



TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISIS KEGAGALAN SEAL STRIPS STAINLESS
STEEL 310S PADA RING SEGMENT COBALT
BASE SUPERALLOYS DZ40M KOMPONEN TURBIN
GAS PT. XYZ**

MUHAMMAD MEGAH SAFEERO
NRP. 0251144000001

Dosen Pembimbing

Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng. Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2018



TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISIS KEGAGALAN SEAL STRIPS
STAINLESS STEEL 310S PADA RING
SEGMENT COBALT BASE SUPERALLOYS
DZ40M KOMPONEN TURBIN GAS PT. XYZ**

MUHAMMAD MEGAH SAFEERO
NRP. 0251144000001

Dosen Pembimbing

Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng. Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**FAILURE ANALYSIS OF SEAL STRIPS
STAINLESS STEEL 310S AT RING SEGMENT
COBALT BASE SUPERALLOYS DZ40M ON
GAS TURBINE COMPONENT IN PT. XYZ**

MUHAMMAD MEGAH SAFEERO
NRP. 0251144000001

Advisors

Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng. Ph.D.

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

(This page is left intentionally blank)

**ANALISIS KEGAGALAN *SEAL STRIPS STAINLESS STEEL 310S* PADA *RING SEGMENT COBALT BASE SUPERALLOYS DZ40M* KOMPONEN TURBIN GAS
PT. XYZ**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

MUHAMMAD MEGAH SAFEERO
0251144000001

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc(Pembimbing 1)
2. Lukman N, S.T., M.Sc(Pembimbing 2)



**ANALISIS KEGAGALAN SEAL STRIPS STAINLESS
STEEL 310S PADA RING SEGMENT COBALT BASE
SUPERALLOYS DZ40M KOMPONEN TURBIN GAS PT.
XYZ**

Nama Mahasiswa : Muhammad Megah Safeero
NRP : 0251144000001
Jurusan : Departemen Teknik Material
**Pembimbing : Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng. Ph.D.**

Abstrak

Seal strips merupakan komponen pada turbin gas yang fungsinya untuk menghubungkan *ring segment*. Pada permasalahan ini, terdapat *ring segment* yang mengalami kegagalan berupa *fracture* yang mengakibatkan kegagalan pada *seal strips*. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penyebab kegagalan pada *seal strips*. Terdapat beberapa pengujian seperti pengamatan makroskopi, pengamatan mikroskopi, SEM, EDX, OES, XRD dan hardness test untuk menunjang hasil dalam penelitian ini. Dari hasil uji komposisi kimia yang dilakukan *seal strips* memiliki komposisi kimia sesuai dengan AISI 310S yang sesuai dengan ASTM A240. Dari pengujian metalografi dapat diamati bahwa fasa dari spesimen merupakan austenite dan terdapat presipitat. Pengujian SEM dilakukan untuk melakukan karakterisasi morfologi spesimen yang mengalami kegagalan. Didapatkan spesimen kode 28 memiliki retakan yang menjalar dari luar kearah dalam yang diakibatkan oleh *corrosion*. Seluruh spesimen mengalami *peeling* sehingga menyebabkan kekasaran pada permukaan *seal strips*. Pengujian EDX dilakukan untuk mengetahui unsur yang terdapat pada permukaan material uji yang kemudian didukung dengan hasil dari XRD untuk mengetahui senyawa dari deposit tersebut.

Kata kunci: Analisis Kegagalan, Seal Strips, Stainless Steel 310S, Turbin Gas

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**FAILURE ANALYSIS OF SEAL STRIPS STAINLESS
STEEL 310S AT RING SEGMENT COBALT BASE
SUPERALLOYS DZ40M ON GAS TURBINE
COMPONENT IN PT. XYZ**

Name of Student : Muhammad Megah Safeero
NRP : 0251144000001
Major : Departement Material Engineering
Advisors : Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng. Ph.D.

Abstract

Seal strips is a gas turbine components to the function is to connect ring segment. On this problem, there are ring segments whose has failures be in form of fracture with the result that failure on seal strip. The research was conducted to analyze causes failure in seal strips .There are several testing as macroscopy observation, microscopy observation, SEM, EDX, OES, XRD and hardness test to ensure that results in this research. From the results of the test chemical composition conducted seal a strip of having the chemical composition in accordance with AISI 310S that is in accordance with ASTM A240. From metallographic observation it can be observed that the phase of the specimen is austenite and there is some precipitates. The SEM test is performed to characterize the morphology of the specimen that had fails. Obtained specimen code 28 has a crack that extends from outside towards the inside caused by corrosion. All specimens undergo peeling, causing roughness on the surface of the seal strips. The EDX test is performed to determine the elements present on the surface of the test material which are then supported by the results of XRD to determine the compounds of the deposit.

Keywords: Failure Analysis, Gas Turbine, Seal Strips, Stainless Steel 310S

(This page is left intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul “**ANALISIS KEGAGALAN SEAL STRIPS STAINLESS STEEL 310S PADA RING SEGMENT COBALT BASE SUPERALLOYS DZ40M KOMPONEN TURBIN GAS PT. XYZ**”. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua Orangtua yang telah memberikan dukungan moril, materiil dan doa.
2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI ITS.
3. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin S.T., M.Sc. serta Bapak Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng., Ph.D
4. Dosen Departemen Teknik Material FTI ITS yang telah memberi ilmu kepada penulis.
5. Serta pihak-pihak lain yang turut serta dalam penulisan ini.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam

penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 12 Juni 2018
Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Gas	5
2.2 Baja	13
2.3 Analisis Kegagalan	20
2.4 Deformasi pada Kristal Metalik	23
2.5 Patah Getas dan Patah Ulet	26
2.6 Sensitasi	31
2.7 Korosi	34
2.8 Penelitian Sebelumnya.....	35

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	39
3.2 Metode Penelitian	40
3.3 Bahan Penelitian	40
3.4 Peralatan	41
3.5 Prosedur Penelitian	46

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Data	51
4.2 Pembahasan	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	xxiii
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis-Jenis Pembangkit dan Laju Panas yang Dihasilkan	5
Gambar 2.2 <i>Ring segment</i>	6
Gambar 2.3 Skema Penempatan <i>Seal Strips</i> pada <i>Ring Segment</i> Ditunjukkan oleh <i>Point 25</i>	7
Gambar 2.4 Efek dari Berbagai Jenis Bahan Bakar pada Temperatur Pemasukan.....	8
Gambar 2.5 Tipikal Efisiensi dari Tenaga Pembangkit.....	9
Gambar 2.6 Skematik Gambar Gas Turbin Siklus Terbuka	9
Gambar 2.7 Diagram Siklus Brayton Ideal	10
Gambar 2.8 Diagram fasa Fe- Fe ₃ C	14
Gambar 2.9 Diagram fasa Diagram Fasa Austenitik Stainless Steel.....	18
Gambar 2.10 Deformasi pada Struktur Kristal (a) Original Lattice, (b) Deformasi Elastis Tanpa Perubahan Permanen pada Posisi Atom, (c) Deformasi Plastis Mengakibatkan Perpindahan Posisi Atom Secara Permanen.....	24
Gambar 2.11 Pengaruh Dislokasi Terhadap Struktur <i>Lattice</i> Akibat Tekanan.....	24
Gambar 2.12 Bentuk Patahan (a) Ulet, (b) Ulet Setelah Terjadi <i>Necking</i> , (c) Getas Tanpa Terjadi Deformasi Plastis	27
Gambar 2.13 Tahap Patahan Cup dan Cone (a) Awal <i>Necking</i> , (b) Terbentuknya <i>Cavity</i> Kecil, (c) Pengumpulan <i>Cavity</i> Hingga Menjadi Retakan, (d) Perambatan Retak, (e) Patahan Geser dengan Sudut 45° Terhadap Arah Tegangan.....	27
Gambar 2.14 Penampakan (a) Patah Ulet (Cup and Cone) pada Aluminium, dan (b) Patah Getas pada Mild Steel (Callister, 2007).....	28

Gambar 2.15	Hasil SEM (a) Spherical Dimple Karakteristik, Patahan Hasil Beban Tarik Unixial, 3300×, dan (B) <i>Spherical Dimple</i> Karakteristik Hasil Beban Geser, 5000x.....	29
Gambar 2.16	Penampakan Foto (a) Bentuk V “ <i>Chevron</i> ” sebagai Karakteristik Patah Getas dan (b) Permukaan Patah Getas Daerah Asal Retakan...	29
Gambar 2.17	(a) Skema Perambatan Retak yang Melewati Butir (Transgranular) (b) Hasil SEM dari Patah Secara Transgranular	30
Gambar 2.18	Mekanisme Patah Lelah dan Faktornya (ASM Handbook Vol.19 Fatigue and Fracture, 1991)..	31
Gambar 2.19	Kelarutan Karbon pada 18-10 Baja Tahan Karat Austenitic.....	33
Gambar 2.20	Laju Presipitasi untuk Cr ₂₃ C ₆ sebagai Fungsi Kandungan Karbon.....	33
Gambar 2.21	Penurunan Kadar Kromium pada Austenit di Sekitar Batas Butir Akibat Presipitasi Karbida ..	34
Gambar 2.22	Skema Proses Terjadinya <i>Hot Corrosion</i> pada Mesin Turbin Gas	36
Gambar 2.23	Skema Proses Terjadinya Hot Corrosion pada Mesin Turbin Gas	37
Gambar 2.24	Struktur Lapisan Oksida pada Stainless Steel 310S	37
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 3.2	(a) Sistem <i>Ring Segment</i> pada Turbin Gas, (b) <i>Seal Strips</i>	41
Gambar 3.3	Mesin <i>Hand Grinding</i>	41
Gambar 3.4	Kamera Digital	42
Gambar 3.5	Mesin OES	42
Gambar 3.6	<i>Universal Hardness Tester</i>	43
Gambar 3.7	<i>Abrasive Paper</i>	43
Gambar 3.8	Mesin Polish.....	44
Gambar 3.9	Mikroskop Optik	44
Gambar 3.10	Mesin Pengujian XRD	45

Gambar 3.11	Mesin Pengujian SEM.....	45
Gambar 4.1	Pengamatan pada Seal Strips Kode 2 yang Mengalami Kegagalan	53
Gambar 4.2	Pengamatan pada Seal Strips Kode 5 yang Mengalami Kegagalan	54
Gambar 4.3	Pengamatan pada Seal Strips Kode 28 yang Mengalami Kegagalan	54
Gambar 4.4	Pengamatan pada Seal Strips Kode 31 yang Mengalami Kegagalan	54
Gambar 4.5	Struktur Mikro <i>Seal Strips</i> SS 310S Kode 1.....	56
Gambar 4.6	Struktur mikro Seal Strips SS 310S (a) Kode 2 (b) Kode 5 (c) Kode 28 (d) Kode 31	56
Gambar 4.7	Pengamatan Struktur Mikro SS 310S dengan Metode Pengujian Mikroskop Optik Etsa HCl 50 ml, HNO ₃ 25 ml dan H ₂ O 25 ml	57
Gambar 4.8	Pengamatan Struktur Mikro Stainless Steel 310s dengan Metode Pengujian SEM	57
Gambar 4.9	Pengamatan Morfologi Seal Strips Kode 1 Perbesaran 200x	58
Gambar 4.10	Pengamatan Morfologi Seal Strips Kode 2 Perbesaran 200x	58
Gambar 4.11	Pengamatan Morfologi Seal Strips Kode 3 Perbesaran 200x	59
Gambar 4.12	Pengamatan Morfologi Seal Strips Kode 5 Perbesaran 200x	59
Gambar 4.13	Gambar 4.16 Pengamatan Morfologi Seal Strips Kode 28 (A) Perbesaran 100x (B) Perbesaran 200x	59
Gambar 4.14	Pengamatan Morfologi Seal Strips Kode 29 Perbesaran 200x	60
Gambar 4.15	Grafik Hasil Uji XRD <i>Seal Strips</i> Kode 31.....	61
Gambar 4.16	Hasil Pengujian EDX Seal Strips Kode 1	62
Gambar 4.17	Hasil Pengujian EDX Seal Strips Kode 2	63
Gambar 4.18	Hasil Pengujian EDX Seal Strips Kode 3	64
Gambar 4.19	Hasil Pengujian EDX Seal Strips Kode 5.....	65

Gambar 4.20	Hasil Pengujian EDX Seal Strips Kode 28.....	66
Gambar 4.21	Hasil Pengujian EDX Seal Strips Kode 29.....	67
Gambar 4.22	Hasil Pengujian EDX Seal Strips Kode 31.....	68
Gambar 4.23	Perkiraan Deposit Melalui Diagram Fasa Fe-Cr -O-Ni.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 310S	18
Tabel 2.2 Sifat Mekanik AISI 310S.....	19
Tabel 2.3 Permasalahan dalam Kegagalan Komponen Mesin .	20
Tabel 2.4 Kasus Kegagalan Material Akibat Perawatan Komponen Mesin.....	21
Tabel 2.5 Penyebab Kegagalan dalam Komponen Mesin.....	22
Tabel 4.1 Data Operasional Turbin Gas.....	51
Tabel 4.2 Komposisi Bahan Bakar Minyak yang Digunakan ..	51
Tabel 4.3 Komposisi Bahan Bakar Gas yang Digunakan	52
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Komposisi Kimia pada Seal Strips.	52
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kekerasan Seal Strips	60
Tabel 4.6 Hasil Matching XRD dengan Aplikasi HighScorePlus	61
Tabel 4.7 Hasil Pengujian EDX <i>Seal Strips</i> Kode 1	62
Tabel 4.8 Hasil Pengujian EDX <i>Seal Strips</i> Kode 2	63
Tabel 4.9 Hasil Pengujian EDX <i>Seal Strips</i> Kode 3	64
Tabel 4.10 Hasil Pengujian EDX <i>Seal Strips</i> Kode 5	65
Tabel 4.11 Hasil Pengujian EDX <i>Seal Strips</i> Kode 28	66
Tabel 4.12 Hasil Pengujian EDX <i>Seal Strips</i> Kode 29	67
Tabel 4.13 Hasil Pengujian EDX <i>Seal Strips</i> Kode 31	68

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya akan kebutuhan energi listrik di Indonesia memberikan tugas banyak terhadap pihak-pihak yang terlibat dalam penyuksesan elektrifikasi nasional. Untuk dapat menyediakan energi listrik yang berkelanjutan, pihak yang berperan sebagai distributor dalam penyediaan energi listrik di Indonesia akan banyak menghadapi permintaan serta tuntutan dari para konsumen. Pembangkit-pembangkit yang digunakan untuk menyediakan energi listrik sangat perlu diperhatikan dalam operasi dan perawatan komponen utamanya.

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) merupakan pembangkit energi listrik yang menggunakan turbin gas sebagai penggerak generatornya. Turbin gas dirancang dengan cara kerja yang sederhana dimana energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran diubah menjadi energi mekanis dan selanjutnya diubah menjadi energi listrik. Dalam proses pembakaran ini bahan bakar disuplai oleh pompa bahan bakar (*fuel oil pump*) apabila digunakan bahan bakar minyak, atau oleh kompresor gas apabila menggunakan bahan bakar gas alam. Pada umumnya kompresor gas disediakan oleh pemasok gas tersebut. Udara untuk pembakaran diperoleh dari kompresor utama, sedangkan panas untuk awal pembakaran dihasilkan oleh *ignitor* (busi). Proses pembakaran dilaksanakan didalam *combustion chamber* (ruang bakar). Udara dengan tekanan atmosfer ditarik masuk ke dalam kompresor dan diberi tekanan sebesar 250 Psi dicampur dengan bahan bakar dan dibakar dalam ruang bakar dengan temperatur 1000-1700°C. Gas hasil pembakaran yang merupakan energi panas dan tekanan yang tinggi memiliki temperatur kira-kira sebesar 900°C. Selanjutnya gas dialirkan ke turbin untuk memutar turbin, generator dikoppel secara langsung dengan turbin, dengan demikian bila turbin berputar maka generator berputar. Kompresor juga seporos dengan turbin. Jadi tekanan gas yang dihasilkan dari



ruang bakar selain memutar turbin juga untuk memutar *compressor*. Energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin gas digunakan untuk memutar generator listrik, sehingga diperoleh energi listrik.

Permasalahan yang dihadapi yaitu turbin gas PT. XYZ yang digunakan sebagai pembangkit listrik dengan daya 20 MW mengalami kerusakan pada *shield*, tepatnya pada bagian *ring segment*, *seal strips* dan *anti-rotation*. *Ring segment* merupakan komponen yang letaknya sangat dekat dengan *turbin blade* sehingga ada kemungkinan untuk bergesekan dengan *turbine blade* mengalami *high vibration* yang kemudian dilakukam inspeksi. Setelah dilakukan inspeksi terdapat bagian dari *ring segment row 2* yang terlepas dari rel, dimana *anti rotation* merupakan komponen penahan *ring segment* dalam turbin gas. *Seal strips* adalah suatu komponen yang menghubungkan rangkaian *ring segment*.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari tentang kegagalan yang terjadi pada komponen tersebut sehingga dapat dijadikan suatu literatur kedepan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dikaji dalam analisis kegagalan ini adalah menganalisis kegagalan yang terjadi pada *seal strip* dalam *sring segment* adalah sebagai berikut:

1. Apa saja faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan pada *seal strips* pada turbin gas?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan yang terjadi pada *seal strips* pada turbin gas?
3. Apa saja hal-hal yang perlu dilakukan agar kegagalan *seal strips* pada turbin gas dapat ditanggulangi?

1.3 Tujuan Masalah

Sesuai dengan permasalahan yang telah disebutkan, maka tujuan permasalahan adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan *seal strips* pada turbin gas.



2. Menganalisis mekanisme terjadinya kegagalan *seal strips* pada turbin gas.
3. Menganalisis penanggulangan yang perlu dilakukan agar kegagalan *seal strips* pada turbin gas dapat diminimalisir.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisa permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan, yaitu:

1. Temperatur, tekanan, dan volume udara yang mengalir di dalam turbin gas dianggap sesuai standar operasional.
2. Desain *seal strips* dianggap memenuhi standar operasional.
3. Material dianggap homogen.

1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Menentukan faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan *seal strips* pada turbin gas.
2. Masukan untuk hal-hal yang dapat dilakukan agar kegagalan pada *seal strips* dapat ditanggulangi.
3. Referensi pemilihan bahan serta *maintenance* pada *seal strips*.



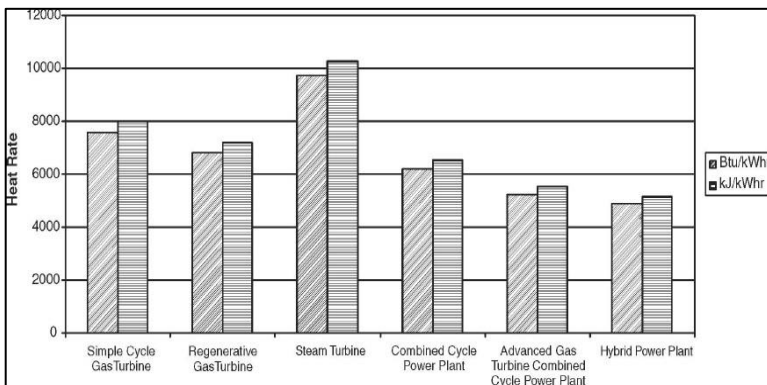
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Gas

Turbin gas merupakan alat yang banyak digunakan untuk mengkonversikan energi yang digunakan pada pembangkit-pembangkit listrik. Dalam upaya menghasilkan daya listrik maka turbin gas ini akan mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan generator. Energi mekanik untuk merotasi turbin dihasilkan dari energi kinetik fluida dari pembakaran pada temperatur dan tekanan tinggi.

Turbin gas terdiri dari tiga komponen utama yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin. Kompresor digunakan untuk meningkatkan tekanan dan temperatur dari udara yang akan dialirkan ke ruang bakar. Udara yang bertekanan tinggi ini digunakan pada pembakaran untuk menghasilkan fluida dengan energi tinggi sebagai penggerak poros yang berotasi pada putaran 3000 – 6000 putaran per menit dalam kumparan magnetik pada generator sehingga dihasilkannya arus listrik. (Boyce, 2012)



Gambar 2.1 Jenis-Jenis Pembangkit dan Laju Panas yang Dihasilkan (Boyce, 2012)



2.1.1 Komponen-Komponen Utama Turbin Gas

a. Kompresor

Kompresor merupakan alat yang digunakan untuk meningkatkan tekanan udara yang akan digunakan pada ruang bakar dalam proses pembakaran. Udara dari atmosfer ditarik terus menerus dan dikompresi hingga memiliki rasio tertentu untuk mencapai tekanan tinggi.

Kompresor terbagi menjadi dua jenis yaitu kompresor sentrifugal dan kompresor aksial. Kompresor sentrifugal digunakan pada jenis unit turbin gas yang kecil. Sedangkan kompresor aksial digunakan pada turbin gas yang mempunyai daya lebih dari 5 MW.

b. Ruang Pembakaran

Ruang pembakaran adalah daerah terjadinya proses pembakaran antara oksigen hasil kompresi dan bahan bakar.

c. Turbin

Turbin merupakan alat yang digunakan untuk ekspansi fluida. Turbin berfungsi sebagai penggerak dari generator pembangkit energi listrik. (Boyce, 2012)

d. Ring Segment

Ring segment adalah suatu komponen yang terletak pada turbin yang berfungsi sebagai penahan fluida agar terjaga dalam kompresor.

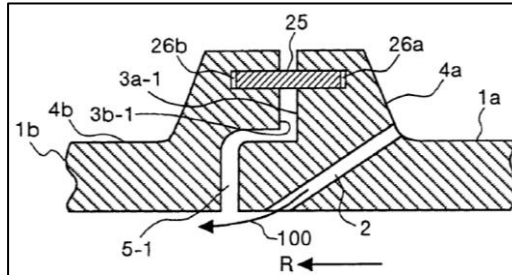


Gambar 2.2 Ring Segment (Sumber: Dokumen Pribadi)



e. Seal Strips

Seal strips atau *seal plate* adalah komponen pada turbin gas yang berfungsi sebagai penyambung antar *ring segment* dan menghambat keluarnya fluida dari sistem turbin ke dalam udara luar.



Gambar 2.3 Skema Penempatan *Seal Strips* pada *Ring Segment* Ditunjukkan oleh *Point 25* (Kuwabara, 2001)

2.1.2 Bahan Bakar

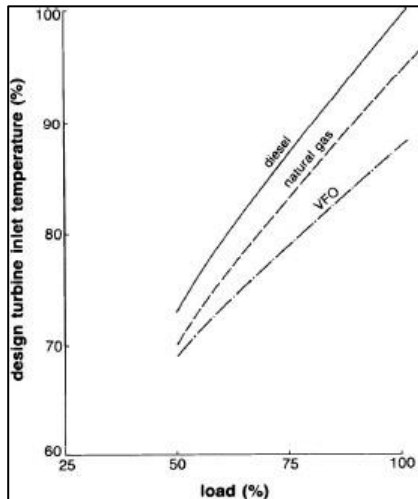
Dua jenis bahan bakar utama yang biasa digunakan pada turbin gas adalah jenis bahan bakar gas dan bahan bakar cair. Sekitar 40% dari turbin pembangkit dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar cair. Bahan bakar cair dapat terbagi menjadi dua kelas utama yaitu bahan bakar yang didistilasi atau *true distillate fuels* dan *ash-forming fuels*. *True distillate fuels* merupakan bahan bakar yang telah dimurnikan dan bebas dari komponen pembentuk abu dan dapat langsung digunakan atau dilakukan sedikit pembersihan terlebih dahulu. Secara umum bahan bakar jenis ini mengandung kontaminasi dari natrium dan potasium hingga 1 ppm serta sulfur hingga 1 persen berat. Sedangkan, *ash-forming fuels* membutuhkan pemansan, pembersihan maupun penambahan aditif dan dilakukan pembersihan berkala pada turbin. Selain tingginya jumlah natrium dan potasium hingga 100 ppm, sulfur hingga 4 persen berat, dan vanadium hingga 100 ppm bahan bakar jenis *ash-*



forming fuels perlu dilakukan pemisahan dari kontaminasi logam alkali.

Spesifikasi bahan bakar yang diperlukan dan penting untuk diperhatikan dengan disain dari system pembakaran adalah sebagai berikut:

1. Panas yang dihasilkan.
2. Kebersihan (keberadaan residu pembakaran, tingkat kontaminasi).
3. Tingkat korosi.
4. Deposisi dan kecenderungan membentuk endapan.
5. Ketersediaan.



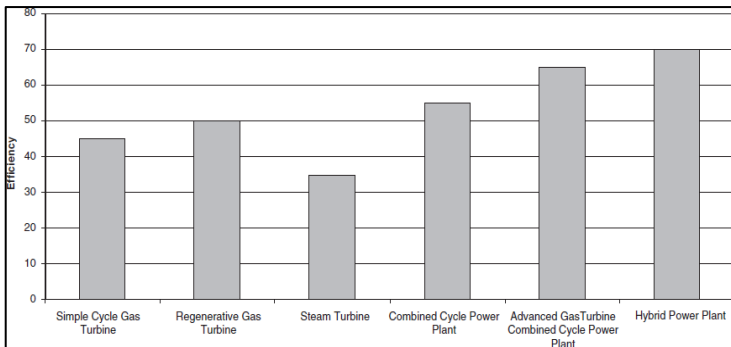
Gambar 2.4 Efek dari Berbagai Jenis Bahan Bakar pada Temperatur Pemasukan (Boyce, 2012)

2.1.3 Sistem Kerja dan Termodinamika Turbin Gas

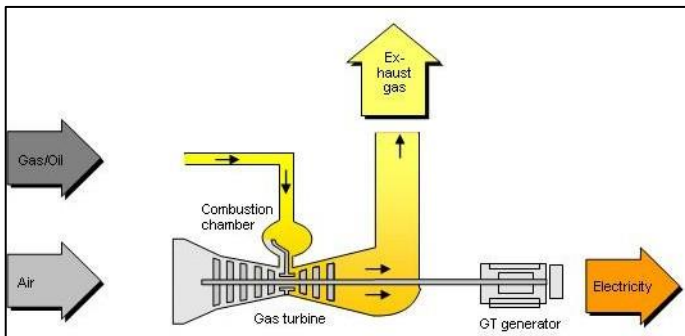
Turbin gas menggunakan prinsip siklus Brayton, sesuai dengan nama penemunya, George Brayton sekitar tahun 1870. Aplikasi utama dari siklus ini adalah untuk pembangkit listrik dan propulsi jet. Siklus termodinamika turbin gas ini dapat berupa



siklus terbuka dan siklus tertutup. Siklus terbuka ini lazim digunakan pada sistem pengoperasian turbin gas. Siklus ini biasa dikenal sebagai *simple cycle gas turbine* (SCGT). Turbin gas siklus terbuka mampu memproduksi energi 100 hingga 300 MW dengan efisiensi panas 35 sampai 40%. Turbin gas yang paling efektif mempunyai efisiensi panas yang bernilai 46%. Nilai efisiensi dari sistem termodinamika turbin gas ini telah dan akan terus berkembang pada kemampuan dan efisiensi gas turbin seiring berkembangnya material-material baru.



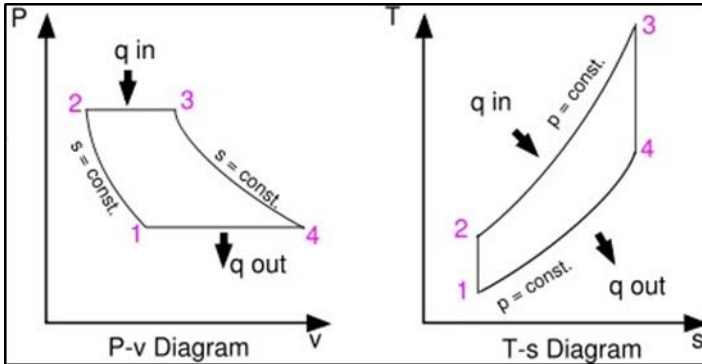
Gambar 2.5 Tipikal Efisiensi dari Tenaga Pembangkit (Boyce, 2012)



Gambar 2.6 Skematik Gambar Gas Turbin Siklus Terbuka (Boyce, 2012)



Prinsip termodinamika dari turbin gas dengan siklus Brayton adalah sebagai berikut:



Gambar 2.7 Diagram Siklus Brayton Ideal (Boyce, 2012)

- 1 – 2 proses kompresi isentropik di dalam kompresor
- 2 – 3 proses pemasukan kalor pada tekanan konstan di dalam ruang bakar
- 3 – 4 proses ekspansi isentropik di dalam turbin
- 4 – 1 proses pembuangan kalor tekanan konstan dalam alat pemindah kalor.

Di samping itu, fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik C_p yang konstan. Maka dari hukum pertama termodinamika

$$dQ = dU + \frac{dW}{J} \quad (2.1)$$

sehingga kerja yang dihasilkan oleh sistem turbin gas selama satu siklus adalah

$$\frac{\int dW}{J} = \int dQ \quad (2.2)$$

atau



$$\frac{W}{J} - Qm - Qk$$

atau

$$\frac{W}{J} - Qm - Qk - Cp (T3 - T2) - Cp (T4 - T1)$$

maka efisiensi siklus Brayton adalah

$$\eta - \frac{W}{J \times Qm} - 1 - \frac{Qk}{Qm} \quad (2.3)$$

atau

$$\eta - 1 - \left(\frac{T4 - T1}{T3 - T2} \right)$$

tetapi

$$\left(\frac{P2}{P1} \right) = \left(\frac{P3}{P4} \right) \quad (2.4)$$

dan oleh karena proses 1 – 2 dan 3 – 4 adalah isentropik, maka

$$\left(\frac{P2}{P1} \right) = \left(\frac{T2}{T1} \right)^{\left(\frac{K}{K-1} \right)} \quad (2.5)$$

dan

$$\left(\frac{P2}{P1} \right) = \left(\frac{T2}{T1} \right)^{\left(\frac{K}{K-1} \right)} \quad (2.6)$$

oleh karena

$$\left(\frac{P2}{P1} \right) = \left(\frac{P3}{P4} \right) \quad (2.7)$$

maka

$$\left(\frac{T2}{T1} \right) = \left(\frac{T3}{T4} \right) \quad (2.8)$$

Sehingga persamaan menjadi



$$\eta = 1 - \left(\frac{T_1}{T_2}\right) = 1 - \left(\frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K}{K-1}}}\right) \quad (2.9)$$

Jadi, efisiensi siklus Brayton akan naik apabila dapat digunakan perbandingan tekanan kompresi $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$ yang lebih tinggi.

Prosesnya diawali dengan udara masuk kedalam kompresor melalui saluran masuk udara (*inlet*). Kompresor berfungsi untuk menghisap dan menaikkan tekanan udara tersebut sehingga temperatur udara juga meningkat. Kemudian udara bertekanan ini masuk kedalam ruang bakar. Di dalam ruang bakar dilakukan proses pembakaran dengan cara mencampurkan udara bertekanan dan bahan bakar. Proses pembakaran tersebut berlangsung dalam keadaan tekanan konstan sehingga dapat dikatakan ruang bakar hanya untuk menaikkan temperatur. Gas hasil pembakaran tersebut dialirkan ke turbin gas melalui suatu *nozle* yang berfungsi untuk mengarahkan aliran tersebut ke sudu-sudu turbin. Daya yang dihasilkan oleh turbin gas tersebut digunakan untuk memutar kompresornya sendiri dan memutar beban lainnya seperti generator listrik, dll. Setelah melewati turbin ini gas tersebut akan dibuang keluar melalui saluran buang (*exhaust*).

Secara umum proses yang terjadi pada suatu siklus sistem turbin gas adalah sebagai berikut:

1. Pemampatan (*compression*) udara di hisap dan dimampatkan.
2. Pembakaran (*combustion*) bahan bakar dicampurkan ke dalam ruang bakar dengan udara kemudian di bakar.
3. Pemuaian (*expansion*) gas hasil pembakaran memuai dan mengalir ke luar melalui nozel (*nozzle*).
4. Pembuangan gas (*exhaust*) gas hasil pembakaran dikeluarkan lewat saluran pembuangan.

Pada kenyataannya, tidak ada proses yang selalu ideal, tetap terjadi kerugian-kerugian yang dapat menyebabkan turunnya daya



yang dihasilkan oleh turbin gas dan berakibat pada menurunnya performa turbin gas itu sendiri. Kerugian-kerugian tersebut dapat terjadi pada ketiga komponen sistem turbin gas. Sebab-sebab terjadinya kerugian antara lain:

1. Adanya gesekan fluida yang menyebabkan terjadinya kerugian tekanan (*pressure losses*) di ruang bakar.
2. Adanya kerja yang berlebih waktu proses kompresi yang menyebabkan terjadinya gesekan antara bantalan turbin dengan angin.
3. Berubahnya nilai C_p dari fluida kerja akibat terjadinya perubahan temperatur dan perubahan komposisi kimia dari fluida kerja.
4. Adanya *mechanical loss*, dsb.

(Boyce, 2012)

2.2 Baja

Menurut komposisi kimianya baja dapat dibagi menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain, selain besi dan karbon. Baja karbon mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi atau baja seperti mangan, silikon, dan beberapa unsur pengotor seperti belerang, oksigen, nitrogen, dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil (Aini, 2016).

2.2.1 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

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

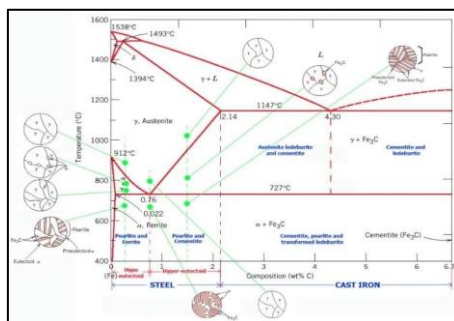


Diagram keseimbangan besi–karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstitial-nya, karbida besi Fe_3C , yang mengandung 6,67 % C dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi–karbida besi, diagram Fe – Fe_3C .

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 memakan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi–karbida dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Dari Gambar 2.8 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. $L \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ (Avner, 1974)



Gambar 2.8 Diagram fasa Fe- Fe_3C (Avner, 1974)



2.2.2 Baja Paduan

Baja merupakan paduan yang terdiri dari besi (Fe), karbon (C), dan unsur paduan lainnya. Unsur karbon (C) merupakan salah satu unsur yang terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja paduan merupakan baja yang dipadu dengan unsur lain seperti nikel (Ni), silikon (Si), *molybdenum* (Mo), mangan (Mn), krom (Cr) dengan tujuan untuk meningkatkan sifat dan karakterisasi mekanik dari baja tersebut. Oleh karena dipadu, sifat dan karakterisasinya pun tergantung pada unsur paduan dan komposisinya. Misalnya untuk mendapatkan resistansi yang baik terhadap korosi, baja dapat dipadu dengan unsur Krom (Cr) dan sering disebut dengan baja tahan karat. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam bidang teknik dalam bentuk pelat, lembaran, pipa, batang dan sebagainya, hal tersebut yang mendorong terciptanya teori paduan baru pada baja (Yakub & Nofri, 2013)

2.2.3 Baja Tahan Karat

Baja Tahan karat (*stainless steel*) sebenarnya adalah baja paduan dengan kadar paduan tinggi (*high alloy steel*) dengan sifat istimewa yaitu tahan terhadap korosi dan temperatur tinggi. Sifat tahan korosinya diperoleh dari lapisan oksida (terutama krom) yang sangat stabil yang melekat pada permukaan dan melindungi baja terhadap lingkungan yang korosif. Pada beberapa jenis baja tahan karat juga terjadi lapisan oksida nikel. Efek perlindungan oksida krom ini tidak efektif pada baja paduan dengan kadar *chrom* rendah, efek ini mulai tampak nyata pada kadar krom tidak kurang dari 10%. (Suherman, 1999)

Berdasarkan strukturnya baja tahan karat dapat dibagi menjadi tiga kelompok, setiap kelompok baja tahan karat cocok digunakan untuk aplikasi yang berbeda. Berikut merupakan 3 kelompok baja tahan karat yang utama yaitu:

a. Baja tahan karat ferritik

Baja tahan karat ferritik adalah baja *chrom* yang memiliki kadar kromium lebih tinggi (14-27%), dan kadar karbon lebih



rendah. Dalam kelompok ini dikenal tipe 405, 430, dan 446. Baja tahan karat ini memiliki sifat-sifat sebagai berikut: tidak dapat dikeraskan dengan laku panas (*non hardenable*, namun dapat menjadi keras dengan *cold work* (*work hardens*), magnetik, dapat di *cold work* maupun *hot work*. Keuletan dan sifat tahan korosi yang paling tinggi akan dicapai saat kondisi *annealed*. Dalam kondisi ini kekuatannya kira-kira 50% lebih tinggi dari baja karbon, terhadap kelompok martensitik, kelompok ferritik lebih unggul dalam sifat tahan korosi dan *machinability*. Karena mudah dibentuk, banyak digunakan sebagai barang-barang yang dibuat dengan *deep-drawing* seperti alat industri kimia dan makanan dan benda arsitektural dan beberapa hiasan pada bagian mobil.

b. Baja tahan karat austenitik

Kelompok ini terdiri dari baja *chrom-nickel* (seri 3xx) dan baja *chrom-nickel-mangan* (seri 2xx). Jumlah kadar *chrom* dan *nickel* tidak kurang dari 23%. Berstruktur austenitik, non magnetik, *non hardenable*. Mudah di *hot-work*, tetapi agak sulit di *cold-work* karena dapat mengalami *work-hardening* cukup baik. Dalam keadaan *cold work* baja ini menjadi sedikit magnetik. *Cold working* dapat memberikan sifat mekanik yang sangat bervariasi tergantung pada tingkat deformasi yang dialami. Kelompok baja ini mempunyai sifat *shock resistant* yang tinggi, dan juga sulit di *machining*, kecuali yang mengandung sulfur atau selenium. Sifat tahan korosinya paling baik diantara ketiga jenis baja tahan karat, juga kekuatan pada temperatur tinggi dan sifat tahan terhadap *scalling* sangat baik. Pada pengelasan baja ini sering mengalami prepitasi karbida kromium (terjadinya presipitasi karbida krom menurunkan sifat tahan korosi dan dapat mendorong terjadinya korosi yang sangat berbahaya, yaitu korosi batas butir (Suherman, 1999).

c. Baja tahan karat austenitik

Pada dasarnya baja ini adalah baja chrom dengan 11,5-18% kromium. Baja ini sering digunakan untuk *turbin blade* dan benda



tuangan tahan korosi. Yang termasuk dalam kelompok ini antara lain tipe 403, 410, 416, 420, 440A, 501, dan 502. Kelompok baja tahan karat ini bersifat magnetik, dapat dikeraskan, dapat di *coldwork* dengan mudah, terutama yang memiliki kadar karbon rendah, *machinability* cukup baik, ketangguhan baik, juga dapat di *hot-work* dan memperlihatkan sifat tahan korosi terhadap cuaca dan beberapa *chemical* yang cukup baik. Sifat tahan korosinya akan paling baik bila dalam kondisi dikeraskan, tetapi masih belum sebaik sifat tahan korosi dari kelompok ferritik dan austenitik.

d. Baja tahan karat presipitasi *hardening*

Baja tahan karat yang mengalami pengerasan presipitasi. Baja ini pada dasarnya adalah baja paduan *chrom nickel* dengan tambahan beberapa unsur lain. Baja ini keluar dari pabrik biasanya sudah dalam keadaan *solution-annealed*. Kemudian setelah dibentuk dilakukan *aging* untuk menaikkan kekerasan dan kekuatannya. *Aging* dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 480-620°C, didinginkan di udara, untuk menimbulkan efek presipitasi. Dengan *aging* ini martensit akan mengalami *tempering*. Temperatur *aging* yang lebih rendah akan memberikan kekerasan dan kekuatan lebih tinggi tetapi keuletan lebih rendah. Baja ini hendaknya tidak digunakan pada kondisi *solution-treated* karena keuletannya rendah dan ketahanan terhadap *stress corrosion cracking* jelek.

e. Baja tahan karat duplex

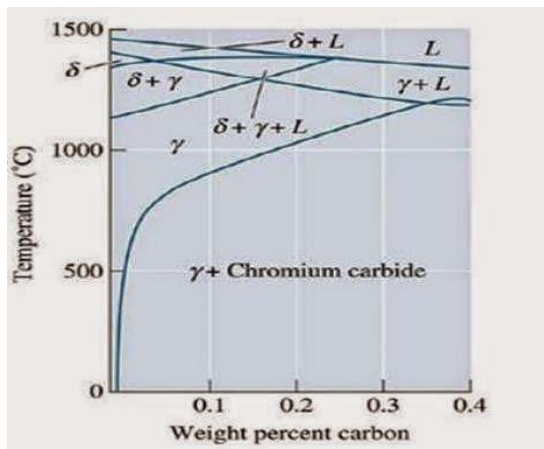
Kelompok duplex memiliki mikrostruktur ferritik dan austenitik, dengan kesetimbangan fasa 50% ferrit dan 50% austenit. Kelompok Duplex merupakan kombinasi banyak sifat baik dari baja tahan karat ferritik dan austenitik. Mikrostruktur duplex berkontribusi untuk memberikan sifat kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap *Stress Corrosion Cracking* yang tinggi. Ciri-ciri baja tahan karat duplex adalah kandungan kromium yang tinggi (20,1-25,5%), namun memiliki kandungan *nickel* yang rendah dibandingkan dengan kelompok austenitik (1,4-7%).



Rendahnya kandungan *nickel* membuat baja tahan karat duplex memiliki harga yang lebih murah. *Molybdenum* (0,3-4%) dan nitrogen ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan kesetimbangan mikrostruktur. Nitrogen juga meningkatkan kekuatan. Mangan juga ditambahkan pada beberapa tipe sebagai pengganti dari *nickel*, namun mangan juga meningkatkan kelarutan nitrogen dalam material.

2.2.4 Baja tahan karat AISI 310S

Salah satu jenis baja stainless austenitic adalah AISI 310S. Baja austenitic ini mempunyai struktur kubus satuan bidang (*face centered cubic*) dan merupakan baja dengan ketahanan korosi tinggi. Komposisi unsur-unsur pemuat yang terkandung dalam AISI 310S akan menentukan sifat mekanik dan ketahanan korosi. Baja AISI 310S mempunyai kadar karbon sangat rendah 0,08%wt. Kadar kromium berkisar 18-20%wt dan nikel 8-10,5%wt yang terlihat pada Tabel 2.1. Kadar kromium cukup tinggi membentuk lapisan Cr_2O_3 yang protektif untuk meningkatkan ketahanan korosi.



Gambar 2.9 Diagram Fasa Austenitik *Stainless Steel* (Callister, 2007)



Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 310S
(ASTM Committee, 2004)

Unsur	%wt
C	0,08
Mn	2
P	0,45
S	0,03
Si	0,75
Cr	18-20
Ni	8-10,5
Mo	<0,1
Cu	0-3
Fe	Bal

Komposisi kandungan unsur dalam baja AISI 310S tersebut diperoleh sifat mekanik material yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Mekanik AISI 310S (ASTM Committee, 2004)

Poison	Tensile	Yield	Elong	Hard	Mod	Density
0,27-0,30	515	205	40	88	193	8

Keterangan:

- Poison : Rasio Poison
- Tensile : Tensile Strength (MPa)
- Yield : Yield Strength (MPa)
- Elong : Elongation %
- Hard : Kekerasan (HVN)
- Mod : Modulus Elastisitas (GPa)
- Density : Berat jenis (Kg/m^3)

(ASTM Committee, 2004)



2.3 Analisis Kegagalan

Analisis kegagalan adalah kegiatan pemeriksaan/ pengujian terhadap suatu komponen yang mengalami kerusakan untuk mencari penyebab terjadi permasalahan yang sifatnya spesifik. Didukung dengan berbagai referensi, pengamatan, dan pengujian laboratorium untuk memperkuat dugaan permasalahan. Kegagalan bisa saja berasal dari manufaktur, perakitan ataupun pengoperasian yang tidak sesuai dengan prosedur. Tujuan analisis kegagalan untuk mengetahui mekanisme kegagalan. Manfaat yang dihasilkan dari analisis kegagalan dalam jangka pendek adalah perbaikan desain dan proses fabrikasi juga pengoperasian. Untuk jangka panjang bisa dijadikan acuan pengembangan material dan evaluasi untuk memperkirakan kerja suatu material dan memperbaiki sistem perawatan dari material tersebut.

Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisis kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.

2.3.1 Faktor Penyebab Kegagalan

Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brook & Choudury, 2002), faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat dikarenakan:

a. Faktor Kesalahan Pemilihan Material

Tabel 2.3 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam masalah kegagalan material.



Tabel 2.3 Permasalahan dalam Kegagalan Komponen Mesin
(Brook & Choudury, 2002).

Permasalahan	%
Kesalahan pemiliha 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

b. Perawatan Komponen yang Kurang Baik

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.4 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

Tabel 2.4 Kasus Kegagalan Material Akibat Perawatan
Komponen Mesin (Brook & Choudury, 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

c. Kesalahan dalam Perancangan Komponen

Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:



- Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
- Kegagalan getas akibat beban kejut
- Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
- *Static delayed fracture*
- Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
- Analisis tegangan komponen yang kurang detil yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*
- Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan

d. Kondisi Kerja yang Ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.5 berikut ini:

Tabel 2.5 Penyebab Kegagalan dalam Komponen Mesin
(Brook & Choudury, 2002)

Permasalahan	%
Korosi	29
Kelelahan	25
Kegagalan getas	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperatur tinggi	7
Korosi SCC	6
Pemuluran	3
Abrasi, erosi	3

2.3.2 Prosedur Dalam Analisis Kegagalan

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



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

1. Material yang digunakan

- a. Data produk: *melting, rolling, forming, casting, heat treatment*, dan proses *machining*
- b. Analisis 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
- d. Uji percobaan
- e. Uji laboratorium: perhitungan tegangan (kekuatan material, *finite element method* (FEM), kekuatan lelah, kekerasan patahan.
- f. Konfirmasi uji lapangan: ukuran tegangan, uji produksi.

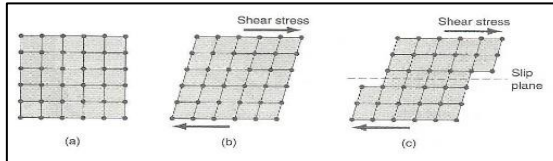
3. Hasil uji seluruhnya

2.4 Deformasi pada Kristal Metalik

Ketika kristal ada dalam tekanan yang makin lama makin besar, respon pertama yang akan terjadi adalah deformasi elastik. Lihat ilustrasinya pada gambar 2.9 (a) dan (b). Kristal akan miring, lalu kembali ke bentuk asal ketika tekanan diadukan kembali. Jika tekanannya diperbesar sehingga melewati batas tertentu, maka akan terjadi deformasi plastis. Disini, ada sejumlah atom yang berpindah lokasinya. Lihat gambar 2.9 (c). Deformasi yang digambarkan disini disebut slip, yaitu pergerakan relatif dua kelompok atom yang berada di dua sisi

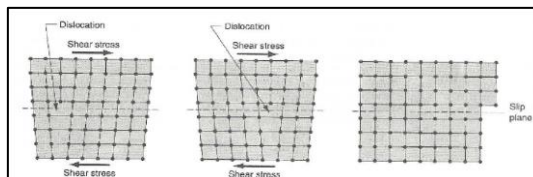


berbeda dari satu bidang. Bidang ini disebut bidang slip (*slip plane*).



Gambar 2.10 Deformasi pada Struktur Kristal (a) *Original Lattice*, (b) Deformasi Elastis Tanpa Perubahan Permanen pada Posisi Atom, (c) Deformasi Plastik Mengakibatkan Perpindahan Posisi Atom Secara Permanen (Callister, 2007)

Deformasi plastis relatif lebih sulit terjadi pada logam yang mempunyai struktur kristal HCP ketimbang pada yang berstruktur BCC dan FCC. Ini ada hubungannya dengan rendahnya *ductility* pada logam berstruktur HCP, khususnya pada temperatur kamar. Bahan logam yang mempunyai banyak dislokasi ujung, relatif lebih mudah mengalami deformasi. Yang terjadi disini adalah memindahkan posisi cacat dislokasi ujung (lihat gambar 2.9), dimana energi yang diperlukan lebih rendah. Dengan demikian, di satu pihak, cacat dislokasi ujung merupakan hal yang baik, karena membuat bahan logam menjadi lebih *ductile*, sehingga memudahkan pekerjaan deformasi yang terjadi pada proses manufaktur. Tapi di pihak lain, logam yang mempunyai banyak cacat artinya tidak sekuat logam yang tanpa cacat, dan ini merupakan hal yang buruk dari aspek perancangan produk.



Gambar 2.11 Pengaruh Dislokasi Terhadap Struktur *Lattice* Akibat Tekanan (Callister, 2007)



Di samping deformasi berdasarkan slip plane, ada juga bentuk deformasi yang lain, yaitu twinning. Hasil dari deformasi ini adalah bahwa atom-atom di satu sisi dari bidang *twinning* (*twinning plane*), menjadi bayangan cermin dari atom-atom di sisi yang lain. Deformasi ini penting pada struktur kristal HCP (seperti Mg dan Zn) karena disini deformasi slip sulit terjadi.

Satu blok logam bisa dibangun dari jutaan individu kristal, yang disebut butir (*grain*). Setiap butir mempunyai orientasi latis uniknya sendiri. Secara kolektif, arah latis dari butir-butir tersebut bersifat acak. Struktur seperti ini disebut polikristalin. Ini terjadi karena ketika logam cair menjadi dingin dan mulai menjadi padat, pembentukan inti dari setiap individu kristal terjadi pada posisi dan orientasi yang random, di seluruh cairan tersebut.

Ketika inti-inti kristal ini tumbuh, sehingga kristal-kristal ini bertemu satu sama lain, akan terbentuk batas-butir (*grain boundary*). Batas ini tebalnya hanya beberapa atom, dan arah orientasinya tidak sama dengan orientasi butir-butir yang dibatasinya. Ukuran butir dalam satu blok logam ditentukan antara lain oleh jumlah inti yang terjadi dan kecepatan pendinginan dari logam cair tersebut. Dalam proses pembuatan logam cor, inti butir sering terjadi karena dinding cetakan yang relatif dingin. Ini juga mempengaruhi arah orientasi butir.

Ukuran butir dipengaruhi secara terbalik oleh laju pendinginan: pendinginan yang cepat akan membuat butir menjadi lebih kecil, sedangkan pendinginan lambat akan berpengaruh sebaliknya. Ukuran butir merupakan hal yang penting dalam logam karena berpengaruh pada sifat mekanikal. Logam yang mempunyai butir-butir yang kecil mempunyai kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi.

Faktor lain yang berpengaruh dalam sifat-sifat mekanikal adalah adanya batas butir pada logam. Batas butir ini perwujudan dari cacat pada struktur kristal, yang menahan Bergeraknya dislokasi. Ini menjelaskan mengapa kecilnya ukuran butir (yang



berarti lebih banyak butir dan lebih banyak batas butir), meningkatkan kekuatan logam.

Dengan menahan pergerakan dislokasi, maka batas butir juga memberi kontribusi pada sifat mekanikal dari satu logam, sehingga logam menjadi bertambah kuat setelah mengalami deformasi. Sifat ini disebut *strain-hardening*, yang akan dijelaskan lebih detail di bagian lain. (Surdia, 1992).

2.5 Patah Getas dan Patah Ulet

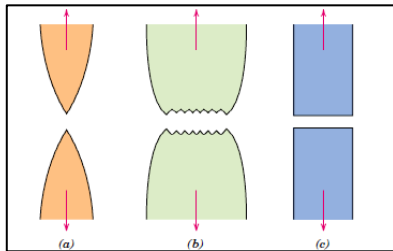
Patahan adalah spesimen dari sebuah benda menjadi 2 atau lebih potongan karena terjadinya tegangan statik dan pada temperatur yang relatif rendah terhadap titik leleh dari suatu material. Tegangan yang terjadi pada material bisa merupakan tegangan tarik, tegangan kompresi, tegangan geser ataupun torsi. Dalam rekayasa material terdapat dua jenis mode patahan yang mungkin terjadi yaitu patahan ulet dan patah getas. Klasifikasi jenis patahan ini berdasarkan kemampuan sebuah material dalam menerima deformasi plastis yang dapat menyerap energi yang besar sebelum terjadi patahan. Material yang ulet mempunyai deformasi plastis yang tinggi, pembentukan *small cavity* diujung retak, serta retak memanjang atau menjalar bertahap. Sedangkan pada material yang getas mempunyai deformasi plastis rendah, tegangan lokal meningkat pada ujung retak sehingga retak menjalar dengan sangat cepat. Patahan ulet dan getas pada suatu material tergantung pada kondisi pembebanan. Pada proses terjadinya patahan melibatkan dua tahap yaitu terbentuknya retak dan perambatan sebagai respon dari tegangan yang dialami oleh material. Modus patahan sangat bergantung pada perambatan retak.

2.5.1 Patahan Ulet

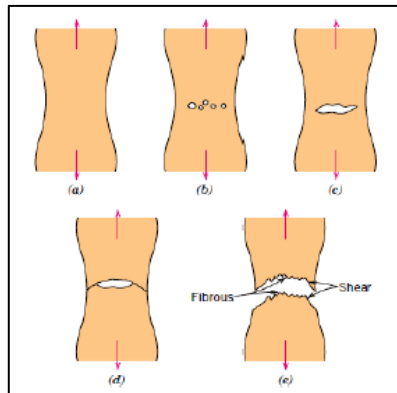
Bentuk patahan ulet memiliki karakteristik yang berbeda jika diamati secara makroskopis. Pada gambar 2.11 ditunjukkan skematik representative dari dua karakteristik profil patahan secara makro. Konfigurasi yang ditunjukkan oleh Gambar 2.11 (a) ditemukan pada material lunak seperti emas pada temperature



ruang dan metal, polimer dan inorganik gelas pada temperature yang relatif tinggi. Secara umum profil patahan material ulet akibat tegangan tarik ditunjukkan pada Gambar 2,11 (b) dimana patahan didahului oleh adanya necking. Proses patahan ulet dari material terjadi dalam beberapa tahap. Pertama, setelah terjadi pengecilan luasan setempat (*necking*) *cavities* kecil atau microvoid terbentuk di dalam struktur material seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Bentuk Patahan (a) Ulet, (b) Ulet Setelah Terjadi Necking, (c) Getas Tanpa Terjadi Deformasi Plastis (Callister, 2007)



Gambar 2.13 Tahap Patahan *Cup* dan *Cone* (a) Awal Necking, (b) Terbentuknya Cavity Kecil, (c) Pengumpulan Cavity Hingga Menjadi Retakan, (d) Perambatan Retak, (e) Patahan Geser dengan Sudut 45° Terhadap Arah Tegangan (Callister, 2007)



Kemudian dengan bertambahnya deformasi akibat tegangan maka microvoid membesar dan berkumpul menjadi satu yang kemudian *coalesce* membentuk retak secara elips yang memiliki panjang tegak lurus dari arah pembebanan. Retak kemudian tumbuh sejajar dengan arah pembebanan, akhirnya patahan terbentuk oleh perambatan retak yang cepat disekitar area necking seperti gambar 2.12 (e) oleh deformasi geser pada sudut disekitar arah tegangan tarik dimana sudut ini merupakan tegangan geser tertinggi. Terkadang sebuah patahan mempunyai karakteristik kontur seperti cup dan cone karena salah satu permukaan patahan menyerupai cone. Spesimen yang mempunyai bentuk patahan seperti ini berbentuk fibrous yang tidak teratur dimana hal ini menandakan deformasi plastis. Lebih jauh lagi untuk mengetahui informasi mengenai penentuan secara pengujian dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Studi mengenai tipe patahan disebut *fractographic*. *Scanning Electron Microscope* (SEM) lebih banyak digunakan dalam mengamati bentuk *crack*, patahan karena mempunyai resolusi dan kedalaman observasi yang lebih tinggi dari mikroskopik optik. Gambar 2.13 menunjukkan patah ulet *cup* dan *cone* dan perbedaan patah getas pada *mild steel*.

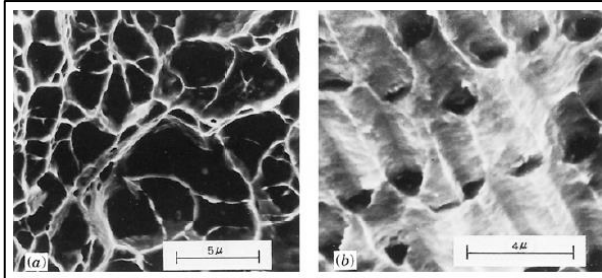


Gambar 2.14 Penampakan (a) Patah Ulet (*Cup and Cone*) pada Aluminium, dan (b) Patah Getas pada Mild Steel (Callister, 2007)

Pada skala makro, patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah *shear lips*.

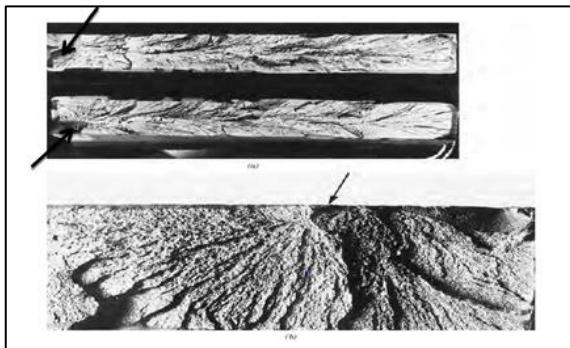


Kemudian pada skala mikro, patah ulet ditandai dengan adanya profil dimple pada permukaan patahnya yang disebabkan oleh penjalaran retakan mikro (*microvoids coalescence*) pada Gambar 2.14.



Gambar 2.15 Hasil SEM (a) Spherical Dimple Karakteristik, Patahan Hasil Beban Tarik Unixial, 3300×, dan (B) *Spherical Dimple* Karakteristik Hasil Beban Geser, 5000x (Callister, 2007)

2.5.2 Patahan Getas

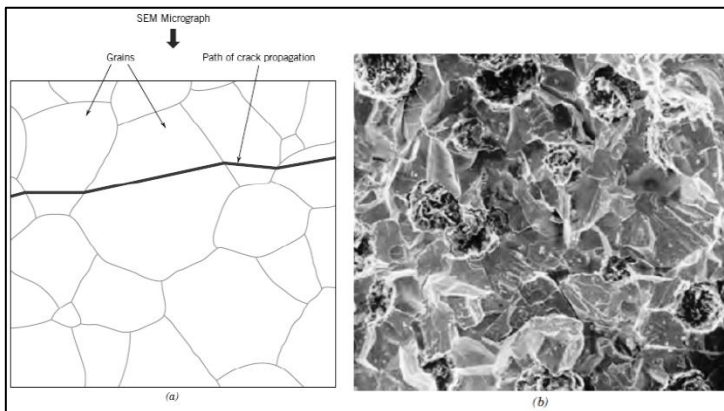


Gambar 2.16 Penampakan Foto (a) Bentuk V “Chevron” sebagai Karakteristik Patah Getas dan (b) Permukaan Patah Getas Daerah Asal Retakan (Callister, 2007)

Patah getas sering terjadi tanpa adanya atau sedikit sekali terjadi deformasi plastis pada material. Retak/ patahan merambat



sepanjang bidang-bidang kristalin yang membelah atom-atom material (*transgranular*). Kemudian pada material lunak dengan butir kasar (*coarse grain*) maka dapat dilihat pola-pola yang dinamakan *chevron* seperti Gambar 2.15 (a) atau patah getas permukaan terlihat garis atau daerah asal retakan disebut *fan pattern* seperti pada Gambar 2.15 (b). Untuk hasil perambatan dan SEM, dapat terlihat jelas untuk retak yang melewati batas butir (*transgranular*) dan retak yang terjadi sepanjang batas butir (*intergranular*).



Gambar 2.17 (a) Skema Perambatan Retak yang Melewati Butir (*Transgranular*) (b) Hasil SEM dari Patah Secara Transgranular (Callister, 2007)

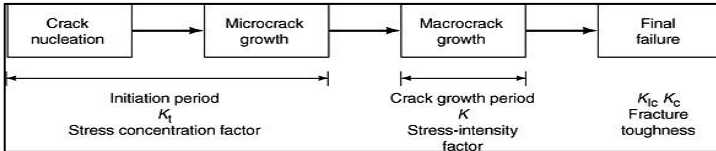
2.5.3 Mekanisme Pembentukan Patah Lelah

Kelelahan mengakibatkan terjadinya patah lelah. Patah lelah terjadi melalui tiga tahap yaitu tahap retak awal (*crack initiation*), tahap penjarangan retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis. Dan setelah retak lelah merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang tersisa yang belum retak dan akhirnya komponen akan patah (tahap *final failure*).

Menurut Schijve, terdapat 5 fase yang selama proses fatigue yaitu *Cyclic slip*, *Crack nucleation*, *Growth of microcrack*,



Growth of macrocrack, Final failure (ASM Handbook Committee Volume 19, 2002).



Gambar 2.18 Mekanisme Patah Lelah dan Faktornya (ASM Handbook Vol.19 *Fatigue and Fracture*, 1991)

2.6 Sensitisasi

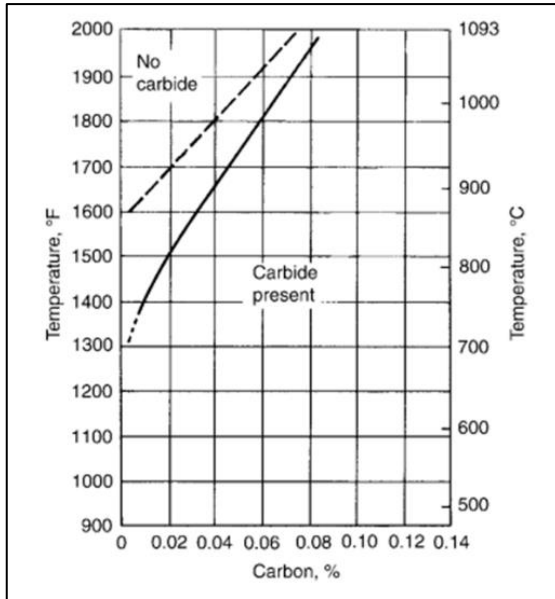
Sensitisasi adalah proses berlangsungnya presipitasi unsur karbon dan membentuk senyawa karbon karbida di batas butir baja tahan karat austenitic selama dioperasikan pada temperatur tinggi yaitu pada rentang 450°C hingga 850°C. Pemanasan pada temperatur sensitisasi menyebabkan atom-atom C posisi intertisi yang awalnya di dalam butir bebas berdifusi dan cenderung menuju ke batas butir. Namun, atom-atom Cr berbeda, pada posisi substitusi, atom-atom Cr tidak begitu bebas berdifusi selama baja dioperasikan pada temperatur tinggi. Atom-atom C yang berada di batas butir membentuk senyawa krom karbida (mayoritas senyawa $Cr_{23}C_6$). Berdasarkan ikatan kimia senyawa krom karbida ini, satu atom C mengikat hampir empat atom Cr, dan atom-atom C di batas butir mengikat atom-atom Cr disekitarnya. Akibatnya, di daerah sekitar batas butir, kandungan Cr menjadi berkurang. Kandungan Cr di antar butir turun hingga sampai kurang lebih 2%. (Saefudin, 2008).

Kelarutan karbon di austenit sekitar 0,006% pada temperatur kamar. Namun, baja tahan karat austenitik umumnya mengandung sekitar 0,05% karbon. Karena kromium memiliki afinitas tinggi untuk karbon, sehingga selalu ada kecenderungan yang kuat pembentukan karbida krom. Selama pendinginan normal yang dihadapi selama fabrikasi baja tahan karat (misal Pengelasan, *hot work* dll.), Karbida kromium dapat diendapkan,

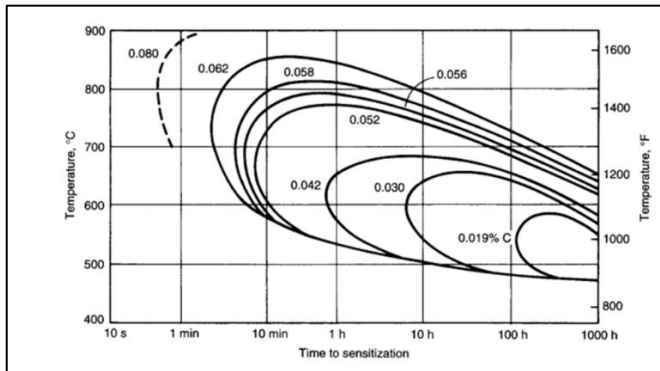


membuat baja rentan terhadap IGC (*Intergranular Corrosion*) dan IGSCC (*Intergranular Stress Corrosion Cracking*). Untuk alasan ini, baja tahan karat austenitik umumnya dikenai perlakuan larutan antara 1050 °C-1150°C yang membuat karbida serta beberapa fase intermetalik lainnya kembali pada kondisi larutan. Kondisi ini dipertahankan dengan pendinginan dari temperatur anil (1000 °C-1100 °C) hingga temperatur kamar memaksa unsur-unsur pembentukan karbida dan fasa antar logam untuk tetap berada dalam larutan padat dengan pendinginan cepat. (Parvathavarthini, 2002).

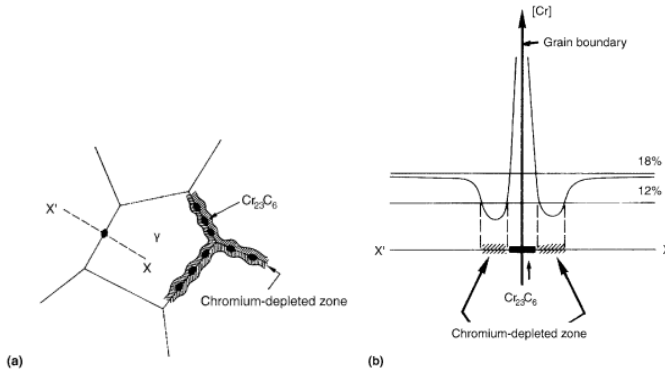
Diagram ekuilibrium untuk karbon dalam paduan 10%Ni 18%Cr ditunjukkan pada Gambar 2.18. Pada temperatur kamar, sangat sedikit karbon larut dalam austenit; Bahkan 0,03% pada grade L kebanyakan berada pada larutan jenuh. Tidak adanya karbida dalam baja tahan karat austenitik disebabkan oleh difusi karbon yang lambat dan difusi kromium yang lebih lambat di austenit. Pada tingkat karbon 0,06%, yang ditemukan pada kebanyakan 304, supersaturasi dicapai di bawah 850°C. Di bawah temperatur ini, supersaturasi meningkat secara eksponensial, sementara difusi menurun secara eksponensial. Hal ini menghasilkan tingkat presipitasi yang bervariasi dengan temperatur dan tingkat karbon seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.19 Pada temperatur ini, difusi batas butir jauh lebih cepat daripada difusi butir, dan batas butir memberikan lokasi nukleasi yang sangat baik, sehingga terjadi presipitasi sepanjang batas butir. Karena karbon berdifusi lebih cepat daripada kromium, karbon berdifusi dan bergabung dengan kromium secara in situ, menghabiskan batas butir kromium dalam larutan. (McGuire, 2008)



Gambar 2.19. Kelarutan Karbon pada 18-10 Baja Tahan Karat *Austenitic* (McGuire, 2008)



Gambar 2.20 Laju Presipitasi untuk Cr_{23}C_6 sebagai Fungsi Kandungan Karbon (McGuire, 2008)



Gambar 2.21 Penurunan Kadar Kromium pada Austenit di Sekitar Batas Butir Akibat Presipitasi Karbida (McGuire, 2008)

Gambar 2.20 menunjukkan bahwa penurunan kadar kromium lokal pada daerah batas butir bisa menjadi cukup rendah sehingga daerah sekitar batas butir tidak cukup kromium untuk menjadikan baja sebagai *stainless* dan tentunya ketahanan korosi jauh lebih rendah daripada daerah sekitarnya. Daerah ini, karena memiliki kadar kromium yang rendah memiliki austenit yang tidak stabil sehingga cukup rentan terhadap pembentukan martensit. (McGuire, 2008)

2.7 Korosi

Korosi merupakan proses degradasi sifat material disebabkan reaksi dengan lingkungannya. Korosi sebagai suatu reaksi elektrokimia yang memberikan kontribusi kerusakan fisik suatu material secara signifikan sehingga perlu perhatian untuk mencegah dan meminimalisasi kerugian yang timbul akibat efek korosi (Fontana & Greene, 1978). Jumlah logam dan paduannya merupakan fungsi dari lingkungan sehingga saling mempengaruhi kedua parameter tersebut antara lain lingkungan air tawar, air laut, tanah, air laut (Callister & Rethwisch, 2014)

Pendekatan korosi secara umum melibatkan sifat material antara lain sifat fisik, mekanik dan kimia. Pendekatan lainnya



juga mempertimbangkan struktur logam, sifat lingkungan sekitar dan reaksi antara antar permukaan logam dan lingkungan. Faktor-faktor pendekatan korosi yaitu:

- Logam. Komposisi, struktur atom, keheterogenan struktur secara mikroskopik dan makroskopik, tegangan (tarik, tekan dan siklus)
- Lingkungan. Sifat kimia, konsentrasi bahan reaktif dan pengotor, tekanan, temperatur, kecepatan dan lain-lain
- Antar muka logam/lingkungan. Kinetika oksidasi dan pelarutan logam, kinetika proses reduksi bahan di dalam larutan, lokasi produk korosi dan pertumbuhan film dan pelarutan film.

Mekanisme korosi tidak terlepas dari reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron merupakan hasil reaksi redoks (reduksi-oksidasi). (Gadang, 2008)

2.8 Penelitian Sebelumnya

Analisis kegagalan prematur pada material *mixing chamber* turbin gas dilakukan dengan studi korosi temperatur tinggi. Pendekatan dilakukan berdasarkan unsur – unsur yang dapat menyebabkan inisiasi pada korosi temperatur tinggi. Evaluasi dilakukan dengan meninjau bahan bakar, material dasar dan material pelindung, serta proses dan operasional dari turbin gas.

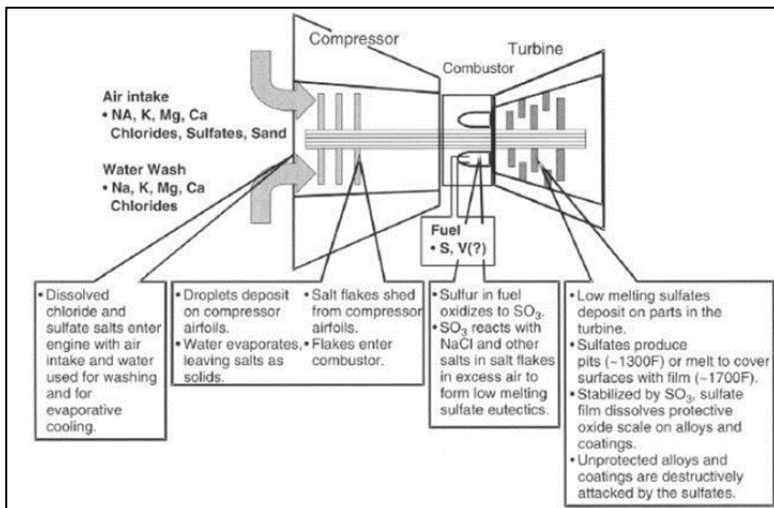
Turbin Gas Unit 4.2 di PLTG Muara Tawar yang digunakan sebagai pembangkit listrik dengan daya 143MW mengalami kerusakan pada ruang pembakaran dan daerah aliran panas '*Hot Gas Path*'. Ruang aliran gas panas '*Mixing chamber*' ini terbuat dari material 16Mo3/17Mn4 sesuai standar DIN 17155 dan/atau ASTM A204 Gr.B.

Bahan bakar solar yang digunakan pada mesin turbin gas terdapat senyawa sulfur, alkali dan vanadium yang merupakan sebagai unsur bersifat korosif. Unsur – unsur ini akan bereaksi



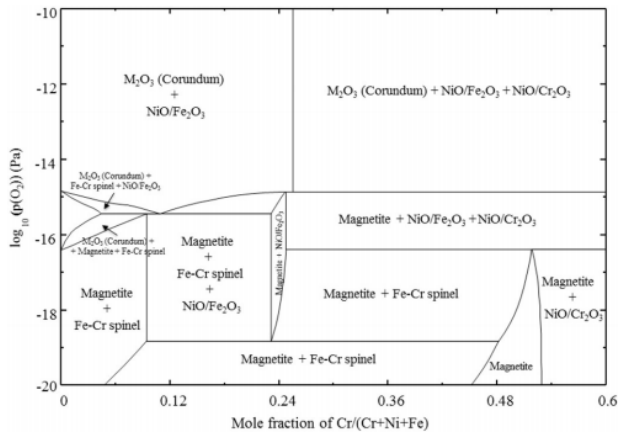
setelah pembakaran terjadi pada *combustion chamber* yang akan menghasilkan udara panas untuk menggerakkan turbin. Material dasar yang berupa *alloy steel molybdenum* hanya mampu digunakan hingga temperatur 500 - 550°C namun jika diberi perlindungan TBC mampu hingga 600 - 650°C. Mekanisme kegagalan diawali oleh terbentuknya senyawa vanadium oksida yang mampu mengikat itrium oksida pada TBC. Karakter pada TBC yang mengandung porositas 10 – 15% dapat menyebabkan senyawa vanadium oksida penetrasi dan merusak kestabilan. Kemudian korosi sumuran pada *mixing chamber* disebabkan oleh adanya sulfur oksida berupa SO_3 .

Operasional dari turbin gas atau *start - stop* dapat memberikan pengaruh *thermal shock* pada lapisan pelindung. Lapisan pelindung yang telah rusak kestabilannya akan mengalami *spalling* akibat jumlah *start - stop*. Untuk menjaga proses korosi temperatur tinggi pada turbin gas, maka bisa dilakukan proses seleksi material dan mereduksi pengotor pada bahan bahan bakar yang digunakan. (Candraditya, 2009)

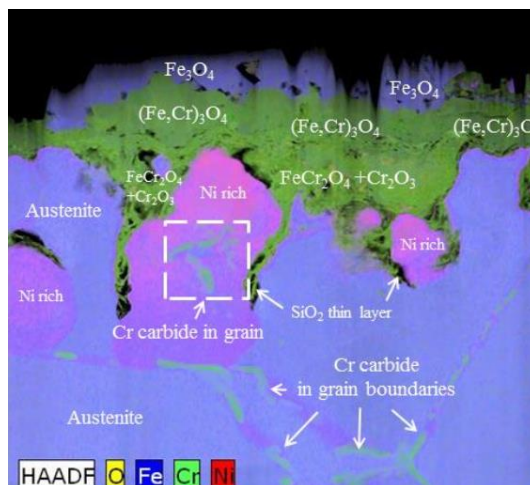


Gambar 2.22 Skema Proses Terjadinya *Hot Corrosion* pada Mesin Turbin Gas (Candraditya, 2009)

Dari Behnamian, 2017 Menyebutkan bahwa bentuk oksida dari stainless steel 310S menunjukan pada diagram fasa berikut



Gambar 2.23 Skema Proses Terjadinya *Hot Corrosion* pada Mesin Turbin Gas (Behnamian, 2017)



Gambar 2.24 Struktur Lapisan Oksida pada Stainless Steel 310S (Behnamian, 2017)

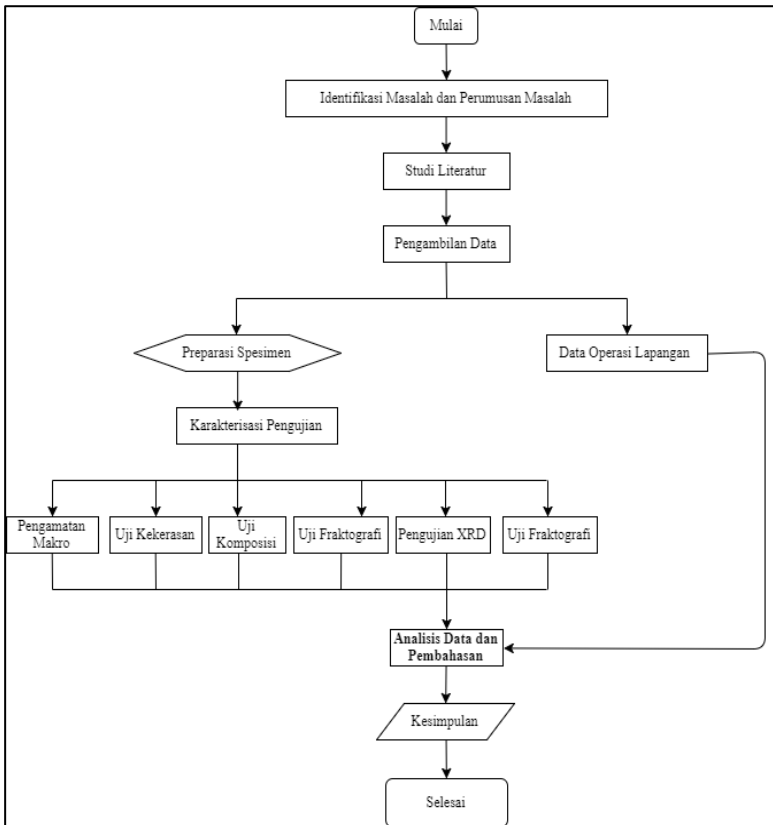


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

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

1. Studi Lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang akan diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponen Turbin Gas di PT. X, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. X yang ahli dibidangnya.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisis kegagalan khususnya kegagalan pada *seal strips* komponen turbin gas.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu: pengamatan material *seal strips* dan *ring segment* yang mengalami kegagalan dengan mikroskop stereo, pengamatan mikro dengan mikroskop optik, uji komposisi dengan menggunakan spektrometer dan XRF, uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan material seal strips

3.3 Bahan Penelitian

Pada bulan Desember 2017 ditemukan material *seal strips* dan *ring segment* liner pada turbin gas PT. XYZ yang diperlihatkan pada Gambar 3.2 (a) dan pada Gambar 3.2 (b) merupakan *seal strips* dalam kondisi belum dipasang dilepas.



Gambar 3.2 (a) Sistem *Ring Segment* pada Turbin Gas, (b) *Seal Strips*

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penggaris

Digunakan untuk mengukur spesimen uji.

2. *Hand Grinding*

Digunakan untuk memotong spesimen uji.



Gambar 3.3 Mesin *Hand Grinding*



3. Kamera Digital

Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan / keausan secara makro dan dokumentasi selama penelitian. Kamera yang digunakan adalah merk Canon dengan tipe kamera mirrorless seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kamera Digital

4. Mesin OES

Mesin OES (Optical Emission Spectroscopy) menggunakan alat Foundry-Master PRO untuk mengetahui komposisi kimia penyusun dari material *ring segment* dan *seal strips*.



Gambar 3.5 Mesin OES



5. Mesin Uji Kekerasan

Digunakan Universal Hardness Tester HBRV 187.5A untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji. Mesin uji kekerasan ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.6 *Universal Hardness Tester*

6. *Abrasive Paper SiC*

Digunakan amplas merk Fujistar untuk menghaluskan permukaan material saat preparasi pengujian struktur mikro dengan grade 60 hingga 2000.



Gambar 3.7 *Abrasive Paper*



7. Mesin Polish

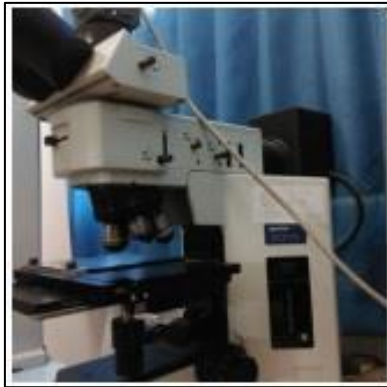
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.



Gambar 3.8 Mesin Polish

8. Mikroskop Optik

Digunakan untuk pengamatan struktur mikro.



Gambar 3.9 Mikroskop Optik

10 Mesin *X-Ray Diffractometer* (XRD)

Menggunakan alat *Pan Analytical* XRD untuk mendapatkan informasi terkait senyawa yang terbentuk setelah proses perlakuan panas yang diberikan pada spesimen uji. Mesin *X-Ray Diffractometer* ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.10 Mesin Pengujian XRD

11. Mesin *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui informasi yang terdapat pada permukaan patahan suatu material. Pengujian ini dilakukan di Departemen Teknik Material dengan alat yang ditunjukkan pada gambar dibawah.



Gambar 3.11 Mesin Pengujian SEM



3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data-data perusahaan yang berkaitan dengan Turbin Gas PT.XYZ sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

1. Data operasi
2. Spesifikasi material yang seharusnya digunakan.
3. *Maintenance record*

3.5.2 Tahapan Penelitian

Tahap dalam pengujian adalah sebagai berikut. Pemotongan benda uji dilakukan untuk mendapatkan bagian plat dengan ukuran yang lebih kecil sesuai dengan kebutuhan masing-masing pengujian pada proses penelitian. Proses pemotongan ini dilakukan dengan menggunakan mesin potong.

a. Pengujian Spektrometri

Pengujian spektrometri bertujuan untuk mengetahui persentase komposisi kimia yang terkandung dalam benda uji. *Optical Emission Spectrometer* adalah salah satu teknik spektroskopi yang meneliti panjang gelombang foton yang dipancarkan oleh atom atau molekul selama transisi dari keadaan tereksitasi ke keadaan energi yang lebih rendah. Setiap elemen memancarkan karakteristik panjang gelombangnya tersendiri sesuai dengan struktur elektronnya. Dengan mengamati panjang gelombang tersebut, komposisi unsur dari sebuah material dapat ditentukan. Adapun prosedur pengujian spektrometri adalah:

1. Tahap preparasi benda uji
Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan gerinda perata jika permukaan belum rata.
2. Tahap pengujian



Memasang benda uji pada ruang penembakan.

3. Tahap pengambilan data.

b. Pengujian Makro Visual

Pengujian makro visual ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan benda uji yang telah melalui pengujian sebelumnya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100x, 500x. Adapun prosedur pengujian makro visual ini adalah:

1. Menyiapkan benda uji yang telah direndam dalam larutan elektrolit.
2. Meletakkan benda uji di atas holder mikroskop untuk memulai pengamatan. Mengatur perbesaran hingga mendapatkan resolusi gambar yang jelas.
3. Mengambil gambar morfologi permukaan masing-masing benda uji.
4. Membandingkan hasil morfologi semua benda uji.

c. Pengujian SEM-EDX

Pengujian SEM-EDX dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan korosi dan retakan serta unsur yang terbentuk di daerah korosi dan retakan. Adapun tahapan melakukan uji SEM-EDX adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan benda uji yang telah dilakukan uji imersi.
2. Benda uji diletakkan pada holder agar pengamatan SEM-EDX sesuai yang diinginkan.
3. Melakukan *scanning* pada benda uji sehingga didapatkan morfologi dan unsur yang terdapat pada permukaan benda uji.
4. Data tampil pada komputer berupa gambar dan grafik yang menyatakan unsur
5. Pengambilan data.



d. Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa atau senyawa yang terbentuk setelah proses perlakuan panas. Pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi fasa dalam struktur mikro setelah dilakukan proses perlakuan panas. Adapun parameter dari pengujian XRD yang digunakan adalah sebagai berikut:

Sinar radiasi: Cu-K α

2 θ range: 10 – 90 derajat

Scan speed: 2 derajat/menit

e. Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material uji yang mengalami kegagalan. Selain itu juga untuk mengetahui perbedaan struktur mikro material uji sebelum dan setelah dilakukan perlakuan panas. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik Olympus BX51M-RF di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material FT-ITS.

f. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indenter bola baja, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan Universal Hardness Tester HBRV 187.5A di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS. Sebelumnya, sampel yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata untuk menghindari cacat indentasi.

Pengujian Kekerasan dilakukan pada permukaan spesimen yang telah dilakukan proses perlakuan panas pada setiap tahapnya, yaitu masing-masing setelah dilakukan proses



hardening dan quenching serta setelah proses tempering, serta pada material new liner dan failure liner. Letak spesimen pengujian kekerasan pada material *seal strips* dan *anti rotation*.

Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 3 titik dengan ukuran spesimen 10 mm x 10 mm pada setiap spesimennya. Indentasi dilakukan secara cross sectional dengan beban sebesar 100 kgf.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 *Record Seal Strips* PT. XYZ

Dalam cara kerja mesin turbin gas ini terdapat komponen yang mendukung kinerja turbin agar berjalan sesuai operasional, salah satunya adalah *ring segment* yang berfungsi sebagai penahan aliran fluida agar mengalir secara beraturan setelah dari proses pembakaran. *Ring segment* memerlukan komponen pendukung agar penempatannya sesuai dengan desain awal, salah satunya yaitu *seal strips*. Pada penelitian ini *seal strips* yang akan diteliti mengalami kegagalan yang berupa retakan yang menyebabkan patahan sehingga *seal strips* dapat dikatakan mengalami kegagalan. Tabel 4.1 menjelaskan data operasi turbin gas Tabel 4.2 menjelaskan fluida yang mengalir dalam turbin gas.

Tabel 4.1 Data Operasional Turbin Gas

Gt speed (rpm)	3000.5
Action load (mw)	71.13
Inlet temperature (°c)	30.10
Out temperature (°c)	380.66
Exhant temperature (°c)	497.09
Time operations (hour)	±38007

Tabel 4.2 Komposisi Bahan Bakar Minyak yang Digunakan

Test	Unit	Metode	Result
Density @ 15°C	Kg/l	ASTM D-1298	0.9531
Viscosity Kinematic at 37.78°C	cSt	ASTM D-445	14334
Pour Point	°C	ASTM D-97	-6.18
Gross Caloric Value	KJ/kg	ASTM D-240	19865.81
Sulfur Content	%wt	ASTM D-129	0.29



Sediment	% wt	ASTM-D 473	0.11
Water content	% vol	ASTM D-95	0.28
Vanadium	Ppm	ASTM D-6376	14
Aluminium + Silicon	ppm	ASTM D-6376	1

Tabel 4.3 Komposisi Bahan Bakar Gas yang Digunakan

Unsur	Simbol	% Mole	Error
Methane	CH ₄	95.55	± 0.3804
Ethane	C ₂ H ₆	2.42	± 0.0125
Propane	C ₃ H ₈	0.90	± 0.0080
n-Butane	N-C ₄ H ₁₀	0.15	± 0.0023
Isobutane	1- C ₄ H ₁₀	0.16	± 0.0017
n-Pentane	n-C ₅ H ₁₂	0.05	± 0.0045
Isopentane	1-C ₅ H ₁₂	0.15	± 0.0982
Hexane Plus	C ₆ H ₁₄ ⁺	0.04	± 0.0054
Nitrogen	N ₂	0.47	± 0.0216
Carbon Dioxide	CO ₂	0.10	± 0.0011
Oxygen	O ₂	0.00	± 0.000

4.1.2 Hasil pengujian Komposisi Kimia Material *Seals Strips*

Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan metode pengujian *Optical Emission Spectroscopy* dengan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.4. Berdasarkan ASTM A 240, kadar unsur yang didapatkan dari pengujian OES dalam material *seal strips* dapat disimpulkan sesuai dengan standar AISI 310S yang ditampilkan pada tabel 2.1.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Komposisi Kimia pada *Seal Strips*

Unsur	Kadar (%)
Fe	33.4
Ni	13.3
Cr	11.5
Cu	2.68
N	1.00
C	0.0347



Si	0.538
Mn	0.173
Mo	0.0553
Al	0.0115
Co	0.0944
P	0.0124
S	0.0092
Nb	0.0437
Ti	0.0049
V	0.0681
W	0.0468
Pb	0.0104
Sn	0.015
B	0.0055
Ca	0.002
Ta	0.0046
Sb	0.100
Se	0.005

4.1.3 Hasil Pengamatan Makroskopik

Tampak pada gambar-gambar di bawah ini menunjukkan kegagalan *seal strips* komponen yang terjadi di PT. XYZ.



Gambar 4.1 Pengamatan pada Seal Strips Kode 2 yang Mengalami Kegagalan



Gambar 4.2 Pengamatan pada Seal Strips Kode 5 yang Mengalami Kegagalan



Gambar 4.3 Pengamatan pada Seal Strips Kode 28 yang Mengalami Kegagalan



Gambar 4.4 Pengamatan pada Seal Strips Kode 31 yang Mengalami Kegagalan



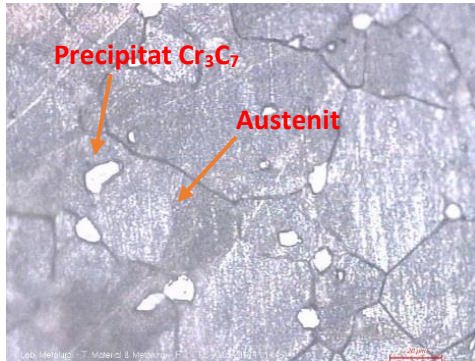
Dari gambar 4.1 menunjukkan bahwa terjadinya perubahan warna dan dimensi pada permukaan pada *seal strips* kode 2. Hal yang sama terjadi pada *seal strips* kode 5 yang mengalami perubahan warna dan dimensi pada permukaan yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Gambar 4.3 menunjukkan *seal strips* kode 28 yang mengalami retakan namun belum mengalami patahan. Retakan ini berasal dari tepi luar dan menjalar 180° dari sumber retakan. Peristiwa ini juga diiringi dengan adanya perubahan warna dan perubahan dimensi pada permukaan *seal strips* kode 28. Sedangkan pada gambar 4.4 menunjukkan adanya *seal strips* dengan kode 31 yang mengalami *fracture* yang diiringi dengan pengurangan dimensi pada permukaan dan perubahan warna pada permukaan. Setiap komponen hampir ditemui dimensi tepi yang tidak regular yang mengindikasikan komponen mengalami pemanasan berlebih.

4.1.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Material *Seal Strips*

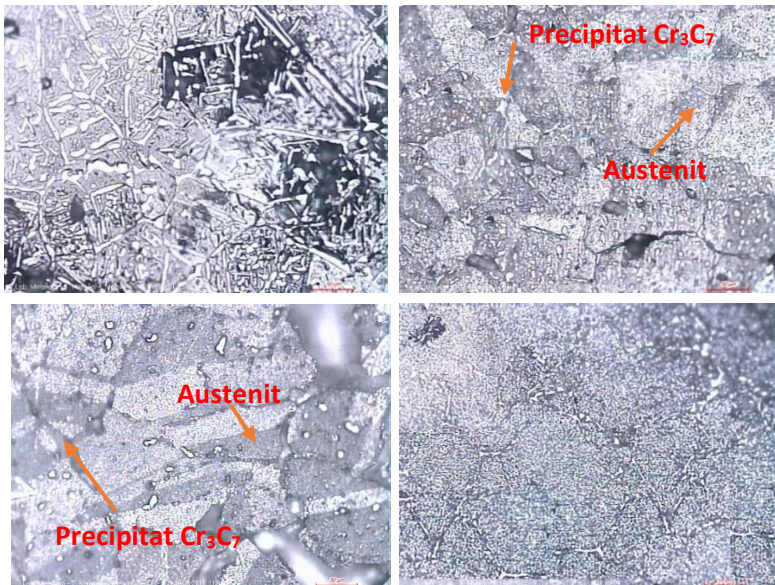
Pengamatan struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik. Pengamatan ini berguna untuk melengkapi karakterisasi dari material yang digunakan untuk *seal strips* tersebut. Pengamatan struktur mikro dilakukan di daerah yang dekat dengan terjadinya *failure* seperti terjadinya pengurangan dimensi, retak dan patah. Selain daerah tersebut, *seal strips* kode 1 yang relatif sedikit mengalami *failure* juga dilakukan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah ada perubahan yang terjadi pada struktur mikro pada dua daerah tersebut. Pada hasil pengamatan struktur mikro, fasa yang diperoleh *single phase* yaitu fasa austenit. Hal ini sesuai dengan diagram fasa *austenitic stainless steel* dan penelitian yang dilakukan oleh Ji, 2014 yang menyebutkan bahwa *stainless steel* 310s merupakan jenis *austenitic stainless steel* yang jarang ditemukan memiliki lebih dari satu fasa karena pada dasarnya *stainless steel* 310s tidak mengalami *strain-induced* ke transformasi martensit namun membetuk struktur *twinning mechanics* pada saat pengerjaan dingin. (Ji, 2014). Ditemukannya karbida pada gambar struktur mikro mengindikasikan bahwa



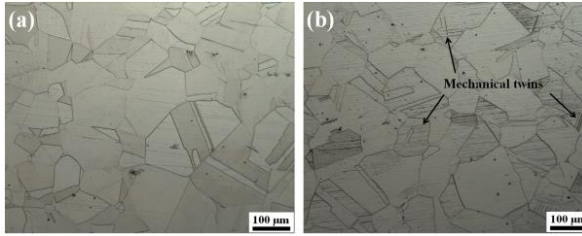
material bekerja pada temperature di atas batas temperature operasi.



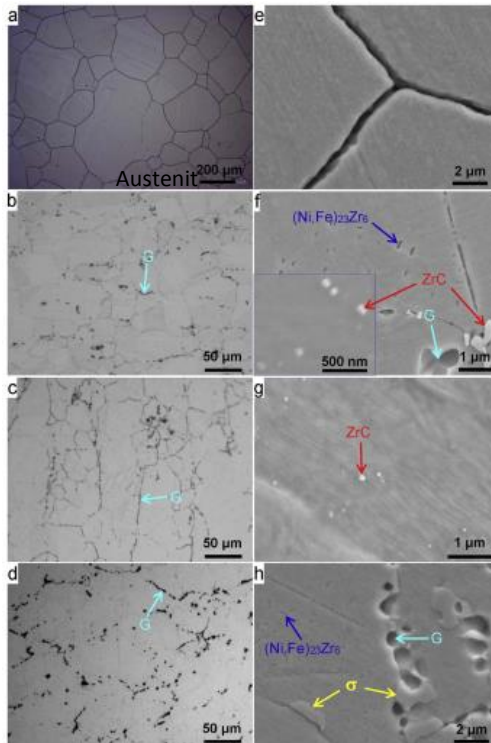
Gambar 4.5 Struktur Mikro *Seal Strips* SS 310S Kode 1



Gambar 4.6 Struktur mikro *Seal Strips* SS 310S (a) Kode 2 (b) Kode 5 (c) Kode 28 (d) Kode 31



Gambar 4.7 Pengamatan Struktur Mikro SS 310S dengan Metode Pengujian Mikroskop Optik Etsa HCl 50 ml, HNO₃ 25 ml dan H₂O 25 ml (Wen, 2017)

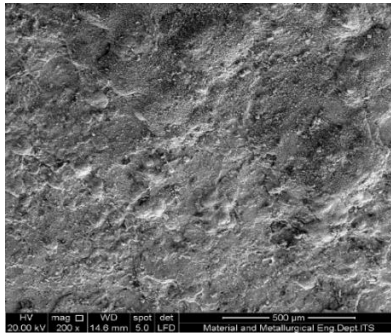


Gambar 4.8 Pengamatan Struktur Mikro Stainless Steel 310s dengan Metode Pengujian SEM (Wen, 2017)



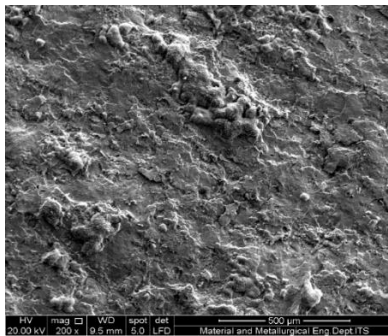
4.1.5 Hasil Pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Sama halnya seperti pengamatan struktur mikro, pengamatan SEM ini dilakukan juga untuk melengkapi karakterisasi pada bagian permukaan dari material yang digunakan sebagai *seal strips*. Gambar 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, dan 4.17 merupakan hasil pengamatan SEM pada permukaan *seal strips* dengan masing-masing kode yang telah diberikan.



Gambar 4.9 Pengamatan Morfologi *Seal Strips* Kode 1
Perbesaran 200x

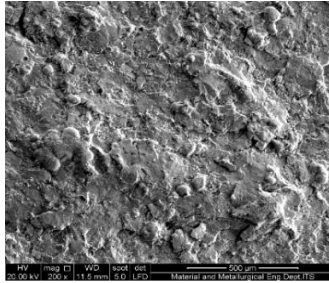
Pada hasil pengamatan SEM dalam gambar 4.12, terlihat jelas adanya pengasaran permukaan dan terbentuknya *scaling* serta *flake*.



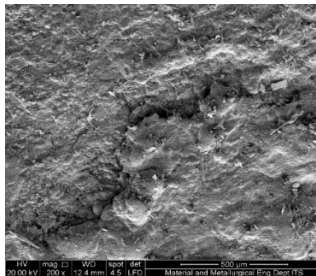
Gambar 4.10 Pengamatan Morfologi *Seal Strips* Kode 2
Perbesaran 200x



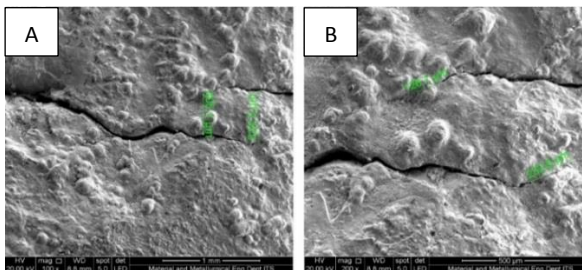
Pada hasil pengamatan SEM dalam gambar 4.13, juga terlihat jelas adanya pengasaraan permukaan dan terbentuknya *scaling* serta *flake* dari permukaan material *seal strips*.



Gambar 4.11 Pengamatan Morfologi Seal Strips Kode 3
Perbesaran 200x



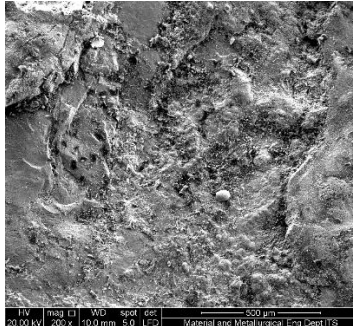
Gambar 4.12 Pengamatan Morfologi Seal Strips Kode 5
Perbesaran 200x



Gambar 4.13 Pengamatan Morfologi Seal Strips Kode 28
(A) Perbesaran 100x (B) Perbesaran 200x



Seal strips kode 28 mengalami retakan yang diawali dengan adanya pitting corrosion yang kemudian diperparah dengan adanya beban mekanik.



Gambar 4.14 Pengamatan Morfologi Seal Strips Kode 29
Perbesaran 200x

4.1.6 Hasil Pengujian Kekerasan Material *Seal Strips*

Pengujian kekerasan pada material *seal strips* dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material tersebut. Pengujian menggunakan 6 dari 9 sampel yaitu sampel 1, 3, 5, 28, 29, dan 31. Pengujian dilakukan pada daerah yang dekat (rentang 0 hingga 1 cm) dari daerah yang mengalami *failure*. Daerah ini di beri nama titik 1. Sedangkan titik 2 merupakan daerah yang agak jauh dari *failure* (rentang 1 cm hingga 2 cm dari kegagalan). Dan daerah yang terakhir pada daerah yang jauh dari permukaan yang mengalami kegagalan (rentang 2 cm hingga 3 cm) yang diberi nama daerah titik 3. Pengujian kekerasan dilakukan dengan jenis *Vickers*.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kekerasan *Seal Strips*

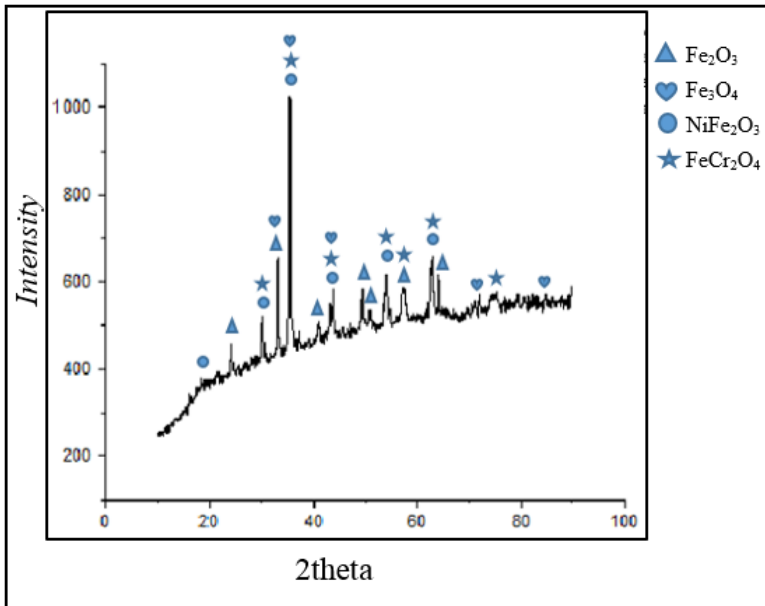
Sampel	Titik			Rata-rata
	1	2	3	
Seal Strips 1	87	90	91	89.33
Seal Strips 3	86	88	82	85.33
Seal Strips 5	92	83	84	86.33



Seal Strips 28	81	77	80	79.33
Seal Strips 29	83	79	82	81.33
Seal Strips 31	84	85	84	84.33
Total Average				

4.1.7 Hasil Pengujian XRD pada Seal Strips

Pada penelitian ini pengujian XRD dilakukan untuk melihat senyawa yang terkandung dalam deposit di permukaan seal strips.



Gambar 4.15 Grafik Hasil Uji XRD Seal Strips Kode 31

Tabel 4.6 Hasil Matching XRD dengan Aplikasi HighScorePlus

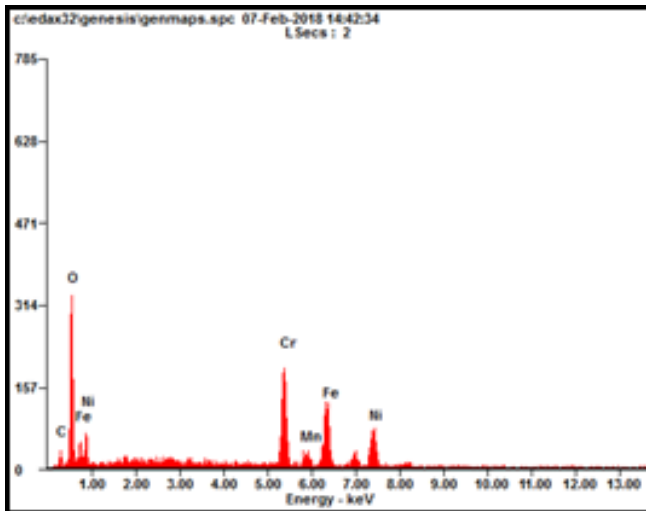
Senyawa	Ref. Number	Score
Fe_2O_3	01-089-2810	50
NiFe_2O_4	00-054-0964	31
Fe_3O_4	96-900-5814	41
FeCr_2O_4	00-003-0864	30



4.1.8 Hasil Pengujian EDX pada *Seal Strips*

Pengujian EDX dilakukan untuk mengetahui unsur yang berada di permukaan material *seal strips*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui komposisi deposit yang berada di permukaan material *seal strips*.

a. Kode 1



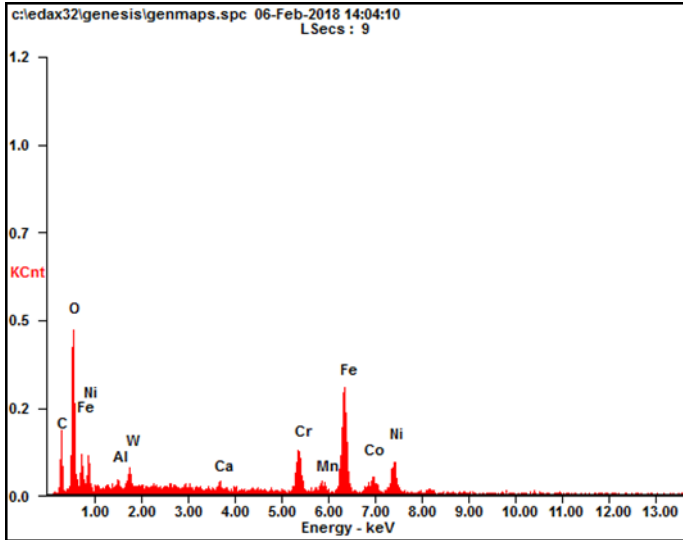
Gambar 4.16 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 1

Tabel 4.7 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 1

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	04.07	11.30
<i>OK</i>	20.76	43.33
<i>CrK</i>	24.64	15.82
<i>MnK</i>	01.13	00.69
<i>FeK</i>	25.97	15.53
<i>NiK</i>	23.43	13.33
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



b. Kode 2



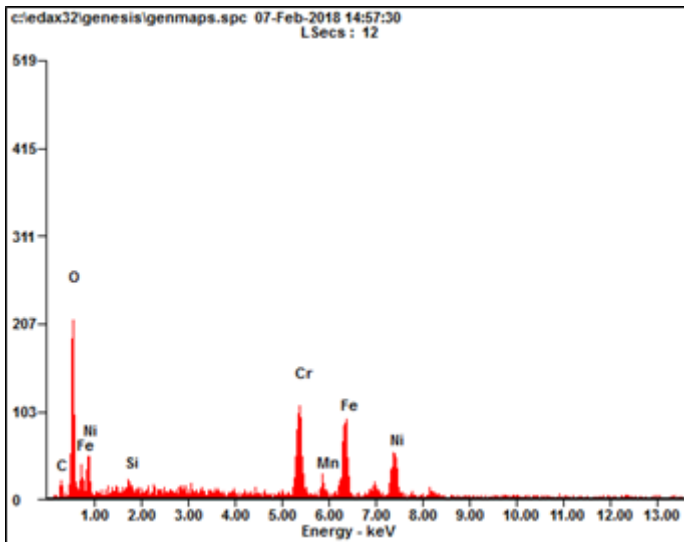
Gambar 4.17 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 2

Tabel 4.8 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 2

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	09.07	23.29
<i>OK</i>	20.08	38.70
<i>AlK</i>	00.86	00.99
<i>WM</i>	04.48	00.75
<i>CaK</i>	01.12	00.86
<i>CrK</i>	09.58	05.68
<i>MnK</i>	01.74	00.98
<i>FeK</i>	32.72	18.07
<i>CoK</i>	03.60	01.88
<i>NiK</i>	16.75	08.80
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



c. Kode 3



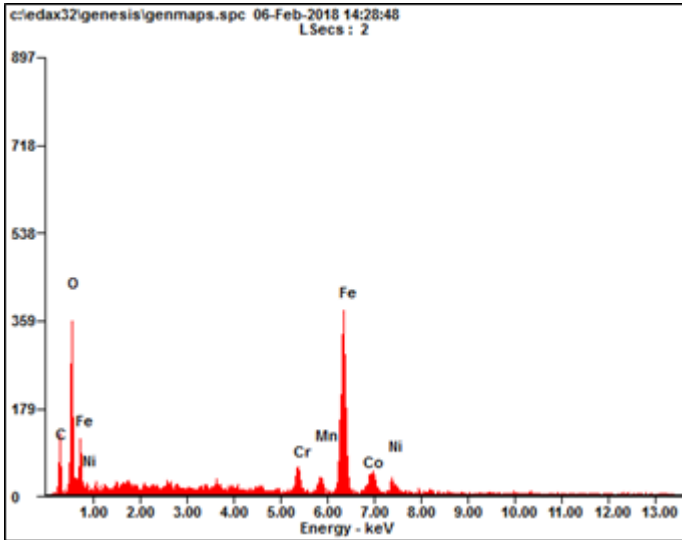
Gambar 4.18 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 3

Tabel 4.9 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 3

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	03.02	08.59
<i>OK</i>	20.35	43.46
<i>SiK</i>	01.24	01.51
<i>CrK</i>	22.64	14.88
<i>MnK</i>	01.36	00.85
<i>FeK</i>	26.62	16.29
<i>NiK</i>	24.76	14.42
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



d. Kode 5



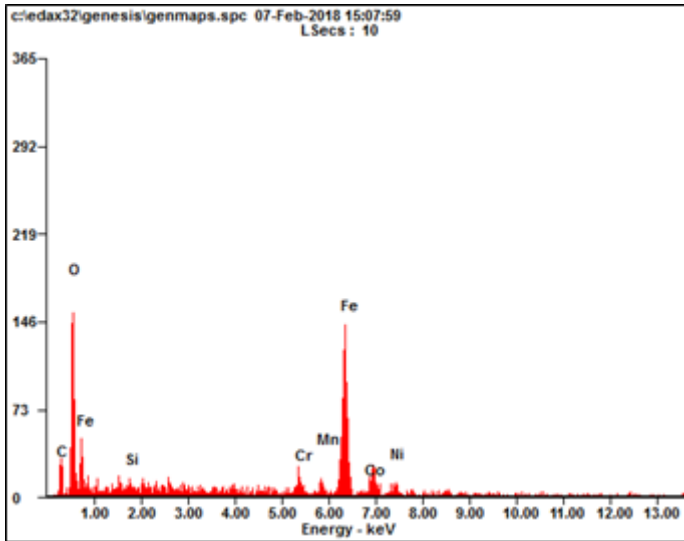
Gambar 4.19 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 5

Tabel 4.10 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 5

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	09.10	23.66
<i>OK</i>	18.42	35.94
<i>CrK</i>	04.48	02.69
<i>MnK</i>	03.46	01.97
<i>FeK</i>	52.83	29.53
<i>CoK</i>	04.46	02.36
<i>NiK</i>	07.25	03.85
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



e. kode 28



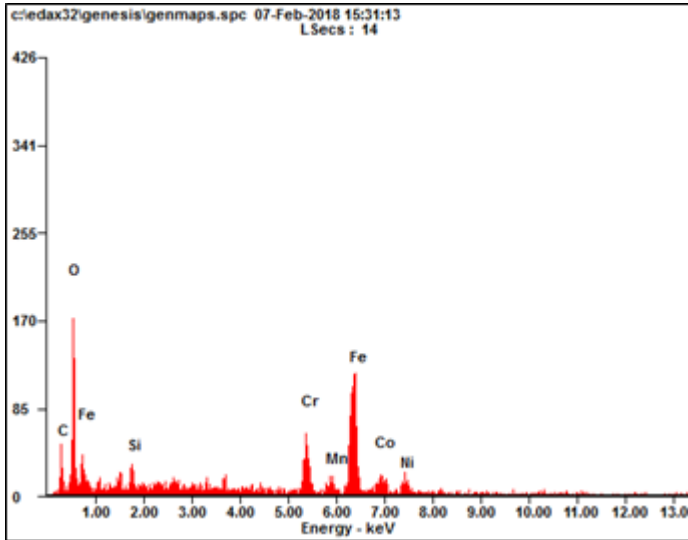
Gambar 4.20 Hasil Pengujian EDX Seal Strips Kode 28

Tabel 4.11 Hasil Pengujian EDX Seal Strips Kode 28

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	07.12	17.93
<i>OK</i>	23.22	43.91
<i>SiK</i>	00.93	01.00
<i>CrK</i>	04.57	02.66
<i>MnK</i>	03.09	01.70
<i>FeK</i>	50.76	27.49
<i>CoK</i>	05.06	02.60
<i>NiK</i>	05.27	02.71
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



f. Kode 29



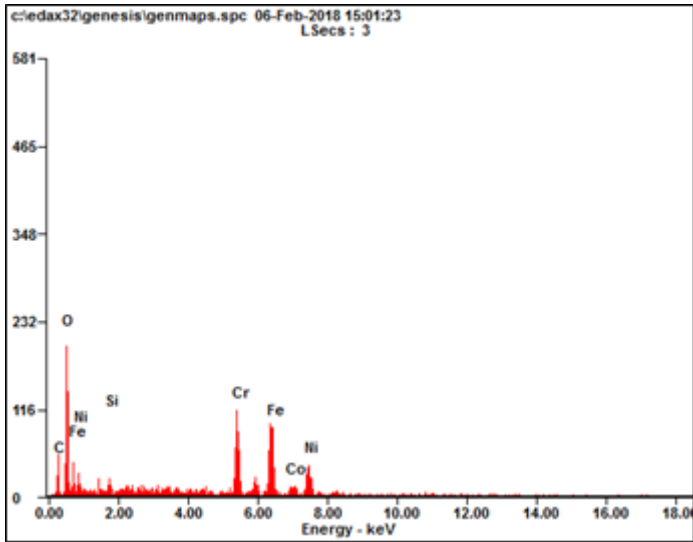
Gambar 4.21 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 29

Tabel 4.12 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 29

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	09.82	23.97
<i>OK</i>	20.80	38.11
<i>SiK</i>	02.63	02.74
<i>CrK</i>	12.48	07.04
<i>MnK</i>	02.02	01.08
<i>FeK</i>	38.43	20.17
<i>CoK</i>	04.97	02.47
<i>NiK</i>	08.84	04.41
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



g. Kode 31



Gambar 4.22 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 31

Tabel 4.13 Hasil Pengujian EDX *Seal Strips* Kode 31

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	07.39	19.22
<i>OK</i>	19.80	38.68
<i>SiK</i>	01.99	02.21
<i>CrK</i>	20.22	12.15
<i>FeK</i>	29.44	16.48
<i>CoK</i>	02.09	01.11
<i>NiK</i>	19.08	10.16
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil uji komposisi kimia yang dilakukan menggunakan metode OES, komposisi kimia dari material *seal strips* memiliki kesesuaian dengan komposisi kimia dari AISI 310S dengan yang telah ditunjukkan pada tabel 4.4. AISI 310S termasuk dalam *austenitic stainless steel* yang mana material tersebut banyak digunakan dalam komponen turbin gas. Material *seal strips* yang digunakan pada penyambung *ring segment* sudah sesuai dengan ASTM A 240 tentang penggunaan material dalam turbin gas. Kekerasan yang dimiliki oleh *seal strips* 310S sesuai dengan *specific behavior* yang tercatat dalam ASTM A 240. Kegagalan yang terjadi bukan karena kesalahan pemilihan material namun bisa terjadi karena kondisi operasi yang berlebihan, kesalahan produksi, pemeriksaan yang kurang baik, kesalahan dalam pemasangan material maupun penggunaan alat dan bahan pendukung yang tidak sesuai standar. (Brooks, 2002).

Seal strips menerima pembebanan secara terus menerus untuk tetap menahan *ring segment* tetap pada posisi yang seharusnya. Pada *ring segment* pun juga menerima pembebanan secara terus menerus karena dari cara kerjanya yaitu menahan beban fluida yang mengalir secara terus-menerus dari hasil pembakaran sebelumnya untuk menjaga aliran fluida tetap stabil. Material *seal strips* memiliki dimensi dengan panjang 120 cm, lebar 18 mm dan tinggi 3 mm. Material *seal strips* harus menahan beban *ring segment* dengan dimensi panjang 130mm, lebar 120mm dan lebar 40mm. Pada susunan dalam turbin gas, material *ring segment* disusun sebanyak 60 buah sehingga jumlah susunan material *seal strips* juga berjumlah 60 buah.

Pada pengamatan makrostruktur, terlihat bahwa material *seal strips* yang mengalami perubahan perubahan dimensi. Gambar 4.3 menunjukkan adanya retakan pada komponen material *seals trips* kode 28 serta *seal strips* kode 31 yang mengalami *fracture*. Hal ini dapat dikarenakan material tersebut mengalami



pembebanan secara terus-menerus dari material *ring segment* serta beban korosi yang dialami oleh material *seal strips* tersebut. Patahan diakibatkan pembebanan lanjut dari *ring segment* yang menerima beban kejut sehingga mengalami *fracture*. Terlihat pada seluruh sampel uji mengalami pengelupasan lapisan permukaan material atau disebut dengan *scaling* dan pengerakan hingga timbul deposit. Pengamatan ini dilakukan dengan metode pengujian SEM. Selain itu retakan yang terjadi karena adanya *corrosion* yang menjadi takikan atau pemusatan beban mekanik. Retakan tersebut dimulai dari area awal retak (*initiation crack*) yang kemudian terjadi perambatan retak (*propagation crack*).

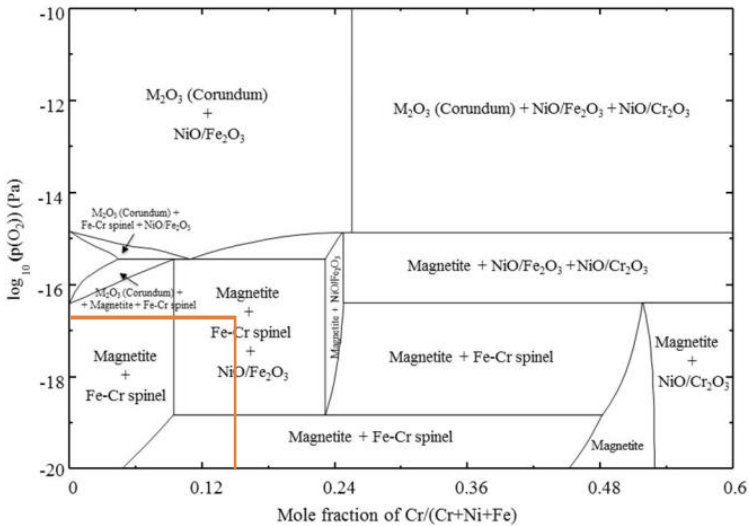
Dari hasil pengamatan, struktur material *seal strips* termasuk baja tahan karat austenitik. Seri *stainless steel 310S* baja tahan karat adalah grup baja tahan karat austenitik dengan komposisi dalam kisaran: 10–15% Ni dan 10-15% Cr. Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui fasa dari material seal strips. Hasil dari observasi menunjukkan *seal strips* memiliki fasa *full austenite*. Terlihat secara signifikan dari struktur mikro yaitu terdapat presipitat. Menurut penelitian Wen, 2017 munculnya karbida dikarenakan adanya pemanasan berlebih dengan waktu yang lama. Karbida muncul pada temperatur 699,85°C dengan tempo 50 jam. Namun menurut (Behnamian, 2016) terdapatnya dimensi sisi *seal strips* yang tidak regular mendakan adanya pemanasan berlebih dengan tempo yang relatif lama. *Data record* dari turbin gas yang beroperasi selama ± 38007 jam atau ± 4 tahun menjadi salah satu faktor terdapatnya karbida pada saat pengamatan metalografi.

Pada hasil pengujian SEM yang dilakukan, terlihat material *seal strips* mengalami *scaling* yang pada permukaan dan membentuk seperti kawah. Hal tersebut dapat dikarenakan goresan sehingga memungkinkan terjadinya adanya takikan beban pada material *seal strips*. Selain itu pada *seal strips* kode 28 terjadi pernjalaran retak dari luar yang merambat ke dalam. Pada pengamatan dengan



metode SEM terlihat bahwa pada semua permukaan material *seal strips* juga terdapat deposit yang menempel di permukaan. Hal ini dapat dikarenakan tidak rata permukaan material dan beban lingkungan maupun beban fluida yang menyebabkan beberapa bagian permukaan yang terkelupas dan kehilangan dimensi material (penipisan). Pembebanan berulang dan terus menerus yang dialami oleh komponen akan menyebabkan retak yang terbentuk akan mudah menjalar hingga akhirnya mencapai dimensi yang cukup signifikan untuk menyebabkan komponen patah (Sutowo, 2014).

Selanjutnya deposit diidentifikasi dengan metode pengujian XRD, material *seal strips* didapatkan beberapa deposit-deposit antara lain yaitu Fe_2O_3 (Reff number 01-089-2810) dengan score 50, NiFe_2O_3 (reff number 00-006-0532) dengan score 31, Fe_3O_4 (reff number 96-900-4) score 30, FeCr_2O_4 (reff number 00-003-0864) dengan score 30 dan NiFe_2O_4 (reff number 01-087-2337) dengan score 38. Pada pengujian XRD ini menggunakan aplikasi HighScore Plus untuk mendapatkan data dari deposit-deposit tersebut. Untuk klarifikasi lebih lanjut, dilakukan pengujian EDX untuk melihat komposisi unsur yang berada di permukaan material *seal strips*. Terlihat bahwa unsur O pada permukaan material *seal strips* yang dominan. Hal ini dibuktikan dengan persentase O yang tinggi pada setiap kode *seal strips* di hasil pengujian EDX yang menunjukkan adanya oksidasi.



Gambar 4.23 Perkiraan Deposit Melalui Diagram Fasa Fe-Cr-O-Ni (Behnamian, 2016)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisis kegagalan ini adalah:

1. Berdasarkan penelitian, faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan yaitu rusaknya lapisan pasif pada material *seal strips* karena erosi yang diakibatkan oleh fluida yang berada pada turbin gas sehingga memicu terjadinya korosi pada *seal strips*. Korosi menjadi inisiasi retakan dan patahan. Ditemukannya karbida dan permukaan *seal strips* yang *irregular* menunjukkan adanya kesalahan dalam lingkungan operasi.
2. Mekanisme terjadinya kegagalan yaitu seal strips mengalami oksidasi sehingga mengalami pengikisan dan penipisan pada permukaan *seal strips*. Terjadinya pengikisan ini mengakibatkan adanya takikan sehingga material yang diberikan beban sebesar desain awal akan mengalami *fracture*.
3. Hal yang perlu dilakukan agar tidak terjadi kegagalan yaitu dengan melakukan pengecekan dan *maintenance* secara berkala, memperhatikan jalannya pengoperasian agar tidak terdapat kesalahan lingkungan dan terjadinya kegagalan mekanik. Peninjauan dan pengecekan secara berkala bahan bakar yang digunakan.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah:

1. Pemotongan sebaiknya dikakukan dengan metode *wirecut* agar tidak terjadi perubahan fasa saat pengamatan metalografi.



2. Proses pengetsaan yang teliti agar gambar hasil metalo terlihat jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- , 1991. *ASM Handbook Vol. 11 Failure Analysis*. USA: ASM International.
- Aini, N., 2016. *Perilaku Korosi Baja AISI 1021 dan AISI 304 di Berbagai Lingkungan Asam*. Surabaya: ITS Surabaya.
- ASTM Committee, 2004. *Standard Specification for Heat-Resisting Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels No. A 240/A 240M - 00a*. s.l.:ASTM International.
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Behnamian, Yashar. et. al. 2016. *Characterization of Oxide Scales Grown on Alloy 310S Stainless Steel after Long Term Exposure to Supercritical Water at 500 °C*. Kanada
- Bordenet, B.M.E., *Dissertation: High Temperature Corrosion in Gas Turbin Thermodynamic Modelling and Experimental Results*, Technischen Hochschule Aachen. (2004).
- Boyce, P. Meherwan, *Gas Turbine Engineering Handbook* (3rd ed.). Houston: Gulf Professional Publishing.
- Callister, W. D. & Rethwisch, D. G., 2014. *Material Science and Engineering*. 9th ed. Danver: John Wiley & Sons Inc.
- Candraditya, B. 2009. *Analisa Kegagalan Pada Material Mixing Chamber Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Gas di PLN Muara Tawar*. Universitas Indonesia.
- Fontana & Greene, 1978. *Corrosion Engineering*. s.l.:Mc Graw Hill.
- Gadang, P., 2008. *Korosi Retak Tegang Material Stainless Steel AISI 304 di Lingkungan MgCl₂*. Depok: Researchgate.

- Ji, Hyunju, et. al. 2014. *The Effect of Pre-strain on Hydrogen Embrittlement in 310S Stainless Steel*. Seoul. Republic of Korea
- Kuwabara, et. al. United States Patent no. US 6,270,311 BI. USA
- McGuire, M., 2008. *Stainless Steels for Design Engineers*. 1st ed. Ohio: ASM International.
- Nishida, Shin-ichi.1992. *Failure Analysis in Engineering Application*. Jordan Hill. Oxford. Butterworth-Heinemann Ltd.
- Parvathavarthini, N., 2002. *Sensitization and Testing for Intergranular Corrosion*. In: H. Khatak & B. Raj, eds. *Corrosion of Austenitic Stainless Steels*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp. 117-138.
- R. Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill.
- Saefudin, 2008. *Pengaruh Suhu Pemanasan Terhadap Sensitasi pada Baja Stainless Steel 304*. *Metalogi*, 23(2).
- Suherman, W., 1999. *Ilmu Logam 2*. Surabaya: ITS Press.
- Sutowo, Cahya dkk. 2014. *Analisa Kegagalan pada Poros Baja Karbon S45C Aplikasi Komponen As Sink Roll*. Tangerang: Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita. Jakarta
- Wen, Donghui, et. al. 2017. *Influences of Mo/Zr Minor-alloying on the Phase Precipitation Behavior in Modified 310S Austenitic Stainless Steels at High Temperatures*. Chengdu
- Yakub, Y. & Nofri, M., 2013. Variasi Arus Listrik terhadap Sifat Mekanik Mikro Sambungan Las Baja Tahan Karat Aisi 304. *E-Journal Widya Eksakta*, I(1), pp. 7-11.

LAMPIRAN



Gambar Kondisi Seal Strips Kode 2





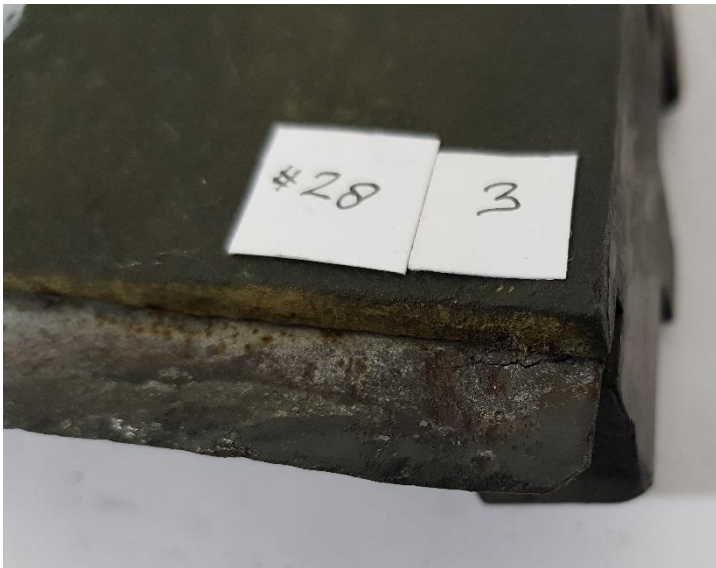
Gambar Kondisi Seal Strips Kode 5



Gambar Kondisi Seal Strips Kode 31

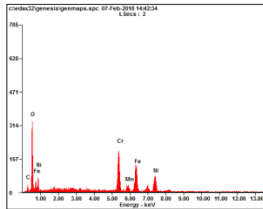


Gambar Kondisi Seal Strips Kode 31

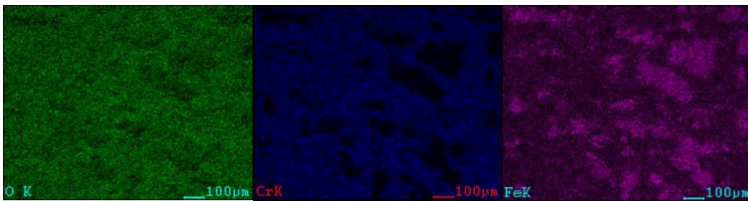
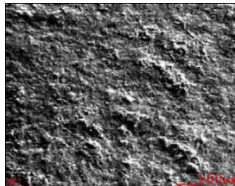


Gambar Kondisi Seal Strips 28

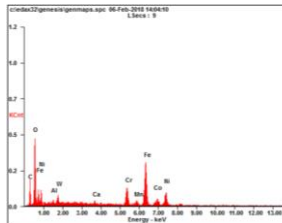
Pengujian EDX Seal Strips Kode 1



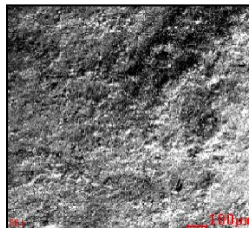
Element	Wt%	At%
<i>CK</i>	04.07	11.30
<i>OK</i>	20.76	43.33
<i>CrK</i>	24.64	15.82
<i>MnK</i>	01.13	00.69
<i>FeK</i>	25.97	15.53
<i>NiK</i>	23.43	13.33
Matrix	Correction	ZAF

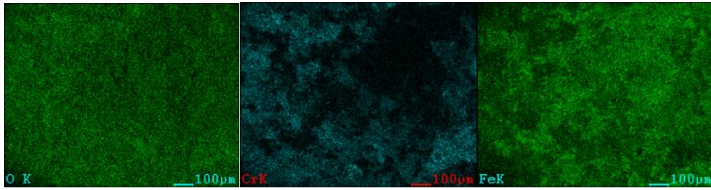


Pengujian EDX Seal Strips Kode 2

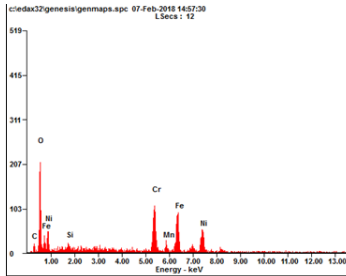


Element	Wt%	At%
<i>CK</i>	09.07	23.29
<i>OK</i>	20.08	38.70
<i>AlK</i>	00.86	00.99
<i>WM</i>	04.48	00.75
<i>CaK</i>	01.12	00.86
<i>CrK</i>	09.58	05.68
<i>MnK</i>	01.74	00.98
<i>FeK</i>	32.72	18.07
<i>CoK</i>	03.60	01.88
<i>NiK</i>	16.75	08.80
Matrix	Correction	ZAF

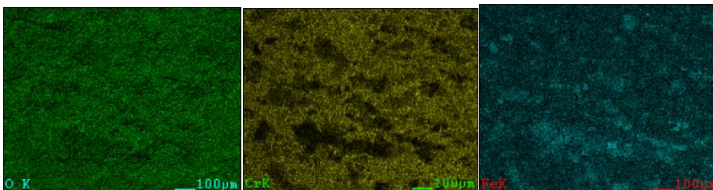
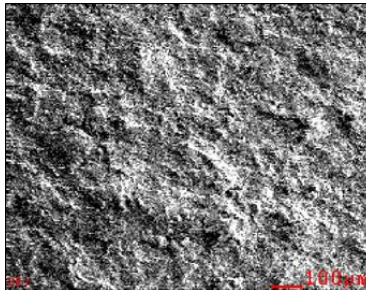




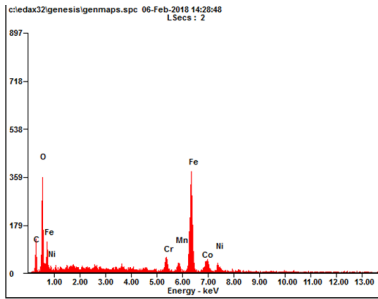
Pengujian EDX Seal Strips Kode 3



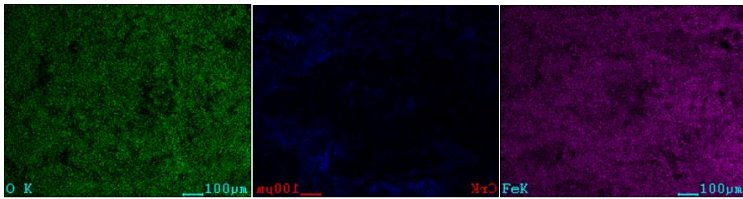
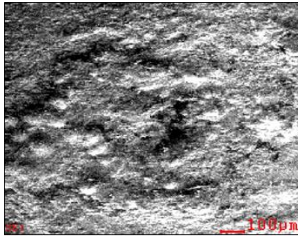
Element	Wt%	At%
<i>CK</i>	03.02	08.59
<i>OK</i>	20.35	43.46
<i>SiK</i>	01.24	01.51
<i>CrK</i>	22.64	14.88
<i>MnK</i>	01.36	00.85
<i>FeK</i>	26.62	16.29
<i>NiK</i>	24.76	14.42
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



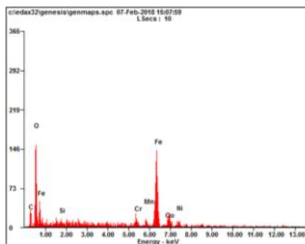
Pengujian EDX Seal Strips Kode 5



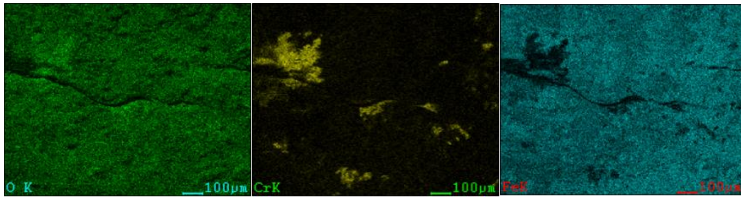
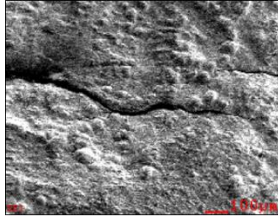
Element	Wt%	At%
CK	09.10	23.66
OK	18.42	35.94
CrK	04.48	02.69
MnK	03.46	01.97
FeK	52.83	29.53
CoK	04.46	02.36
NiK	07.25	03.85
Matrix	Correction	ZAF



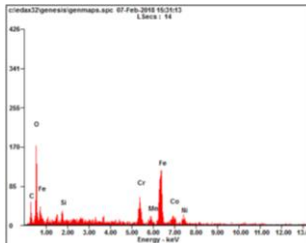
Pengujian EDX Seal Strips Kode 28



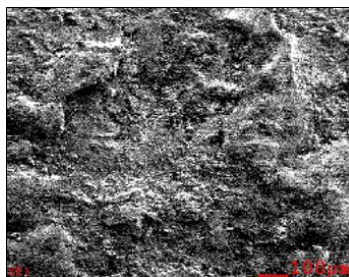
Element	Wt%	At%
CK	07.12	17.93
OK	23.22	43.91
SiK	00.93	01.00
CrK	04.57	02.66
MnK	03.09	01.70
FeK	50.76	27.49
CoK	05.06	02.60
NiK	05.27	02.71
Matrix	Correction	ZAF

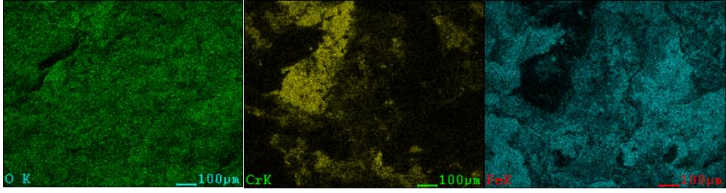


Pengujian EDX Seal Strips Kode 29

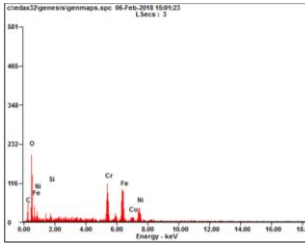


Element	Wt%	At%
<i>CK</i>	09.82	23.97
<i>OK</i>	20.80	38.11
<i>SiK</i>	02.63	02.74
<i>CrK</i>	12.48	07.04
<i>MnK</i>	02.02	01.08
<i>FeK</i>	38.43	20.17
<i>CoK</i>	04.97	02.47
<i>NiK</i>	08.84	04.41
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

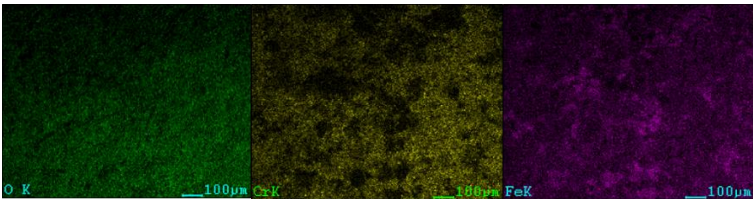
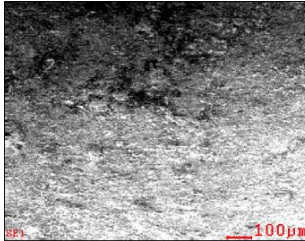




Pengujian EDX Seal Strips Kode 31



Element	Wt%	At%
<i>CK</i>	07.39	19.22
<i>OK</i>	19.80	38.68
<i>SiK</i>	01.99	02.21
<i>CrK</i>	20.22	12.15
<i>FeK</i>	29.44	16.48
<i>CoK</i>	02.09	01.11
<i>NiK</i>	19.08	10.16
Matrix	Correction	ZAF



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Muhammad Megah Safeero, Lahir di Tegal pada tanggal 12 Juni 1996. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Negeri 01 Pesarean. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPN 1 Adiwerna. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang atas di SMAN 1 Kota Tegal. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Material FTI-ITS. Penulis mengambil bidang minat korosi dan analisa kegagalan.

Selama menempuh perkuliahan penulis juga tercatat aktif di acara departemen maupun institusi. Penulis pernah menjadi panitia di acara yg diadakan fakultas maupun institusi seperti Wisuda 113 HMMT FTI-ITS 2015, Dies Natalis HMMT ke-15, Sosial Development BEM ITS dan masih banyak lagi yang tidak bisa disebutkan. Penulis juga memiliki pengalaman organisasi di HMMT FTI ITS, Sciene Community HMMT, dan DPM ITS. Selama berkuliah di Departemen Teknik Material, penulis meraih prestasi Juara 1 Nasional LKTI LCLN UNSRI, Juara 2 Nasional LKTI MnMs Week UI, Juara 3 Nasional LKTI M-Days ITB dan lain-lain.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pupuk Sriwidjaja, Palembang pada bulan Juni-Juli 2017 dan memiliki topik NDT serta evaluasi hasil pengelasan pada baja A53.

Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dalam bidang Korosi dan Analisis Kegagalan dengan judul ANALISIS KEGAGALAN SEAL STRIPS STAINLESS STEEL 310S PADA RING SEGMENT COBALT BASE SUPERALLOYS DZ40M KOMPONEN TURBIN GAS PT. XYZ

(Halaman ini sengaja dikosongkan)