate cooler*. Pada *grate cooler* proses pendinginan *clinker* dilakukan dengan mengalirkan udara dari sejumlah fan, yang selanjutnya dihembuskan melalui celah – celah landasan (*grate*) yang bergerak mengantarkan *clinker* menuju ke grinder untuk proses selanjutnya.



Setelah melewati landasan material, udara pendingin akan masuk kedalam kiln atau ruang bakar yang mana akan digunakan sebagai udara sekunder untuk pemanasan awal pada proses pembakaran. Selain itu juga akan dialirkan ke *calciner*, *coal mills* dan *dryers*. Sebagian lagi dari udara hasil pendinginan akan dikeluarkan ke atmosfer. (Anwar, 2011)



Gambar 2. 3 Skema umum *Grate Cooler*

2.3. Material *Driver Plate* (HARDOX 500)

Material *crossbar* yang sesuai standar hardox 500. Material ini cocok untuk aplikasi benda yang membutuhkan kekerasan dan juga ketahanan aus yang tinggi. Walaupun material ini sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus yang tinggi, tetapi tetap memiliki kemampuan untuk bias di potong dan juga di las. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia dari HARDOX 600 antara lain sebagai berikut :



Tabel 2. 1 Komposisi Kimia pada HARDOX 500 (HARDOX 500, 2016)

Material	Komposisi (wt%)				
	C max	Mn max	Si max	S max	P max
HARDOX 500	0.27	1.60	0.50	0.010	0.025

Sifat mekanik dari HARDOX 500 juga bermacam-macam. Tabel 2.2 menunjukkan macam-macam sifat mekanik pada HARDOX 500. Salah satunya adalah nilai kekerasan pada HARDOX 500 (ASTM A48, 1999)

Tabel 2. 2 Sifat mekanik pada HARDOX 500 (HARDOX 500, 2016)

Thickness (mm)	Brinell Hardness (BHN)
3.0 – 6.50	470 - 530
51.1 – 65	550 - 640

2.4. Baja ASTM A709

Material ini adalah Baja paduan dengan kandungan karbon rendah, krom rendah. Tabel 2.3 menunjukkan komposisi kimia pada baja ASTM A709 antara lain sebagai berikut :

Tabel 2. 3 Komposisi Kimia pada Baja ASTM A709 (ASTM A709, 1999)

ASTM	Komposisi (wt%)						
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Mo
A841	0.20	0.40	1.5	0.35	0.045	0.035	0.15

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Sifat mekanik dari ASTM A709 juga bermacam-macam, berikut adalah beberapa sifat yang dimiliki material ASTM A709 ini. Tabel 2.4 menunjukkan macam-macam sifat mekanik pada ASTM A709. (ASTM A709, 1999)

Tabel 2. 4 Sifat Mekanik ASTM A709 (ASTM A709, 1999)

Sifat	Metric (MPa)	Imperial (psi)
Ultimate tensile strength	450	65400
Yield tensile strength	345	50000
Modulus of elasticity	20.5×10^4	29700

Selain sifat mekanik yang dimiliki oleh material ASTM A709 ini, terdapat sifat fisik yang perlu juga untuk diketahui. Pada Tabel 2.5 dijelaskan tentang macam-macam sifat fisik dari material ASTM A709 ini.

Tabel 2. 5 Sifat fisik ASTM A709 (ASTM A709, 1999)

Sifat	Metric	Imperial
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³

2.5. Diagram Fase Fe-Fe₃C

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

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

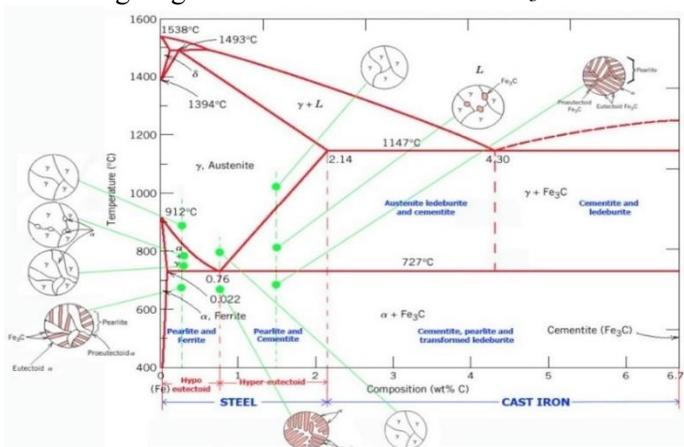
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi – karbida dapat dilihat pada Gambar 2.6. (Avner, 1974)

Dari Gambar 2.6. tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu :

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



Gambar 2. 1 Diagram fase Fe - Fe₃C (Avner, 1974)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

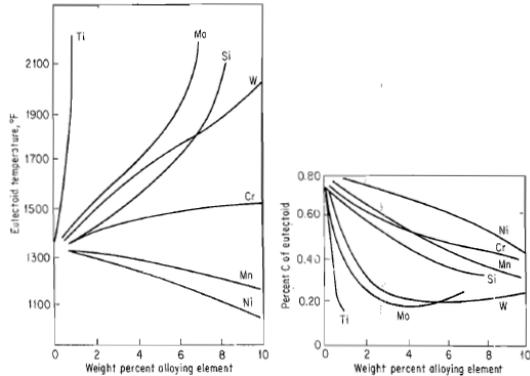


2.6. Baja Paduan

Baja adalah paduan besi dan karbon yang mungkin mengandung unsur paduan lainnya; ada banyak jenis paduan yang memiliki komposisi dan perlakuan panas yang berbeda. Sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon, yang biasanya kurang dari 1,0 wt%. Pada umumnya baja diklasifikasikan menurut konsentrasi karbon yaitu karbon rendah, menengah, dan tinggi. Selain itu juga dapat dikelompokkan berdasarkan kandungan unsur paduannya. Baja karbon biasa (plain carbon steel) yang hanya berisi konsentrasi karbon dan baja selain itu memiliki sedikit pengotor dan sedikit paduan manganese. Untuk baja paduan, unsur paduan ditambahkan untuk tujuan tertentu dengan konsentrasi tertentu. (Callister, 2007)

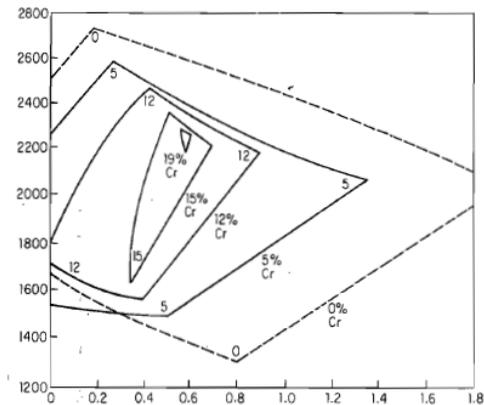
2.6.1 Pengaruh terhadap diagram fasa

Adanya unsur paduan di dalam baja akan merubah diagram fase baja. Pada umumnya titik eutektoid akan tergeser ke kiri, sehingga kadar karbon di dalam perlit akan kurang dari 0,8%. Unsur paduan yang berfungsi sebagai penstabil austenit, yaitu Ni dan Mn, menurunkan temperatur eutektoid, sedangkan unsur paduan penstabil ferrit, akan menaikkan temperature eutektoid (Gambar 2.8.) Jadi unsur paduan penstabil ferrit akan menggeser titik eutektoid ke kiri atas, sedang penstabil austenite menggeser titik eutektoid ke bawah. (Avner, 1974)



Gambar 2. 6 Pengaruh unsur paduan terhadap temperatur eutectoid (kiri) dan kadar dalam eutectoid (kanan) (Avner, 1974)

Selain itu unsur paduan penstabil ferrit akan memperluas daerah ferrit dan memperkecil daerah austenit, ini digambarkan dengan makin sempitnya daerah austenit dari baja dengan kadar karbon kromium yang makin tinggi seperti pada Gambar 2.9. (Avner, 1974)



Gambar 2. 7 Pengaruh kadar chromium terhadap luasan daerah austenite (Avner, 1974)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.7. High Strength Low Alloy (HSLA)

Baja high-strength low-alloy (HSLA), atau baja microalloyed Dirancang untuk memberikan sifat mekanik yang lebih baik dan / atau ketahanan yang lebih besar terhadap korosi daripada baja karbon konvensional. Mereka bukan merupakan baja paduan dalam arti normal karena memang dirancang untuk memenuhi sifat mekanik tertentu dengan Komposisi kimia tertentu (baja HSLA memiliki kekuatan luluh lebih dari 275 MPa, atau 40 ksi). Komposisi kimia dari baja HSLA tertentu dapat bervariasi tergantung pada ketebalan produk yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan properti mekanik. Baja HSLA dalam bentuk lembaran atau pelat memiliki kandungan karbon rendah (0,05 sampai-0,25% C) untuk menghasilkan kemampuan dan kemampuan las yang memadai, dan HSLA memiliki kandungan mangan hingga 2,0%. Sejumlah kecil kromium, Nikel, molibdenum, tembaga, nitrogen, vanadium, niobium, titanium, dan Zirkonium digunakan dalam berbagai kombinasi.

Baja HSLA dapat dibagi menjadi enam kategori, yaitu Baja Pelapisan, yang mengandung sejumlah kecil unsur paduan Seperti tembaga dan fosfor untuk meningkatkan Ketahanan korosi dan penguatan solid-solution.

Baja ferit-pearlit, dengan kandungan yang sangat kecil (umumnya, Kurang dari 0,10%) penambahan karbida kuat atau karbonitrida Unsur-unsur seperti niobium, Vanadium, dan / atau titanium untuk Penguatan presipitasi, penyempurnaan butir, dan kemungkinan transformasi akibat suhu

Baja pealitik yang diroll, yang bisa meliputi baja karbon-mangan yang mungkin juga memiliki penambahan elemen paduan lainnya Meningkatkan kekuatan, ketangguhan, kemampuan formabilitas, dan kemampuan las.

Baja ferit (baja karbon rendah) yang rendah karbon (Kurang dari 0,05% C) baja dengan kombinasi tinggi yang memiliki kekuatan sangat baik, (setinggi 690 MPa, atau 100 ksi) kemampuan las, kemampuan bentuk, Dan ketangguhan yang bagus.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



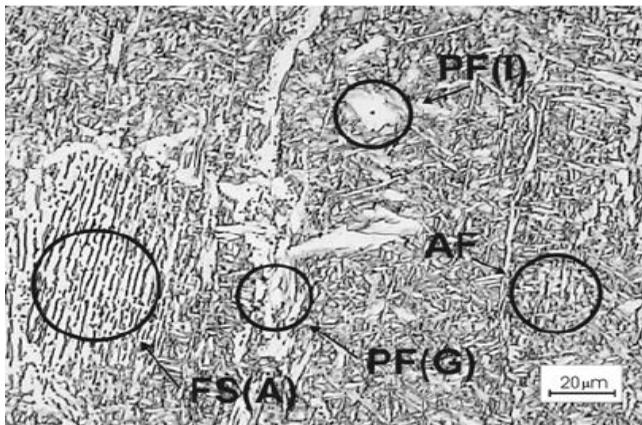
Baja fase ganda, yang memiliki struktur mikro martensit yang terdispersi dalam matriks feritik dan terdapat kombinasi daktilitas yang baik dan Kekuatan tarik tinggi.

Baja bentuk inklusi, yang memberikan peningkatan keuletan Dan ketangguhan melalui ketebalan oleh penambahan kecil kalsium, Zirkonium, atau titanium, atau mungkin unsur tanah jarang sehingga Bentuk inklusi sulfida diubah dari stringer yang memanjang ke Kecil, tersebar, bola bulat hampir bulat.

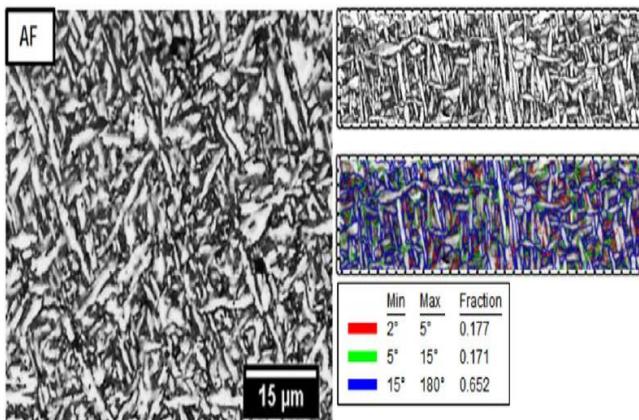


2.8. Struktur Mikro

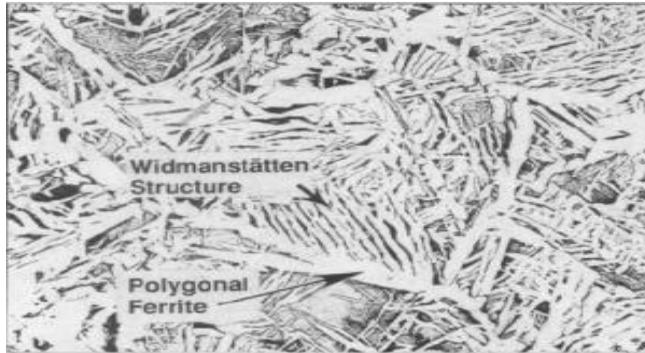
ASTM 709 memiliki struktur mikro yang berbeda ketika mengalami proses pemanasan dan pendinginan dalam waktu yang lambat. Struktur mikro dari ASTM A709 terdiri dari acicular ferrite, polygonal ferrite, upper bainite dan lath martensite. Berikut merupakan contoh gambar dari masing masing struktur mikro tersebut.



Gambar 2.8 Struktur Mikro ASTM A709



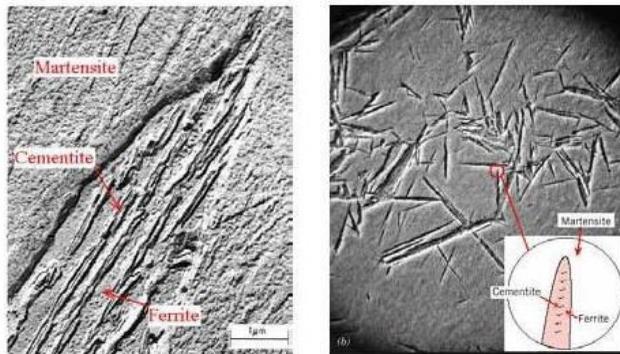
Gambar 2.9 Struktur Mikro Acicular Ferrite



(b)

200 μ m

Gambar 2.10 Struktur Mikro Polygonal Ferrite

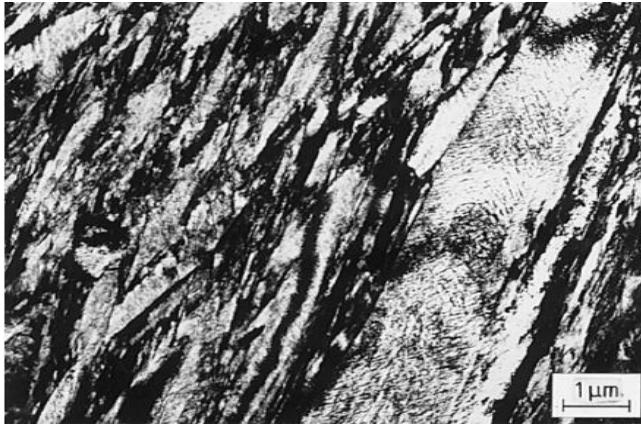


Upper Bainite

Lower Bainite

Microstructure of Upper Bainite and Lower Bainite

Gambar 2.11 Struktur Mikro Upper Bainite



Gambar 2.12 Struktur Mikro Lath Martensite

2.9. Analisa Kegagalan

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

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

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

1. Faktor kesalahan pemilihan material



Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.6 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material

Tabel 2. 6 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin

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

2. Perawatan komponen yang kurang baik

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.7 menunjukan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

Tabel 2. 7 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin (Brooks 2002)

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

3. Kesalahan dalam perancangan komponen

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

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

4. Kondisi kerja yang ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks 2002)

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan (<i>fatigue</i>)	25
Kegagalan getas (<i>brittle fracture</i>)	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperature tinggi	7
Korosi retak tegang, korosi lelah, penggetasan hydrogen	6
Pemuluran (<i>creep</i>)	3
Abrasi, Erosi	3

2.8 Prosedur Dalam Analisa Kegagalan

Ketika terjadi sebuah kegagalan atau retak, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mencegah terjadinya kegagalan yang sama dengan menginvestigasi dan menganalisa kegagalan komponen

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



yang terjadi. Adapun tindakan yang perlu dilakukan dalam menginvestigasi komponen yaitu (Nishida 1992):

1. Material yang digunakan
 - a. Data produksi : *melting, rolling, forming, casting, heat treatment*, dan proses *machining*
 - b. Analisa kimia : pengujian X-Ray, komposisi kimia
 - c. Sifat mekanik : *tensile, bending, hardness, impact*, dan *fatigue test*.
 - d. Struktur metalurgi : struktur makro dan mikro struktur
 - e. Pengerasan permukaan dan tegangan sisa ; *finishing*
 - f. Patah permukaan
2. Desain tegangan dan kondisi perawatan
 - a. Kekuatan dari luar : golongan, besar, pengulangan.
 - b. Atmosfer : udara, air, air laut, dan sebagainya
 - c. Yang lain : kondisi perbaikan
3. Uji percobaan
 - a. Uji laboratorium : perhitungan tegangan (kekuatan material, *finite element method (FEM)*, kekuatan leleh, kekerasan patahan.
 - b. \Konfirmasi uji lapangan : ukuran tegangan, uji produksi.
4. Hasil uji seluruhnya.

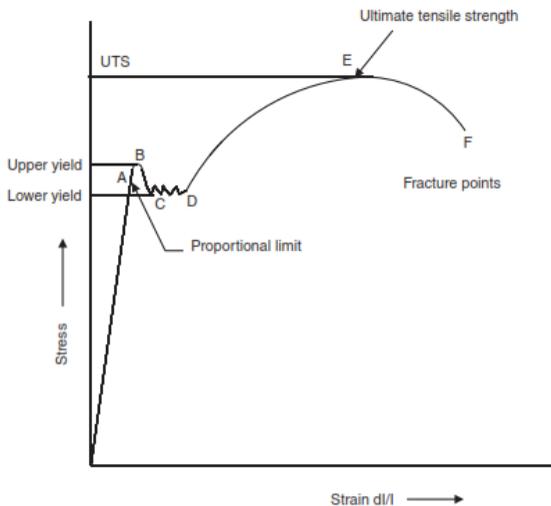
2.9 Dislokasi dan deformasi

Sebagian besar dari kita cukup fasih dengan uji tarik sederhana yang paling umum dan dilakukan untuk menentukan kekuatan luluh, kekuatan tarik utama, persen elongasi dan fraktur kekuatan logam. Kurva khas tegangan-regangan yang diperoleh di tes ketegangan pada dua paduan yang berbeda. Diperoleh untuk baja karbon rendah atau baja ringan benda uji dan diperoleh untuk aluminium benda uji paduan. Dalam kedua diagram stres dan ketegangan didefinisikan sebagai diberikan di bawah ini. Stres = Angkatan / daerah asli dari penampang spesimen. Regangan = Perubahan panjang / panjang asli dari spesimen. Dalam kasus baja ringan, untuk memuat sampai titik A, ada garis lurus atau linear

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



hubungan antara stres dan ketegangan. Itulah sebabnya titik A juga disebut batas proporsional. Setelah itu, hubungan antara stres dan ketegangan adalah nonlinear sampai titik B yang sangat dekat A. Juga sampai ke titik B deformasi sebagian besar elastis dan di bongkar spesimen mendapatkan kembali dimensi aslinya. Tapi di luar titik B yield logam, itu menderita deformasi plastik. Hal ini ditunjukkan dengan sebuah tikungan tiba-tiba kurva. Sebagian ketegangan setelah ini titik regangan plastik yang belum pulih di bongkar. Nilai tegangan pada B disebut atas kekuatan luluh dan titik B disebut titik yield atas. (Lange, 1995)



Gambar 2.13 Kurva standar tegangan – regangan baja ringan (Lange, 1995)

2.10 Pengujian Kekerasan

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



Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, hal ini tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu:

1. Kekerasan goresan (*scratch hardness*),
2. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*),
3. Kekerasan pantulan (*rebound*)

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

Kekerasan dari besi cor umumnya cukup tinggi, sehingga untuk mendapatkan hasil yang maksimum, maka metode pengujian kekerasan yang cocok adalah dengan menggunakan *Brinell Hardness Testing*. (Murtiono 2012)

2.10.1 Uji Kekerasan Brinell

Uji Brinell dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja chrom yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu, oleh gaya tekan secara statis kedalam permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Setelah gaya tekan diiadakan dan bola baja dikeluarkan dari bekas lekukan, maka diameter paling atas dari lekukan tadi diukur secara teliti untuk kemudian dipakai untuk penentuan kekerasan logam yang diuji dengan menggunakan rumus:

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

Dimana :

P = Beban yang diberikan (KP atau Kgf).

D = Diameter indenter yang digunakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

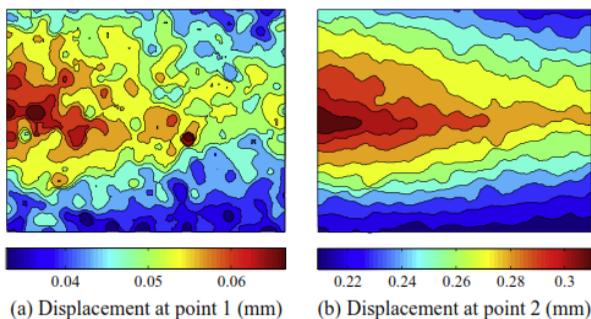


d = Diameter bekas lekukan

2.11 Penelitian Sebelumnya

2.11.1 Deformation tests and failure process analysis of an anchorage structure

Hubungan antara pergeseran dan gaya tekan keluar menjadi topic utama pada penelitian ini. Proses kegagalan dan deformasi pada struktur pelabuhan ini di bagi menjadi 3 : yang pertama adalah tahap *elastic bonding* (ikatan elastis), yang kedua adalah tahap *de-bonding* (Penggikatan kembali), dan yang terakhir adalah tahap kegagalan. Tahap pertama adalah tahap ikatan elastis, pada tahapan ini dimana di berikan beban awal maka terlihat kemiringan kurva yang relative konstan. Yang dimana menunjukkan hubungan antara gaya tekan keluar dan juga pergeseran. Di tahap ini gaya yang di sebabkan oleh beban ini muncul dari sturktur pelabuhan itu sendiri, dan ikatan permukaan masih terjalin. Dan jika dengan bertambahnya gaya tekan keluar, pergeseran akan berkembang menjadi berbentuk “V” seperti pada gambar 2.9 di bawah ini.



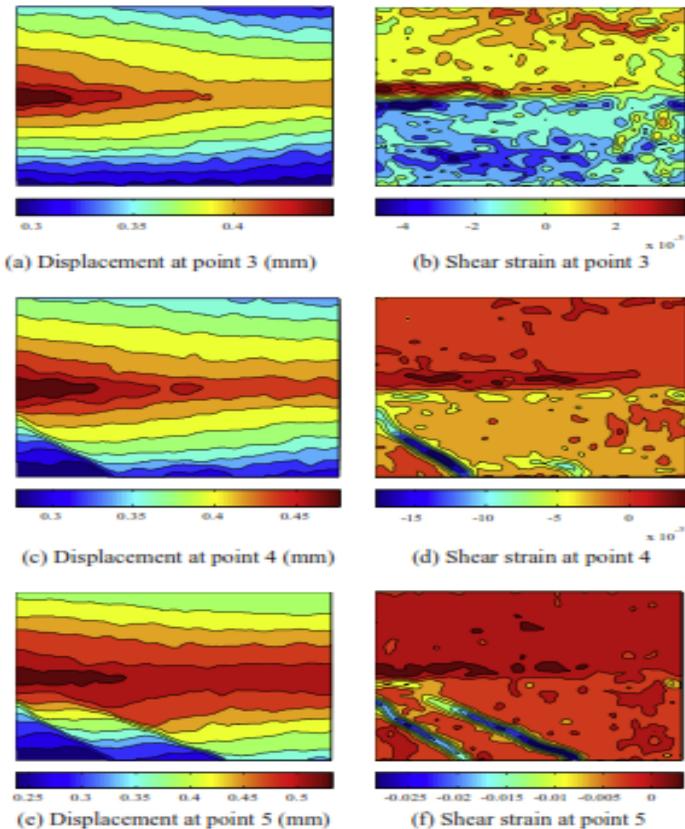
Gambar 2.14 Penampakan pergeseran yang berubah akibat meningkatnya nilai gaya tekan keluar

Selanjutnya adalah tahap *De-Bonding* (pengikatan kembali), pada tahap ini terdapat titik yang tidak bergeser pada

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



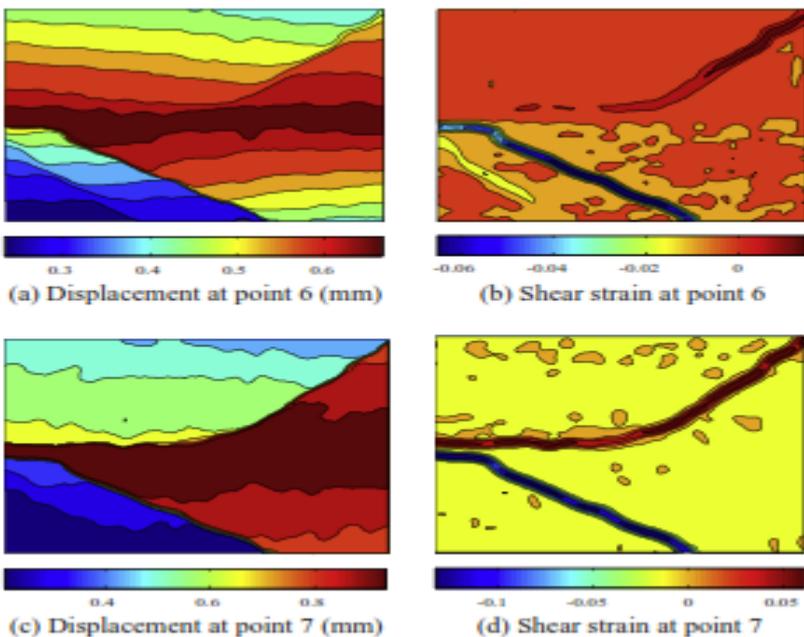
kurva, yang menandakan penambahan gaya mulai menurun di bandingkan dengan tahap ikatan elastis. Di tahap ini terdapat kegagalan terpusat pada ikatan permukaan. Dengan meningkatnya gaya tekan keluar, bentuk “V” semakin besar dan membentuk gaya regangan yang terpusat seperti di tunjukan pada gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.15 Tampak dari tahap *de-bonding*



Tahap terakhir adalah tahap kegagalan, di akhir pembebanan, gaya tekan keluar mulai menurun bersamaan dengan menurunnya pergeseran. Di tahap ini, luasan dari pergeseran pada kurva tidak dapat menahan lagi bentuk “V” tadi dan mulai berubah menjadi pergerakan yang terpisah. Dengan konsentrasi dan lokalisasi dari regangan dan retak makro akhirnya menghasilkan model dari kegagalan yang di tunjukkan oleh gambar 2.11 di bawah ini. (Zhao, 2014)



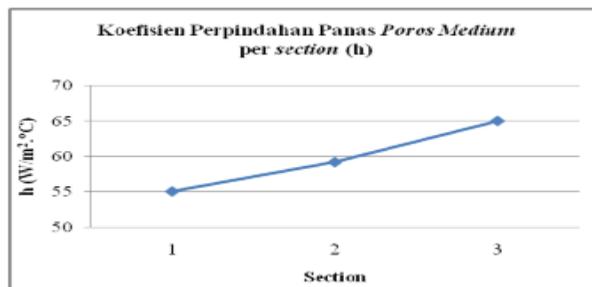
Gambar 2.16 Tahap pembentukan kegagalan



2.11.2 Analisa perpindahan panas pada grate cooler industri semen

Pada *Grate cooler*, udara pendingin yang dihembuskan oleh fan masuk melalui lubang- lubang plat dan melewati celah-celah bongkahan klinker dan mendinginkannya. Sehingga perpindahan panas yang terjadi antara udara pendingin dengan klinker tidak bisa diasumsi sebagai benda padat secara keseluruhan tetapi merupakan *porous medium*.

Untuk menghitung besarnya perpindahan panas maka perhitungan dibagi menjadi 3 bagian yaitu *section 1*, *section 2*, dan *section 3*. Perhitungan jumlah klinker total tiap *section* berdasarkan diameter klinker dan dimensi dari *grate cooler*, untuk kemudian digunakan mencari rasio porositas atau perbandingan antara volume ruang kosong di dalam tumpukan klinker (celah – celah yang dilewati udara) dengan volume jika klinker itu padat. Sehingga dapat diperoleh konduktivitas termal dan koefisien perpindahan *porous medium*.



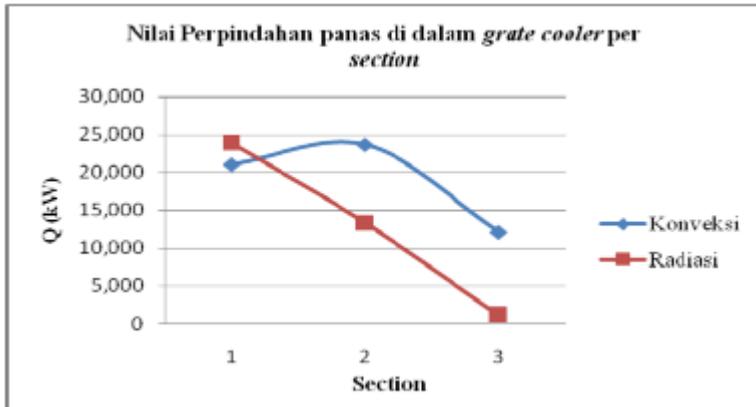
Gambar 2.17 Koefisien Perpindahan Panas per *section*

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa koefisien perpindahan panas *porous medium* lebih besar di *section 3*, setelah itu *section 2*, kemudian *section 1* (lihat gambar 5).



Hal ini disebabkan karena pengaruh ukuran diameter klinker membesar dan temperatur udara yang semakin kecil (pada *section 3*) sehingga menyebabkan konduktivitas dan daya difusi termal *porous medium* akan semakin kecil. Perpindahan panas dari klinker ke udara pendingin dianalisis terjadi secara konveksi dan radiasi. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa perpindahan panas konveksi terbesar terdapat di *section 2* yaitu 23680,97 kW kemudian *section 1* yaitu 21082,38 kW dan *section 3* sebesar 12137,39 kW. Hal ini disebabkan karena jumlah debit udara yang diberikan pada *section 2* lebih besar bila dibandingkan dengan *section 1* dan *section 3*.

Sedangkan perpindahan panas secara radiasi, terbesar pada *section 1* sebesar 23870,1 kW, kemudian *section 2* sebesar 13265,73 kW, dan *section 3* sebesar 1149,36 kW. Kalor radiasi klinker ke udara sesuai data terlihat menurun sesuai dengan penurunan temperatur klinker pada tiap bagian. Kalor perpindahan panas total dari klinker ke udara pendingin diperoleh sebesar : 95185,936 kW. Perhitungan secara termodinamika melalui kesetimbangan energi akan diperoleh kalor yang dilepaskan klinker ke udara sedikit lebih besar dengan persentase perbedaan perhitungan sebesar ± 2 %. Hal ini disebabkan karena perhitungan secara termodinamika, sistem ditinjau pada keadaan awal dan akhirnya saja, tanpa melihat laju perpindahan yang terjadi (prosesnya). Seperti yang di tunjukan pada gambar 2.13 di bawah ini. (Anwar, 2011)



Gambar 2.18 Nilai perpindahan panas per *section*



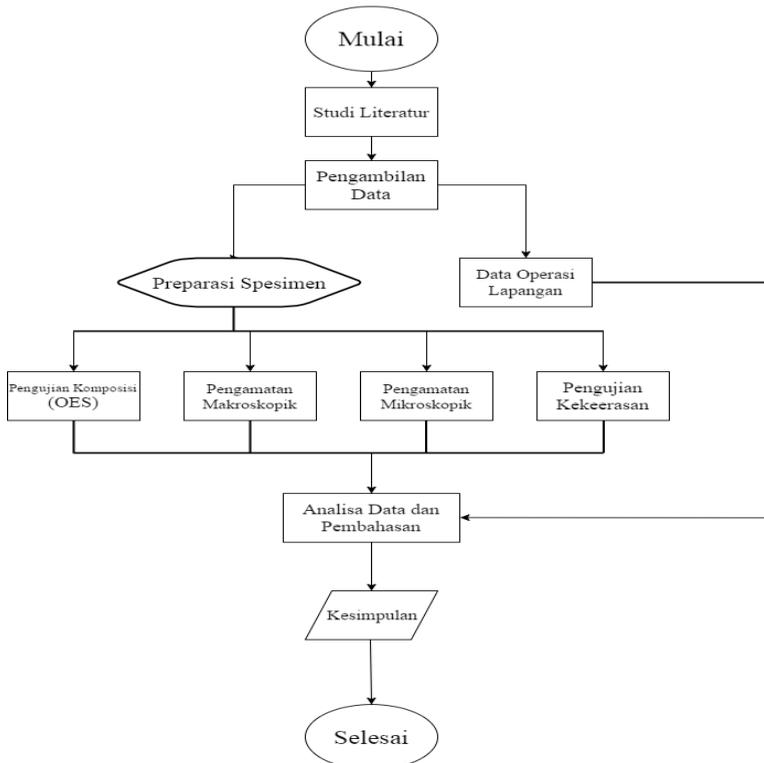
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

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

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian





3.2 Metode Penelitian

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

1. Studi lapangan

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

2. Studi Literatur

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

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu : pengamatan bentuk *deformation* dengan makroskopik, pengamatan mikroskopik dengan mikroskop optik, uji komposisi dengan menggunakan spektrometer, dan uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material *driver plate*.

3.3 Material yang digunakan

3.3.1. Material

Pada bulan Januari 2017 ditemukan *driver plate* pada *Cooler Clinker* Pabrik Tuban 1 mengalami deformasi yang diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Komponen *driver plate* yang patah

Material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan material *driver plate* yang memiliki komposisi kimia seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Driver Plate*

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
%	0.04	0.518	1.03	0.012	0.002	0.407	0,203	0,402	0.036	0.004

3.3.2. Spesimen

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu potongan komponen *driver plate* pada bagian yang mengalami deformasi dan spesimen untuk pengujian kekerasan pada bagian yang dekat dan jauh dari daerah yang terdeformasi, yang dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bagian komponen *driver plate* yang akan diuji dan dianalisa

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penggaris
Digunakan untuk mengukur spesimen.
2. Mesin *Wire Cut*
Digunakan untuk memotong spesimen.
3. Kamera Digital
Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro dan dokumentasi selama penelitian.
4. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*)
Digunakan untuk mengetahui komposisi material uji. Mesin yang digunakan adalah mesin OES *Foundry Master Pro*.
5. Uji Kekerasan
Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji. Mesin uji kekerasan ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Universal Hardness Tester

6. Amplas SiC grade 80 hingga 2000
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik. Amplas yang digunakan adalah amplas jenis SiC dengan grade 80 hingga 2000.
7. Mesin Polish
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
8. Larutan Etsa
Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi.
9. Mikroskop Optik
Digunakan untuk mendapatkan informasi struktur mikro/fasa yang terdapat pada material uji. Mikroskop optik *Olympus BX51M-RF* ditunjukkan pada Gambar 3.5.





Gambar 3. 5 Mikroskop Optik *Olympus BX51M-RF*

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data data perusahaan yang berkaitan dengan *driver plate* sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

1. Data operasi
2. Spesifikasi material
3. *Maintenance record*

3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan pada *driver plate* di PT Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses *cutting* menggunakan *wire cut* dengan ukuran dimensi 20x20x20 mm.

Proses pemotongan dilakukan pada bagian yang dekat dengan daerah yang terdeformasi dan bagian yang jauh dari daerah yang terdeformasi. Spesimen yang berada pada bagian yang jauh dari daerah yang terdeformasi akan diuji sebagai perbandingan antara material yang baru dengan material yang sudah gagal.

3.5.3 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* di Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya untuk mengetahui komposisi yang ada pada *driver plate*.

3.5.4 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara



makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera dan mikroskop optik.

Adapun perlakuan terhadap sampel material sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan fotografi dengan kamera *mirrorless* seperti pada Gambar 3.7.a untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegalan secara makro.
2. Pengamatan melalui mikroskop optik seperti pada Gambar 3.7.b terhadap sampel material dengan beberapa kali perbesaran untuk mendapatkan profil makronya



Gambar 3.6 (a) Kamera merk Canon tipe SLR. (b) Mikroskop Optik

3.5.5 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Brinell dimana dalam pengujiannya memakai indenter bola baja, pembebanan sebesar 187.5 kgf dan waktu indentasi selama 15 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS. Gambar 3.9. merupakan gambar dari mesin uji kekerasan. Sebelumnya, sampel yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata untuk menghindari cacat indentasi.



Gambar 3. 7 Universal Hardness Tester HBRV 187.5A

3.6 Rancangan Penelitian

Tabel 3.2 Rancangan penelitian

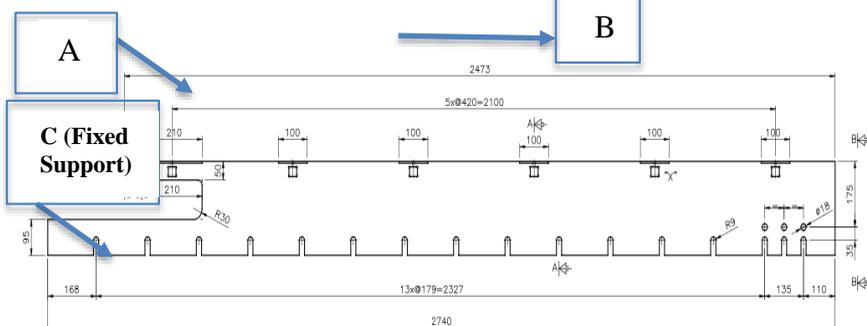
Bahan	Pengamatan Makroskopik	Pengujian <i>Spectrometry</i>	Uji Kekerasan	Uji Mikrostruktur
Daerah terdeformasi	√	-	√	√
Daerah tidak deformasi	-	√	√	√

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Driver Plate di Cooler Clinker

Pada bulan Januari 2017 PT. Semen Indonesia Tuban Plant 1 sedang melaksanakan *maintenance* rutin. Kemudian di *Cooler Clinker 1* ditemukan sebuah kegagalan dari *Driver Plate* yang merupakan komponen dari mesin *Cooler Clinker 1*. *Driver plate* tersebut beroperasi selama 10 bulan. *Driver plate* dirancang dapat beroperasi dengan usia pakai 1 tahun (12 bulan). *Driver plate* ini dirancang untuk menggunakan material *Hardox 500*. Gambar 4.1 menunjukkan desain dari *driver plate*. Tabel 4.1 menunjukkan data-data *driver plate* dan *cooler clinker*.



Gambar 4.1 Desain driver plate tampak depan

Tabel 4.1 Dimensi dan Operasi Driver Plate PT. Semen Indonesia Tuban

Lebar Plate	2.00 mm
Tebal Plate	95 mm
Panjang Plate	600 mm
Massa Clinker	1440 Kg/Jam
Temperatur Kerja	652°C



Tabel 4.2 Sifat mekanik HARDOX 500

Kekerasan (BHN)	Kekuatan Yield (MPa)
470 - 530	1400

Gambar 4.1 yang merupakan desain tampak depan komponen *driver plate*. Pada bagian A adalah posisi *clinker* tertuang pada permukaan *driver plate*, dan pada bagian B menunjukkan arah *clinker* berjalan di dalam *cooler clinker*.

4.1.2 Uji Komposisi Unsur

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati komposisi unsur pada spesimen *driver plate* dengan menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*). Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian yang dibandingkan dengan komposisi unsur HARDOX 500 yang dimana merupakan material yang seharusnya di gunakan oleh *cooler clinker*.

Unsur (%)	HARDOX 500	Spesimen <i>Driver Plate</i>
Si	0.50	0.518
Mn	1.60	1.28
P	0.025	0.017
S	0.010	0.003
Ni	0.25	0.457
Cr	1.20	0.370
Mo	0.25	0.265
C	0.27	0.175
Fe	Balance	Balance

Table 4.3 Komposisi material HARDOX 500

Berdasarkan Tabel 4.3 di atas, material HARDOX 500 yang seharusnya di gunakan pada komponen *driver plate* memiliki komposisi yang berbeda dengan material *driver plate*

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



yang mengalami kegagalan. Perbedaan tersebut terlihat jelas pada komposisi Carbon (C), Mangan (Mn), dan juga Chromium (Cr). Pada unsur Carbon specimen *driver plate* yang lebih rendah dibandingkan hardox 500 dengan perbedaan mencapai 0.23 dapat menyebabkan kekuatan dan kekerasan dari material *drive plate* lebih rendah, dan perbedaan karbon ini juga menyebabkan berbedanya ekspansi thermal dari material tersebut. Semakin tinggi unsur karbon pada material maka ekspansi thermal akan semakin menurun. Material dengan komposisi seperti HARDOX 500 yaitu AISI 1030 memiliki nilai ekspansi thermal sebesar $11.7 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ sedangkan material dengan komposisi seperti material *driver plate* yaitu AISI 1006 memiliki nilai ekspansi thermal sebesar $12.6 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ (Azom, 2013), yang berarti semakin tinggi unsur karbon pada material maka semakin sulit untuk melakukan pemuatan akibat pengaruh temperature. Sama halnya dengan unsur Mangan dan Chromium dari material *driver plate* yang lebih rendah dibandingkan hardox 500 dengan perbedaan secara berturut-turut 0.32 dan 0.83 dapat menyebabkan *hardenability* yang dimiliki oleh specimen *driver plate* lebih rendah. Dimana semakin tinggi unsur paduannya maka *hardenability* dari material semakin meningkat. *Hardenability* yang tinggi menandakan unsur paduannya yang tinggi, karena *hardenability* merupakan kemampuan paduan untuk menghasilkan martensit yang tinggi di seluruh volume specimen. (Burrier Harold, 1990).

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Uji Komposisi Unsur Komponen Driver plate dengan HSLA A709

Unsur (%)	Spesimen <i>Driver Plate</i>	HSLA A709
Si	0.518	0.40
Mn	1.28	1.50
P	0.017	0.035
S	0.003	0.045
Ni	0.457	0.45
Cr	0.370	0.35

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

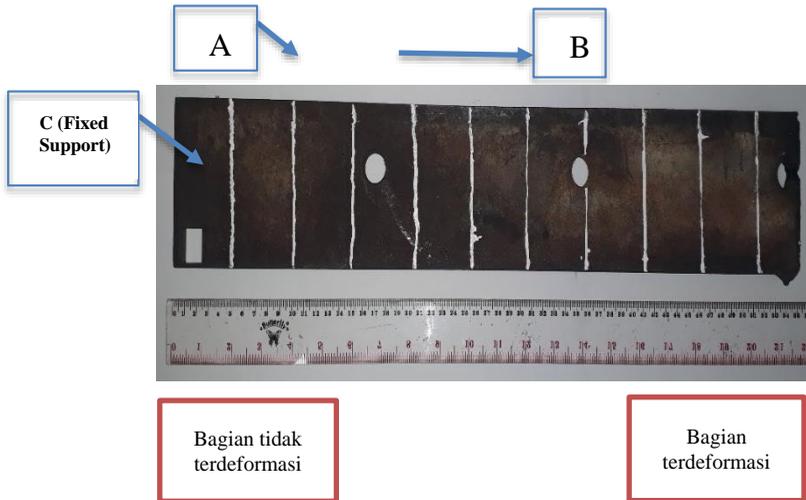


Mo	0.265	0.15
C	0.175	0.20
Fe	Balance	Balance

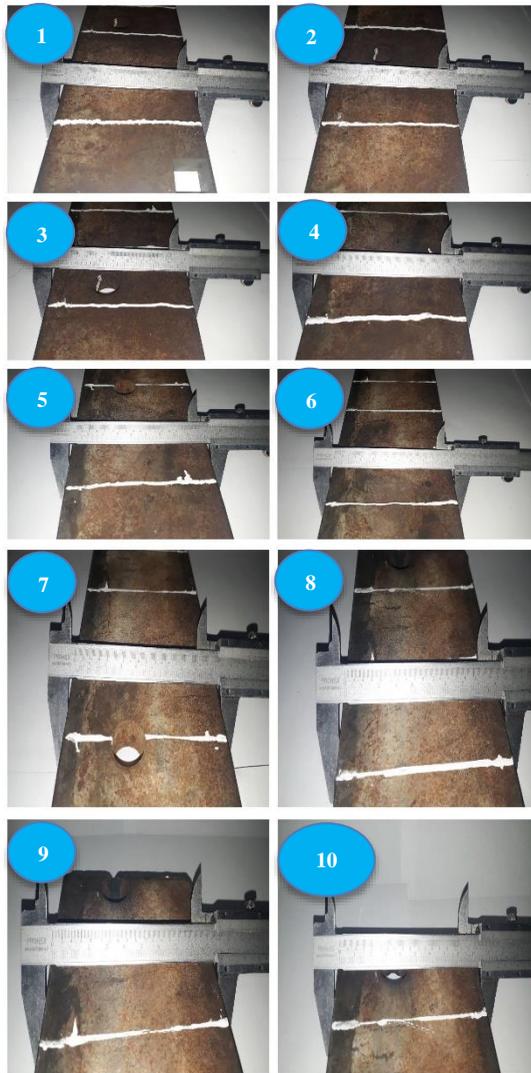
Berdasarkan Tabel 4.4, komposisi unsur spesimen driver plate sesuai dengan HSLA A709 (ASTM A709). Dimana material jenis ini digunakan sebagai material *driver plate* pada PT. Semen Indonesia Tuban Plant 1. *Driver plate* yang diteliti tidak memiliki sertifikat sehingga tidak bisa dibandingkan standart komposisi unsur materialnya. Tetapi dari data yang di dapatkan dari perusahaan yang mengambil alih *vendor* dalam pengadaan *cooler clinker* ini bahwa material yang seharusnya di gunakan oleh komponen *driver plate* adalah material jenis HARDOX 500.

4.1.3 Pengamatan Makroskopik

Gambar 4.2 menunjukkan hasil visual dari permukaan driver plate yang mengalami kegagalan. Terlihat kegagalan driver plate berupa deformasi atau perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan bentuk dan ukuran dari driver plate ditunjukkan dengan gambar 4.2 dimana terdapat perbedaan ketinggian dari daerah yang terdeformasi dan tidak terdeformasi. Deformasi juga ditunjukan dengan perubahan dimensi ukuran di daerah kegagalan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Lebar pelat mula mula sebesar 95.0 mm kemudian mengalami perubahan ukuran menjadi 97.9 mm. Deformasi bergerak dengan arah yang ditunjukan oleh B, dari bagian yang tidak terdeformasi menuju bagian yang terdeformasi.



Gambar 4.2 Pengamatan makroskopik permukaan spesimen
Driver plate

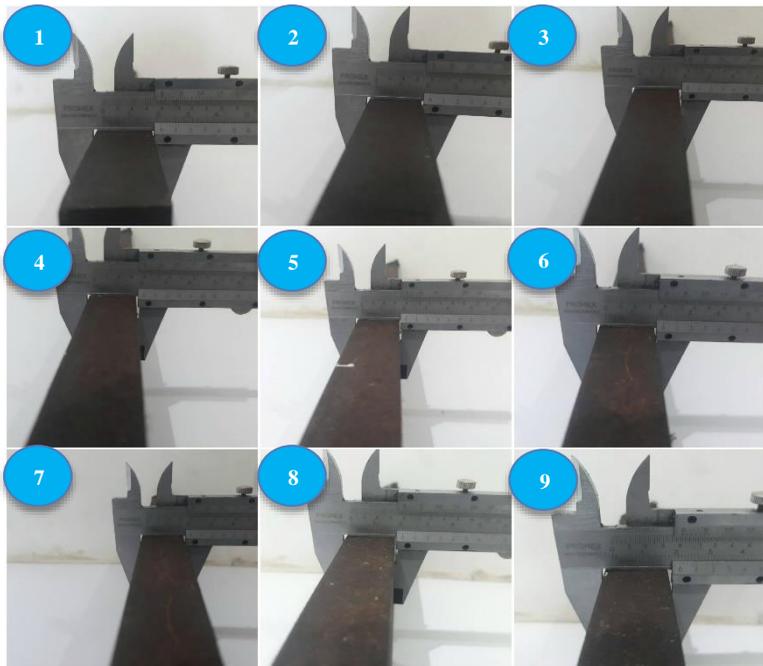


Gambar 4.3 Pengukuran lebar komponen Driver plate



Tabel 4.5 Lebar *driver plate*

Titik Uji	Lebar awal (mm)	Lebar akhir (mm)	Selisih lebar (mm)
1	95	96.7	1.7
2	95	96.8	1.8
3	95	97	2
4	95	97.1	2.1
5	95	97.2	2.2
6	95	97.2	2.2
7	95	97.5	2.5
8	95	97.7	2.7
9	95	97.9	2.9
10	95	97.9	2.9



Gambar 4.4 Pengukuran tebal komponen *Driver plate*

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Tabel 4.6 Tebal *driver plate*

Titik Uji	Tebal awal (mm)	Tebal akhir (mm)	Selisih tebal (mm)
1	2	2.03	0.03
2	2	2.04	0.04
3	2	2.05	0.05
4	2	2.07	0.07
5	2	2.07	0.07
6	2	2.09	0.09
7	2	2.10	0.10
8	2	2.11	0.11
9	2	2.12	0.12
10	2	2.12	0.12

Dari gambar 4.3 dan tabel 4.5 terlihat bahwa material *driver plate* mengalami perubahan geometri berupa perubahan lebar. Dari titik uji 1 sampai titik uji 10, lebar dari *driver plate* semakin besar melebihi dari lebar awalnya. Dapat dilihat bahwa selisih lebar paling besar ada pada titik uji 10 sebesar 2.9 mm. Terlihat juga pada gambar 4.4 dan table 4.6 bahwa material *driver plate* mengalami perubahan geometri pada tebalnya. Dari titik uji 1 sampai 10, tebal dari *driver plate* semakin besar melebihi dari awalnya. Terlihat bahwa selisih tebal paling besar ada pada titik 10 sebesar 0.12 mm. Hal ini diakibatkan oleh design dari *driver plate* yang memiliki satu *fixed support* sehingga bagian yang semakin jauh dari *fixed support* memiliki ruang lebih untuk memuai dan mengalami perubahan geometri yang diakibatkan oleh beban kerja dan kondisi temperatur kerja mencapai 652°C. Perubahan geometri yang ditunjukkan pada table 4.5 dan table 4.6 diatas berbanding terbalik dengan fenomena muai dari baja pada umumnya. Baja akan memuai jika mengalami kenaikan temperatur dan akan kembali menyusut jika kembali pada kondisi temperatur semula. Material yang mengalami penyusutan memiliki kemampuan untuk kembali ke kondisi geometri yang sama dalam kondisi termal semula, tetapi laju penyusutan ini

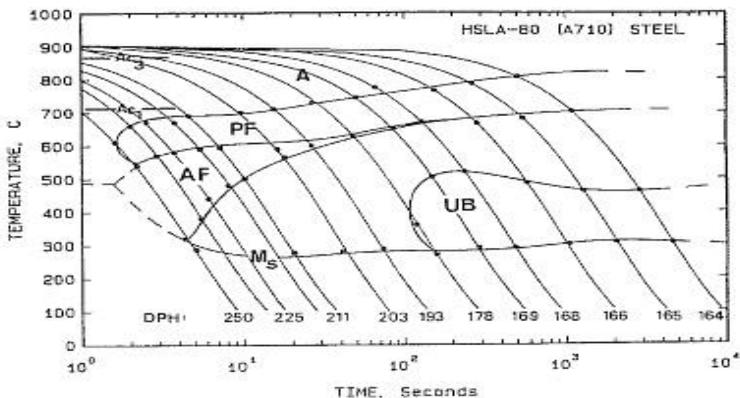
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



dipengaruhi oleh waktu dan media pendinginannya. Material *driver plate* menerima beban termal sebesar 652°C , mengalami pemuaian sehingga mempengaruhi komponen lain yang bekerja di dalam *cooler clinker* dan ketika *driver plate* mengalami kegagalan maka *cooler clinker* berhenti bekerja. Pada kasus ini material *driver plate* mengalami pendinginan yang lambat sebelum akhirnya diangkat untuk di ganti. Pendinginan yang lambat menyebabkan material *driver plate* mengalami penyusutan yang kecil sehingga geometri dari material *driver plate* tidak kembali seperti semula.

4.1.4 Pengamatan Mikroskopik

Pengamatan mikroskopik dilakukan menggunakan mikroskop optik pada daerah yang dekat dari kegagalan pada titik uji 10 dan jauh dari kegagalan pada titik uji 1 dari komponen *driver plate*. Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari material *driver plate*.

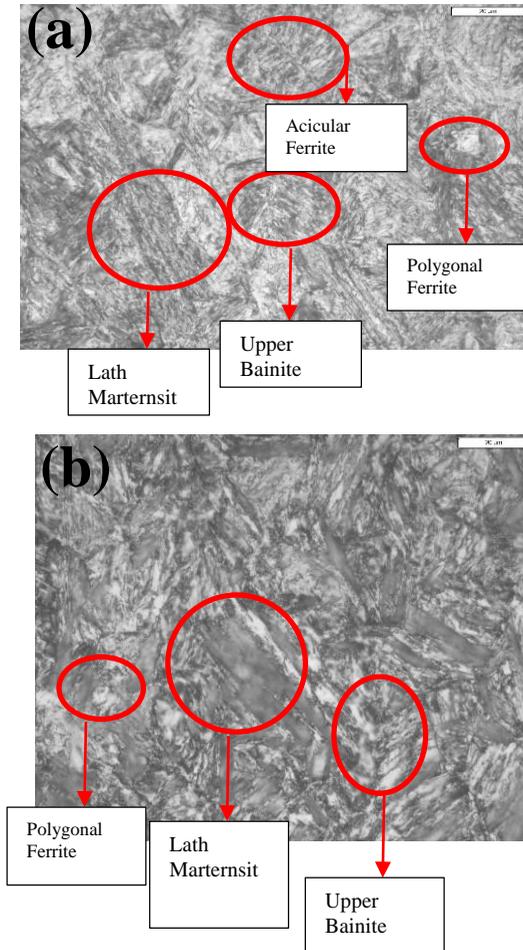


Gambar 4.5 Diagram transformasi HSLA

Gambar 4.5 adalah diagram transformasi dari HSLA (*High Strength Low Alloy*) yang merupakan jenis material dari *driver plate*. Terlihat beberapa fasa yang terbentuk akibat



pendinginan dari material HSLA. Pada kasus ini, material *driver plate* mengalami pendinginan yang lambat setelah terjadi kegagalan dan unit *cooler clinker* berhenti bekerja. Akibat dari pendinginan yang lambat ini maka terbentuk beberapa fasa pada material *driver plate* yang di tunjukan pada gambar 4.6 di bawah ini.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.6 Foto struktur mikro material *driver plate* (a) daerah jauh dari deformasi, dan (b) dekat dari deformasi pada perbesaran 1000X

Gambar 4.6 menunjukkan hasil struktur mikro pada *driver plate*. Pada gambar 4.6 (a) merupakan foto struktur mikro dari daerah yang jauh dari deformasi. Pada gambar terlihat beberapa fasa, terdapat acicular ferrite, lath martensit, upper bainite, dan polygonal ferrite. Terbentuknya struktur mikro tersebut akibat pendinginan yang lambat. Martensit yang terbentuk merupakan jenis lath martensit akibat kadar karbon yang dimiliki oleh material *driver plate* sangat rendah yaitu 0.04. Pada gambar 4.6 (b) terlihat beberapa fasa, terdapat polygonal ferrite, lath martensit dan upper bainit. Pada gambar ini tidak terlihat adanya acicular ferrite, dan lebih didominasi oleh lath martensit yang terlihat lebih besar. Dari dua gambar di atas dapat diketahui bahwa daerah yang berada di dekat deformasi memiliki sifat mekanik yang lebih keras dibandingkan dengan daerah yang jauh dari deformasi.

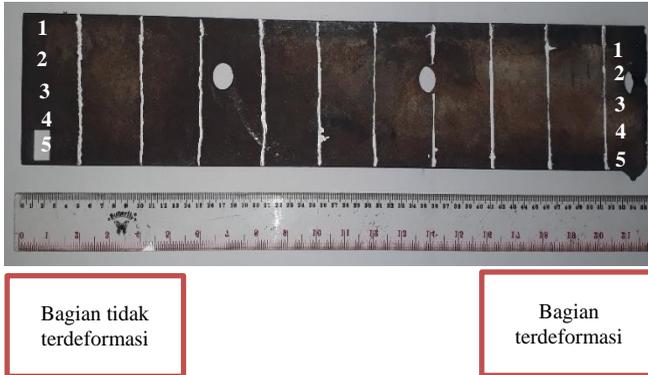
Ini menunjukkan terjadinya mekanisme yang sesuai dengan penguatan logam. *Strain hardening* merupakan suatu fenomena yang terjadi pada material *driver plate* ini. Fenomena ini biasanya terjadi jika adanya deformasi permanen yang di akibatkan slip pada material tersebut. (Callister, 2007). *Strain hardening* terjadi karena adanya pemanjangan struktur mikro dari material, terlihat dari gambar 4.6 (b) bahwa struktur lath martensit, upper bainit dan juga polygonal ferrite mengalami pemanjangan batas butir.

4.1.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada *driver plate* yang mengalami kegagalan. Metode yang digunakan adalah *Vickers Hardness Test* dengan beban 187.5 kgf berdasarkan ASTM E-10. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 10 titik. 5 titik pada bagian



yang tidak terdeformasi dan 5 titik pada bagian yang terdeformasi. Indentasi tersebut tersebar merata pada daerah yang dekat dan jauh dari deformasi. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Daerah indentasi pengujian kekerasan pada *Driver Plate* untuk daerah di dekat deformasi dan daerah di jauh dari deformasi

Tabel 4.7 memperlihatkan nilai kekerasan berdasarkan area indentasi pada *driver plate* yang mengalami deformasi. Pengujian dilakukan dari titik 1 hingga titik 5 pada daerah yang terdeformasi dan tidak terdeformasi.

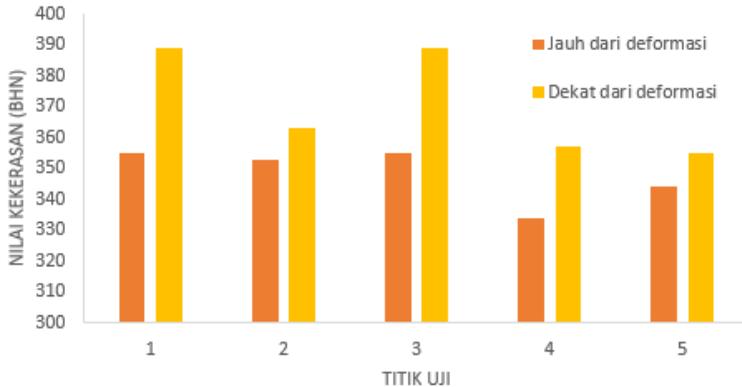
Tabel 4.7 Nilai Kekerasan pada *Driver Plate* Berdasarkan Area Indentasi

Area Indentasi (Jauh deformasi)	Nilai Kekerasan (BHN)	Area Indentasi (Dekat deformasi)	Nilai Kekerasan (BHN)
1	355	1	389
2	353	2	363
3	355	3	389

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



4	334	4	357
5	344	5	355
Rata - rata	348.2 ± 9	Rata - rata	370.6 ± 17



Gambar 4.8 Grafik nilai kekerasan *Driver plate* pada area dekat deformasi dan jauh dari deformasi

Gambar 4.9 menunjukkan sifat kekerasan material *driver plate* pada daerah yang jauh dari deformasi dan dekat dengan deformasi. Pada daerah yang jauh dari deformasi memiliki distribusi nilai kekerasan yang stabil dengan rata – rata sebesar 348.2 ± 9 dan pada daerah yang dekat dengan deformasi memiliki nilai kekerasan dengan rata – rata sebesar 370.6 ± 17 serta memiliki distribusi nilai kekerasan yang cenderung tidak merata.

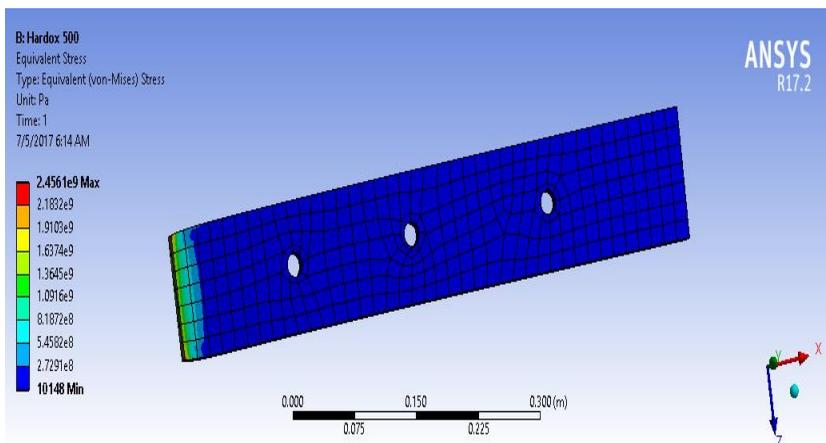
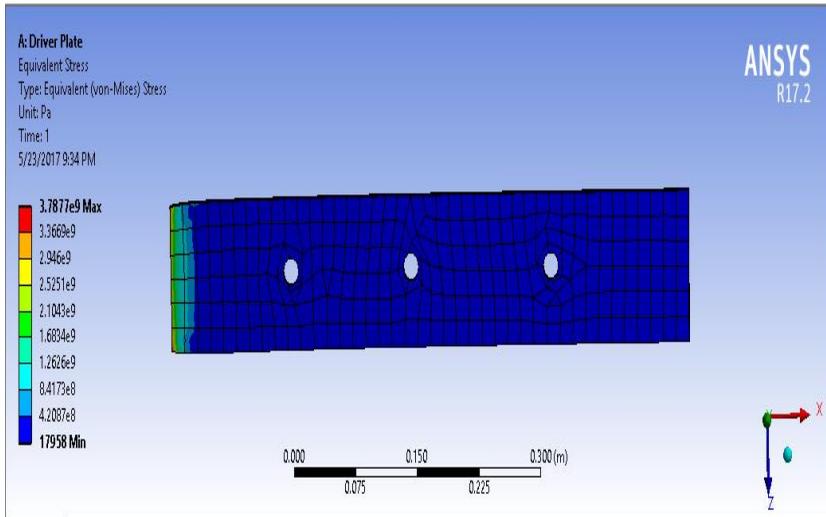
4.1.5 Analisa Software ANSYS

Analisa software ANSYS dilakukan menggunakan software ANSYS 17.2. Pengujian ini dilakukan untuk memperlihatkan pola deformasi yang terjadi pada komponen *driver plate* dengan batasan kondisi temperature sebesar 600°C , gaya yang bekerja sebesar 14400 N dan juga *fixed support* yang berada pada bagian kiri komponen *driver plate*. Hasil dari analisa menggunakan software ini di tunjukan pada gambar 4.6 yang

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

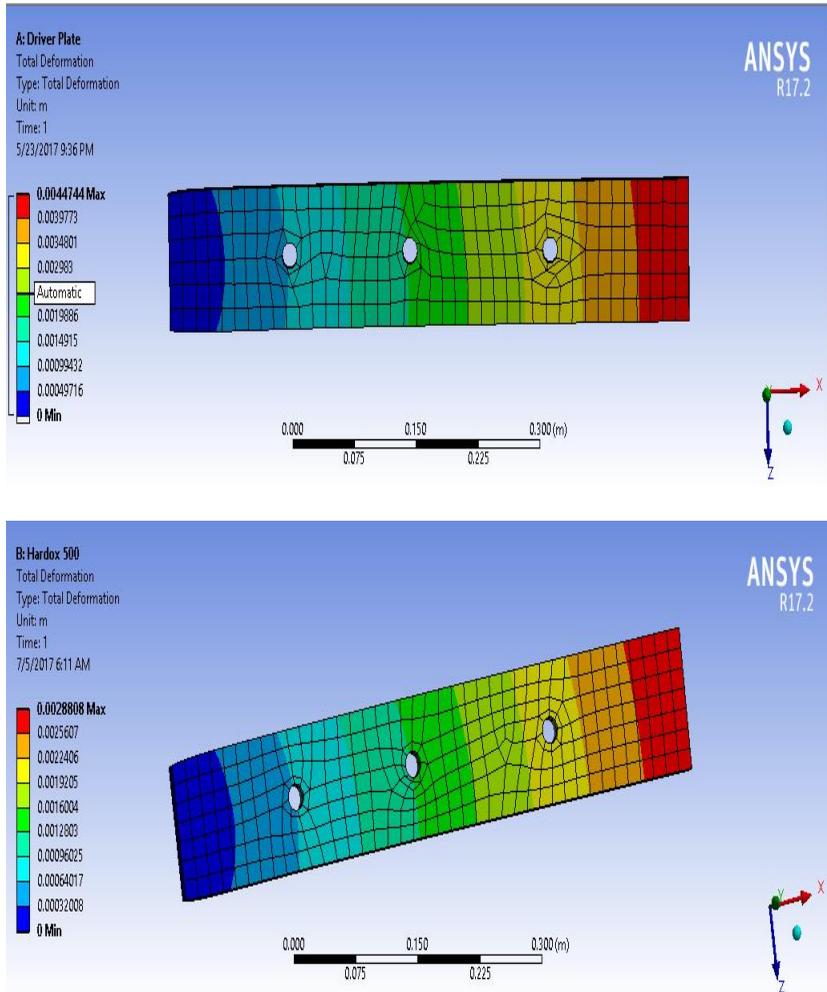


memperlihatkan analisa untuk *total stress* dan gambar 4.7 yang memperlihatkan analisa untuk *total deformation* seperti berikut.



Gambar 4.9 Hasil analisa untuk *total stress* (a) Driver Plate (b) Hardox 500

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.10 Hasil analisa untuk *total deformation* (a) Driver Plate (b) Hardox 500



Gambar 4.6 memperlihatkan daerah dari komponen yang terkena tekanan akibat gaya yang berlaku juga kondisi thermal yang dikenai oleh komponen *driver plate* dengan material yang dipakai oleh *driver plate* pada saat ini dan juga material Hardox 500. Gambar 4.7 memperlihatkan daerah dari komponen *driver plate* yang mengalami deformasi akibat faktor yang sama pada gambar 4.6. Daerah ini memperlihatkan deformasi terbesar yang mungkin di alami oleh komponen ini sebesar 4,4 mm yang terletak pada ujung komponen yang bebas atau tidak terdapat komponen *fixed support* yang ditandai oleh warna merah. Jika dibandingkan dengan gambar (b) material Hardox 500 memperlihatkan deformasi sebesar 2.8 mm dengan letak yang sama.

4.1.7 Muai volume Driver Plate terhadap perubahan bentuk

Berdasarkan data operasi di bawah ini, maka didapatkan perhitungan nilai muai volume untuk material *driver plate* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_1 &= 95 \text{ mm} \\ L_2 &= 97.9 \text{ mm} \\ \Delta T &= (652 - 27) \text{ }^\circ\text{C} = 625 \text{ }^\circ\text{C} \\ Y &= \text{Muai volume} \\ \alpha &= \text{Muai panjang} \end{aligned}$$

- $L_2 = L_1 (1 + \alpha \times \Delta T)$
 $97.9 = 95 (1 + \alpha \times 625)$
 $\alpha = 4.8 \times 10^{-5}$
- $Y = 3 \alpha$
 $Y = 1.44 \times 10^{-4}$

4.2 Pembahasan

Hasil uji komposisi unsur menunjukkan kesesuaian kandungan unsur pada material *driver plate* dengan ASTM A709. Ini menunjukkan bahwa material yang digunakan untuk *driver plate* yang ada di PT. Semen Indonesia Unit Tuban 1 merupakan



baja paduan rendah. ASTM A709 memiliki karakteristik tangguh dan mampu menahan kondisi temperature dan beban mekanik dengan baik (Fujibayashi, 2005). Namun, kemampuan tersebut masih kurang baik jika di bandingkan dengan material lain yang memiliki fungsi sama. Jika di bandingkan dengan hardox 500 yang dimana seharusnya menjadi material pada driver plate ini, kemampuan dalam menahan keadaan operasi pada temperature dan beban mekanik yang tinggi sangat baik pada material hardox 500 dan lebih baik jika di bandingkan dengan material drive plate yang digunakan yaitu ASTM A709. Sehingga untuk menahan beban kerja yang selama ini bekerja pada driver plate di unit tuban 1 PT. Semen Indonesia dirasa material ASTM A709 tidak mampu untuk menahan beban kerja tersebut.

Berdasarkan pengamatan makroskopik didapatkan *driver plate* yang telah mengalami deformasi. Deformasi ini berlangsung selama pemberian beban kerja pada material *driver plate* dalam unit *cooler clinker*. Didapatkan data operasi dengan temperature sebesar 652°C dan massa clinker sebesar 1440 Kg. Deformasi pada *driver plate* ini menyebabkan komponen lainnya mengalami kegagalan dan unit pendingin *cooler clinker* berhenti bekerja. Dari pengamatan makroskopis terlihat bahwa beban kerja yang diterima oleh material *driver plate* seperti telah disebutkan di atas, material *driver plate* mengalami deformasi dengan perubahan lebar sebesar 2,9 mm. Perubahan lebar ini memperlihatkan adanya korelasi dengan karakteristik material ASTM A709 yang tidak lebih baik dibandingkan hardox 500 dalam hal menahan beban kerja yang berlaku selama proses yang ada di unit 1 tuban PT. Semen Indonesia.

Pengamatan makroskopik ini juga menunjukkan pergerakan arah deformasi yang terjadi pada material *driver plate*. Gambar 4.3 memperlihatkan pengukuran lebar material *driver plate* dengan menggunakan jangka sorong, dan didapatkan semakin ke kanan maka ketebalan semakin menigkat. Perubahan ketebalan yang terjadi dari 95 mm menjadi 97,9 mm pada bagian yang semakin ke kanan. Terlihat juga pada gambar 4.4 bahwa

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



material *driver plate* mengalami perubahan geometri pada tebalnya. Dari titik uji 1 sampai 10, tebal dari *driver plate* semakin besar melebihi dari awalnya. Terlihat bahwa selisih tebal paling besar ada pada titik 10 sebesar 0.12 mm. Hal ini membuktikan bahwa memang terjadi deformasi pada material *driver plate* ini karena terdapat perubahan geometri dalam hal ini adanya perubahan ketebalan yang terjadi pada material *driver plate*. Karena selama pembebanan bekerja pada material yang memiliki ketahanan di bawah beban kerja cenderung akan terjadi dislokasi yang akan menuju pada intrusi atau ekstrusi pada material dan mengalami deformasi permanen (Anandh, 2006).

Diagram transformasi dari HSLA (*High Strength Low Alloy*) yang merupakan jenis material dari *driver plate*. Memperlihatkan beberapa fasa yang terbentuk akibat pendinginan dari material HSLA. Pada kasus ini, material *driver plate* mengalami pendinginan yang lambat setelah terjadi kegagalan dan unit *cooler clinker* berhenti bekerja. Akibat dari pendinginan yang lambat ini maka terbentuk beberapa fasa pada material *driver plate* yang di perlihatkan pada gambar 4.5.

Gambar 4.6 menunjukkan hasil struktur mikro pada *driver plate*. Pada gambar 4.6 (a) merupakan foto struktur mikro dari daerah yang jauh dari deformasi. Pada gambar terlihat beberapa fasa, terdapat acicular ferrite, lath martensit, upper bainite, dan polygonal ferrite. Terbentuknya struktur mikro tersebut akibat pendinginan yang lambat. Martensit yang terbentuk merupakan jenis lath martensit akibat kadar karbon yang dimiliki oleh material *driver plate* sangat rendah yaitu 0.04. Pada gambar 4.6 (b) terlihat beberapa fasa, terdapat polygonal ferrite, lath martensit dan upper bainit. Pada gambar ini tidak terlihat adanya acicular ferrite, dan lebih di dominasi oleh lath martensit yang terlihat lebih besar. Dari dua gambar di atas dapat diketahui bahwa daerah yang berada di dekat deformasi memiliki sifat mekanik yang lebih keras dibandingkan dengan daerah yang jauh dari deformasi.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Ini menunjukkan terjadinya mekanisme yang sesuai dengan pengerasan logam. *Strain hardening* merupakan suatu fenomena yang terjadi pada material *driver plate* ini. Fenomena ini biasanya terjadi jika adanya deformasi permanen yang di akibatkan slip pada material tersebut. (Callister, 2007).

Dilakukan pula pengamatan dengan menggunakan bantuan software, software yang di gunakan adalah ANSYS dengan cabang *Workbench*. Dari hasil komputasi software didapatkan solusi berupa total deformasi dan juga *equivalent-stress* pada material *driver plate* dengan memasukan faktor faktor seperti beban, gaya, temperature dan juga *fixed support*. Dan dari hasil komputasi tersebut di dapatkan sekitar 4,4 mm kemungkinan terjadinya deformasi pada bagian kanan yang jauh dari *fixed support* terlihat dari nilai total deformasinya, serta didapatkan daerah yang mendapatkan tegangan tinggi di dekat *fixed support* di akibatkan karena adanya penahanan dari material lain. Hasil dari komputasi ini menunjukan korelasi terhadap pengujian pengujian lain yang di lakukan sebelumnya, bahwa material *driver plate* mengalami deformasi yang di tandai dengan perubahan geometri dikarenakan beban kerja yang bekerja pada material *driver plate* selama beroperasi. Material *driver plate* akan terdeformasi mencapai 4,4 mm seperti yang telah disebutkan di atas, dan berbeda jika dibandingkan dengan material Hardox 500 yang menunjukan deformasi mencapai 2.8 mm. Tetapi akibat dari pendinginan yang lambat menyebabkan material *driver plate* mengalami penyusutan yang kecil sehingga geometri dari material *driver plate* tidak kembali seperti semula. Sehingga dapat disimpulkan bahwa material *driver plate* yang sekarang digunakan oleh PT. Semen Indonesia Unit 1 Tuban tidak cocok dengan beban kerja yang bekerja pada saat ini, dan memang material seharusnya bukannya ASTM A709 melainkan hardox 500 yang memiliki karakteristik lebih baik serta mampu menahan beban kerja yang ada selama di operasikan.

Berdasarkan uji kekerasan yang dilakukan terjadi kenaikan nilai kekerasan dari daerah yang jauh dari deformasi ke



daerah yang dekat deformasi. Hal ini menunjukkan pada daerah dekat deformasi mengalami peningkatan tegangan karena adanya slip yang di perlihatkan dengan deformasi permanen yang terjadi. Menurut Callister (2007), hal ini dikarenakan efek *strain hardening* di bagian yang terkena deformasi. Fenomena ini ditunjukkan oleh tabel 4.6 nilai kekerasan material *driver plate* mengalami peningkatan dari 355 HBN pada daerah yang jauh dari deformasi menuju 389 HBN pada daerah yang dekat deformasi.

Berdasarkan perhitungan muai volume *driver plate* terhadap perubahan bentuk didapatkan nilai nominal muai volume *driver plate* dengan selisih temperature sebesar 625°C adalah 1.44×10^{-4} . Perhitungan ini menunjukkan bahwa dalam keadaan normal, temperature 625°C sudah terjadi perubahan geometri yang di tunjukan dengan nominal muai volume di atas. Nilai ini menunjukkan bahwa dengan beban kerja seperti itu, material *driver plate* sudah tidak mampu lagi menerima tekanan yang ada sehingga menyebabkan deformasi. Hal ini dapat terjadi dikarenakan material *driver plate* tidak cocok dengan kebutuhan dari *cooler clinker* dan hal ini bisa jadi merupakan kesalahan dari aspek perancangan penggunaan material pengganti. Logam yang mempunyai banyak cacat artinya tidak sekuat logam yang tanpa cacat, dan ini merupakan hal yang buruk dari aspek perancangan produk (Surdia, 1992).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian percobaan dan analisa yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan mengenai kegagalan dari *driver plate* pada *cooler clinker* antara lain sebagai berikut:

1. Faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *driver plate* pada *cooler clinker* yaitu kesalahan pemilihan material yang seharusnya merupakan HARDOX 500, serta deformasi.
2. Mekanisme kegagalan komponen *driver plate* pada *cooler clinker* diawali oleh beban clinker yang terdistribusi merata di atas *driver plate* melebihi ketahanan dari material tersebut, serta kondisi temperature ruang yang tinggi memicu adanya slip pada material *driver plate* berupa intrusi ataupun ekstrusi yang berujung pada deformasi plastis yang di tandai dengan kekerasan meningkat akibat adanya *strain hardening* dan perubahan geometri dari *driver plate*.

5.2 Saran

1. Melakukan pemilihan material (*material selection*) yang lebih baik sesuai dengan kemampuan material dalam menahan beban kerja selama beroperasi.
2. Menggunakan material yang sesuai dengan standar yaitu HARDOX 500.
3. Dengan desain yang sama, memilih material baja tahan karat dengan sifat ketahanan aus dan muai panjang yang lebih kecil.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2002. **ASM Handbook Vol.9 Metallographic and Microstructure**. Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- _____. 2002. **ASM Handbook Vol.12 Deformation**. Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- Anwar, Khairil. 2011. **Analisis Perpindahan Panas Grate Cooler Industri Semen**. Palu: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
- Avner, Sidney H. 1974. **Introduction To Physical Metallurgy**. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. **Failure Analysis of Engineering Materials**. New York: McGraw-Hill.
- Budi Setiyana. 2007. **Analisa Unjuk Kerja Grate Clinker Cooler Pada Proses Produksi Semen**. Jakarta : UPN Press.
- Callister, William. 2007. **Material Science and Engineering An Introduction**. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering*. New York: ASM International.
- Dieter, George E. 1987. **Metalurgi Mekanik**. Jakarta: Erlangga.
- Donald S Clark, Varney R Wilbur. 1962. **Physical Metallurgy for Engineers**. California: Litton Educational Publishing Inc.
- Duffy neil, Jhon Eaton. 2015. **Investigation of 3D flow and Heat Transfer in Solid-fuel Grate Combustion : Measure to Reduce Temperature Degradation**. Departmen of Mechanical Engineering, National University of Ireland.
- Edahwati, Luluk. 2009. **Alat Industri Kimia**. Surabaya: UPN Press.
- Firdaus, Apriyadi. 2007. **Proses Pembuatan Semen Pada PT. Holcim Indonesia Tbk**. Banten: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

- Nishida, Shin-ichi. 1992. **Faliure Analysis in Engineering Application**. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Saito, Tata Surdia & Shinroku. 1975. **Pengetahuan Bahan Teknik**. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Setiyana, Budi. 2007. **Analisis Unjuk Kerja Grate Clinker Cooler Pada Proses Produksi Semen**. 20.
- SSAB Technology. 2016. **Data Sheet Hardox 500 Sheet**. Sweden : Greencoat.
- Totten, G., Howes, M. & Inoue, T., 2002. **Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel**. 1st penyunt. Materials Park: ASM Internasional.
- Zhao Tongbin, etal. 2014. **Deformation Test and Failure Process Analysis of an Anchorage Structure**. Faculty of Resource and Safety Engineering, China University.
- Zhong, Z.W. 2004. **Measurements of Surface Deformation and Strain**. School of Mechanical and Production Engineering, Nanyang Technological University.

LAMPIRAN

1. Tabel 1. Komposisi ASTM A841

Table 2 Chemical compositions of ASME SA-841 Gr.A Cl.1

Grade	Thickness (mm)								(mass%)	
		C	Si	Mn	P	S	Others	C_{eq}	P_{CM}	
SA-841A-1 (EN P355ML2)	12	0.09	0.39	1.47	0.004	0.001	Ti, etc.	0.34	0.18	
	40	0.10	0.40	1.46	0.010	0.002	Ti, etc.	0.35	0.19	

ASME: The American Society of Mechanical Engineers EN: European Norm
 $C_{eq}=C+Mn/6+Cu/15+Ni/15+Cr/5+Mo/5+V/5$ $P_{CM}=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B$

2. Tabel 2. Sifat mekanik ASTM A841

Table 3 Mechanical properties of ASME SA-841 Gr.A Cl.1

Grade	Thickness (mm)	Tensile properties				Charpy impact properties		
		Position, Direction	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	Position, direction	$\sqrt{E_{40°C}}$ (J)	$\sqrt{E_{40°C}}$ (J)
SA-841A-1 (EN P355ML2)	12	Full-thickness, C	445	533	24	1/4t, C	399	345
	40	Full-thickness, C	420	536	32	1/4t, C	426	424

ASME: The American Society of Mechanical Engineers EN: European Norm
 SA-841Gr.B Cl.2 Specification: YS \geq 345, 480 \leq TS \leq 620 MPa
 \sqrt{E} : On the purchase order, if not specified; $\sqrt{E_{40°C}} \geq 20$ J
 YS: Yield strength TS: Tensile strength El: Elongation \sqrt{E} : Absorbed energy

3. Tabel 3. Komposisi HARDOX 500

Chemical Composition (heat analysis)

C ¹⁾ (max %)	Si ¹⁾ (max %)	Mn ¹⁾ (max %)	P (max %)	S (max %)	Cr ¹⁾ (max %)	Ni ¹⁾ (max %)	Mo ¹⁾ (max %)	B ¹⁾ (max %)
0.27	0.50	1.60	0.025	0.010	1.20	0.25	0.25	0.005

The steel is grain refined. ¹⁾ Intentional alloying elements.

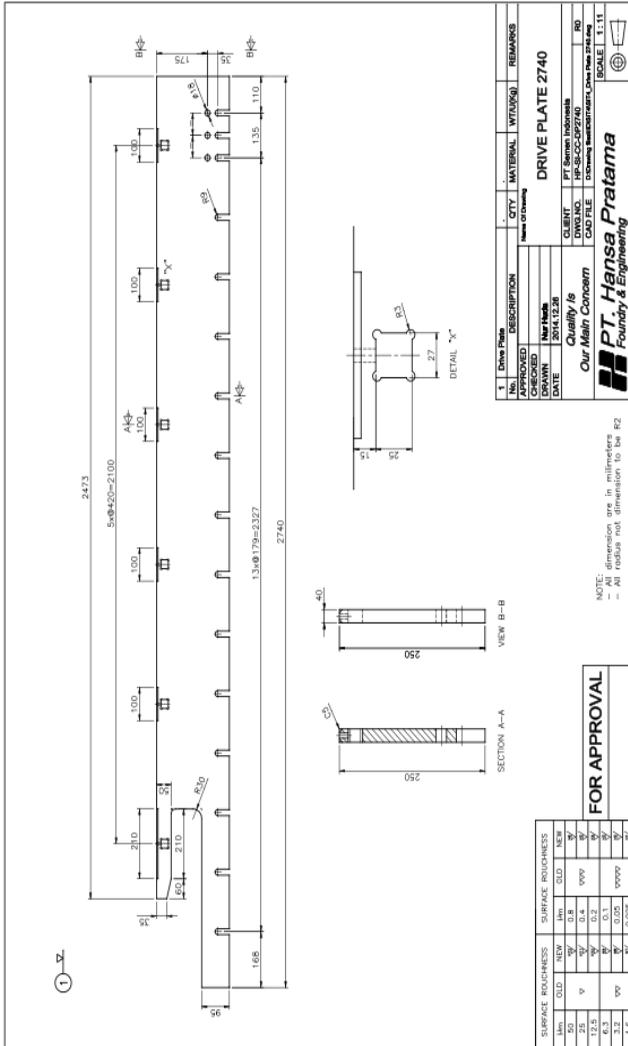
4. Tabel 4. Sifat mekanik HARDOX 500

Mechanical Properties

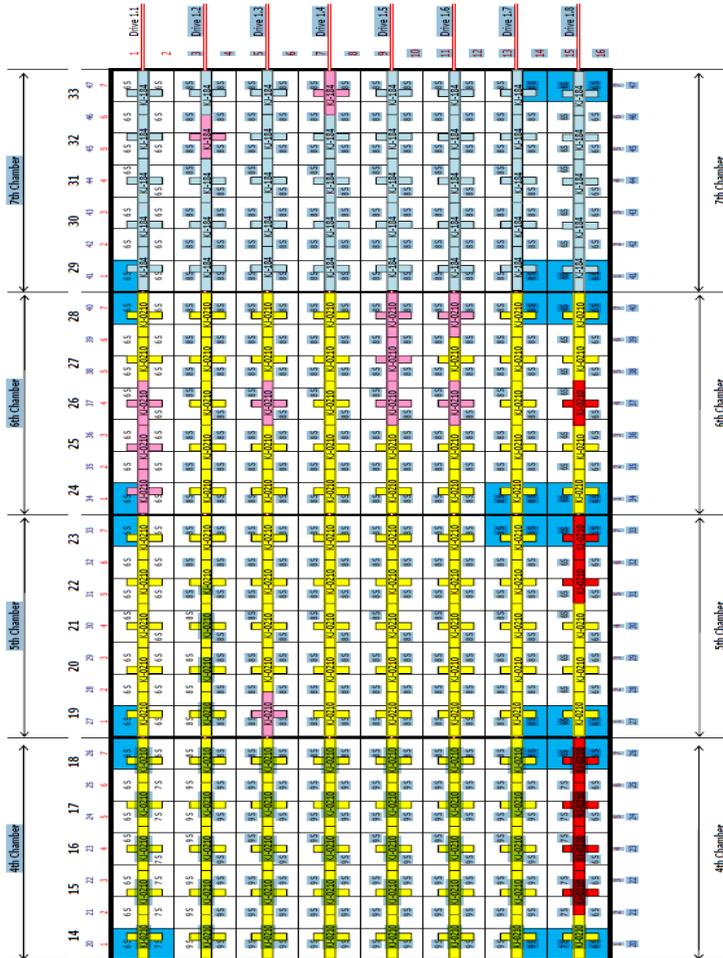
Thickness (mm)	Hardness ¹⁾ (HBW)	Typical yield strength (MPa), not guaranteed
3.00- 6.50	470- 530	1400

¹⁾ Brinell hardness, HBW, according to EN ISO 6506-1, on a milled surface 0.5 – 3 mm below surface. At least one test specimen per heat and 40 tons.

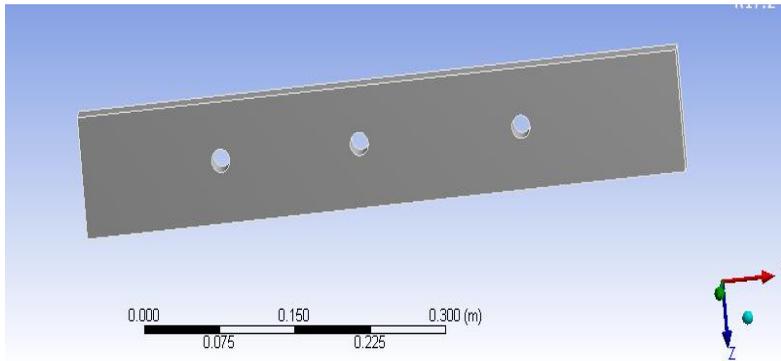
6. Desain driver plate PT. Semen Indonesia Tbk.



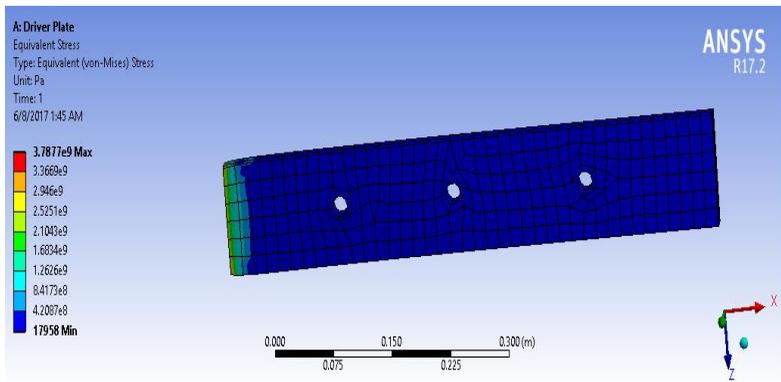
7. Mapping Driver plate PT. Semen Indonesia Tbk.



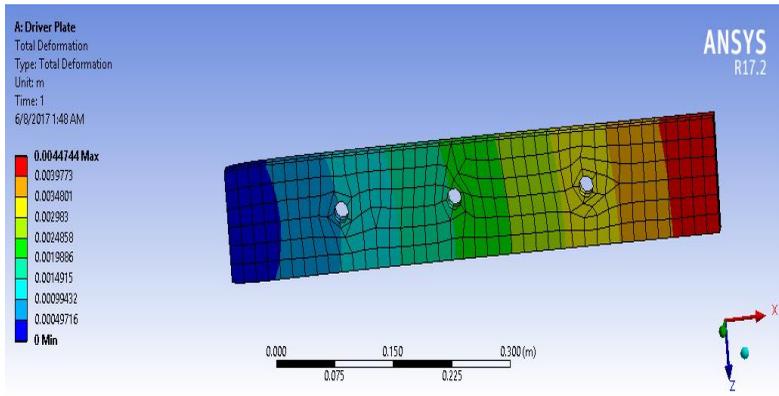
8. Driver plate menggunakan aplikasi ANSYS



9. Simulasi *equivalensnt-steess* pada driver plate



10. Simulasi *total deformation* pada driver plate



UCAPAN TERIMA KASIH

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

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Ayah, Ibu, Kakak, dan Adik-adik tercinta, Bapak Mohamad Tomtom Makmur, Ibu Nining Kurniasih, Kakak Mohamad Iqbal Makmur, dan Mutiara Istiqomah Makmur serta seluruh keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
3. Ir. Rochman Rochiem, M,Sc. dan Alvian Toto Wibisono ST., MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Pak Didik selaku pembimbing dari PT. Semen Indonesia Tbk. yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Dr. Agung Purniawan, ST., M,Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
7. Amaliya Rashida S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.

9. Sahabat terbaik penulis yaitu Para Monster yang telah memberikan semangat dan energi positif selama penulis menjadi mahasiswa di JTMM FTI-ITS.
10. Teman sekamar penulis Ryan Tri Kurniawan yang selalu ada untuk berbagi suka dan duka selama penulis menjadi mahasiswa di JTMM FTI-ITS.
11. Ryan Tri Kurniawan dan Novia Diajeng, teman-teman satu tim tugas akhir di PT. Semen Indonesia yang telah memberikan bantuan, semangat, dan cerita selama pengerjaan tugas akhir ini.
12. Tria Pratiwi yang selalu memberikan kesan baik dan semangat positif kepada penulis.
13. Teman-teman seperjuangan MT15 yang memberikan banyak cerita dalam kehidupan penulis.
14. Dan Seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.
15. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

BIODATA PENULIS

Penulis lahir di Kota Tangerang Selatan pada tanggal 31 Januari 1996. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Mohamad Tomtom Makmur dan Nining Kurniasih. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Puspipstek, SMP Negeri 8 Tangerang Selatan, dan SMAN Cahaya Madani Banten Boarding School. Setelah lulus dari jenjang SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Semasa kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, pelatihan, dan seminar. Penulis pernah menjabat sebagai staff Departemen Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Maerial dan Metalurgi 2014/2015, dan juga sebagai Kepala Departemen Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi 2015/2016. Selain itu penulis sempat aktif dalam beberapa pelatihan manajerial dan juga pelatihan keilmiahn serta jurnalistik.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pertamina Indonesia pada bulan Juni 2016. Selama kerja praktek penulis mendalami topik terkait “Analisa dan Evaluasi Kondisi *Tube Furnace* 82F201 Unit Naptha Hydrotreater, Area Paraxylene di PT. Pertamina Indonesia.”

Tugas akhir yang diambil penulis dalam bidang Korosi dan Analisa Kegagalan berjudul “Analisa Kegagalan Komponen *Driver Plate* dalam *Cooler Clinker* pada Unit Tuban 1 PT. Semen Indonesia Tbk.”. *Email: ifadmakmur01@gmail.com*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)