



TUGAS AKHIR - TM 141585

ANALISA KEGAGALAN BAUT *JOINT RIDING* GEAR PADA MESIN GRANULATOR (STUDI KASUS : PT. PETROKIMIA GRESIK)

ACHMAD RIZAL MUSTAQIM
NRP 2112 100 110

Dosen Pembimbing
Ir. W I T A N T Y O, M.Eng.Sc

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR - TM 091486

**ANALISA KEGAGALAN BAUT *JOINT RIDING GEAR*
PADA MESIN GRANULATOR
(STUDI KASUS PT. PETROKIMIA GRESIK)**

**ACHMAD RIZAL MUSTAQIM
NRP 2112 100 110**

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

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



FINAL PROJECT - TM 091486

**FAILURE ANALYSIS OF BOLTED JOINTS ON
GRANULATOR'S RIDING GEAR
(CASE STUDY: PT PETROKIMIA GRESIK)**

**ACHMAD RIZAL MUSTAQIM
NRP 2112 100 110**

**Supervisor
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.**

**Mechanical Engineering Department
Faculty of Industrial Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017**

**ANALISIS KEGAGALAN BAUT *JOINT RIDING GEAR*
PADA MESIN *GRANULATOR*
(Studi Kasus PT. PETROKIMIA GRESIK)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ACHMAD RIZAL MUSTAQIM

NRP. 2112 100 110

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc
NIP. 196303141988031002 (Pembimbing)
2. Dinny Harnany, ST., MSc.
NIP. 2100201405001 (Penguji I)
3. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.
NIP. 197407032000031001 (Penguji II)
4. Ir. Sudiyono Kromodihardjo, M.Sc. Phd
NIP. 195208011978031005 (Penguji III)



SURABAYA

JULI, 2017

ANALISA KEGAGALAN BAUT *JOINT RIDING GEAR* PADA MESIN GRANULATOR

(Studi Kasus PT. PETROKIMIA GRESIK)

Nama Mahasiswa : Achmad Rizal Mustaqim

NRP : 2112 100 100

Jurusan : Teknik Mesin, FTI, ITS

Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo, M. Eng, Sc.

ABSTRAK

Komponen mesin Granulator di PT.Petrokimia Gresik sering mengalami kegagalan. Mesin ini digerakkan oleh motor yang mentransmisikan dayanya lewat riding gear dan pinion untuk memutar drum granulator. Riding gear terdiri dari dua bagian setengah lingkaran yaitu komponen gear bagian atas dan bagian bawah. Berdasarkan sejarah kerusakan setahun terakhir, baut penyambung riding gear ini patah tiap 2-7 hari sekali.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan tahapan-tahapan pemecahan masalah untuk menganalisa penyebab kerusakan pada baut joint riding gear pada mesin granulator di PT. Petrokimia Gresik. Penyelesaian masalah dimulai dengan studi lapangan, kemudian pengumpulan data-data yang mendukung, studi literatur dan investigasi failure analysis. Setelah itu dilakukan analisa perhitungan gaya dan torsi yang kemudian menjadi input pada simulasi menggunakan software Finite Element Analysis (FEA).

Dari hasil analisa kegagalan dengan menggunakan FEA, nilai tegangan maksimum terletak pada leher baut sebesar 15,468 MPa. Angka ini berada jauh di bawah kekuatan yield material yaitu 550 MPa. Baut patah fatigue pada bagian leher karena

adanya konsentrasi tegangan pada leher baut, rough surface finish dan adanya pretension karena pengencangan baut yang terlalu rapat dan tidak sesuai standar. Oleh karena itu solusi yang ditawarkan adalah me-redesign ring washer, memperhalus hasil proses machining pada saat pembuatan baut, mengganti semua baut pada saat ada yang patah dan memasang baut menggunakan torque wrench sesuai standar.

Kata Kunci: Granulator, Riding Gear, Baut, Analisis, Kegagalan

FAILURE ANALYSIS OF BOLTED JOINTS ON GRANULATOR'S RIDING GEAR (CASE STUDY PT PETROKIMIA GRESIK)

Student Name : Achmad Rizal Mustaqim
NRP : 2112100110
Department : Teknik Mesin, FTI, ITS
Student Advisor : Ir. Witantyo M.Eng, Sc.

Abstract

Granulator's component in PT.Petrokimia Gresik has been found to have a failure. This machine is powered by a motor that transmits the power through a riding gear and pinion to rotate the granulator's shell. The riding gear is constructed by two-half parts of gear and fastened by bolts. Based on the latest year's history, the bolts are found to fail in every 2-7 days.

This final project is intended to analyze the cause of the failure of the bolted joint on this riding gear. The study was preceded by doing a field study, collecting data, doing a literature study and investigating the failure analysis. The force and torque is then counted to be the input in a simulation using Finite Element Analysis (FEA) software.

Based on the result of the simulation, the maximum stress is found on the neck of the bolt with a number of 15.468 MPa. This number is way lower compared to the yield strength of material which is 550 MPa. The fatigue crack happened on the bolt is caused by the stress concentration on Its neck, rough surface finish, and there is a pretension due to failed setting procedure. That is why a redesign of ring washer on the bolt neck is made to reduce the stress concentration. On the other side, the machining process

when making the bolt should be done smoothly. It is also necessary to change all bolts with the new one when there is a bolt that fails. Moreover, It is also wisely suggested to use a torque wrench with the procedure when fastening the bolts.

Keywords: Granulator, Riding gear, Analysis, Failure

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul “Analisa Kegagalan Baut *Joint Riding Gear* pada Mesin Granulator (Studi Kasus PT. Petrokimia Gresik)” ini dapat selesai dengan baik. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri (FTI), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya sehingga dapat terselesaikan sesuai waktu yang diharapkan. Oleh karena itu, izinkan penulis untuk mengucapkan terima kasih kepada:

1. Aba dan umik tercinta, Bapak Mustakim dan Ibu Hamidah yang tiada henti memberikan motivasi dan doa agar penulis selalu dimudahkan oleh Allah SWT dalam segala urusan.
2. Ir. Witantyo, M.Eng. Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis. Terima kasih atas bimbingan, ilmu, masukan yang telah Bapak berikan.
3. Dr. Eng Sutikno, S.T., M.T., Ari Kurniawan S.T., M.T. dan Diny Harnany, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji dalam sidang tugas akhir penulis, terima kasih atas saran dan masukan yang telah bapak dan ibu berikan.
4. Prof. Dr. Ing. Ir. I Made London Batan, M.Eng., selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan selama penulis menempuh studi di jenjang perkuliahan.
5. Pak Agung dan seluruh pihak PT. Perokimia Gresik yang telah membantu penulis selama pengambilan data.
6. Teman seperjuangan Lia Amalia dan David Setyawan yang menjadi teman diskusi dan sharing selama penulis menyusun tugas akhir ini.

7. Shaumna Lisabella I. R., partner seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir selama dua semester ini.
8. Mas Bahadur dan Seluruh keluarga besar Industrial Engineering System Engineering Laboratory Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, terima kasih atas bantuan yang telah diberikan hingga tugas akhir ini bisa selesai dengan baik.
9. Keluarga besar M55 dan Sarekat Merah Rakyat Mesin SMRM), terima kasih atas ilmu dan sharingnya.
10. Serta semua pihak yang mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis terbuka menerima kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 16 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan	7
1.4 Batasan Masalah	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 <i>Riding Gear</i>	9
2.2 Baut	10
2.3 <i>Fatigue Fracture</i>	12
2.4 <i>Fracture Surface</i>	15
2.5 Tinjauan Pustaka	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27

3.1 Diagram Alir Penelitian	24
3.2 Metodologi Penelitian	30
3.2.1 Studi Lapangan dan Pengambilan Data	30
3.2.2 Studi Literatur	30
3.2.3 Investigasi dengan Metode <i>Root Cause Failure Analysis</i>	30
3.2.3.1 <i>Findings</i>	30
3.2.3.2 <i>Diagnose</i>	31
3.2.3.3 <i>Analysis</i>	31
3.2.3.3.1 Perhitungan Analitis	32
3.2.3.3.2 Identifikasi Pola Patahan	32
3.2.3.3.3 Permodelan Baut <i>Joint Riding Gear</i>	32
3.2.3.4 Simulasi FEA	32
3.2.4 Identifikasi Penyebab Kerusakan	32
3.2.5 Penentuan Solusi Kerusakan	33
3.2.6 Kesimpulan dan Saran	33
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Riwayat dan Data Kerusakan	35
4.2 Probabilitas Penyebab Kerusakan Baut <i>Joint riding gear</i>	40
4.3 Perhitungan Gaya pada <i>Riding gear</i>	41

4.4 Probabilitas Penyebab Kegagalan Baut <i>Joint riding gear</i> pada Drum Granulator	45
4.4.1 Simulasi Menggunakan <i>Software Finite Element Analysis</i> (FEA)	46
4.4.1.1 Kondisi Batas	47
4.4.1.2 <i>Connection</i>	50
4.4.1.3 <i>Meshing</i>	50
4.4.1.4 Hasil Simulasi	53
4.4.1.5 <i>Redesign Ring Washer</i>	64
4.4.1.6 Hasil Simulasi Setelah Modifikasi ...	65
4.4.1.7 Rangkuman Hasil Simulasi	72
4.4.2 Bentuk Pola Patahan	74
4.4.3 <i>Failed Manufacturing Finish</i>	75
4.4.4 Pemasangan Baut	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	83
TENTANG PENULIS	xix

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram proses unit phonska I, Pabrik II, PT. Petrokimia Gresik	2
Gambar 1.2 Setengah bagian dari <i>riding gear drum granulator</i>	3
Gambar 1.3 Penampang melintang baut <i>joint riding gear</i> yang patah	4
Gambar 1.4 baut <i>joint riding gear</i> yang patah tampak atas dibandingkan dengan baut utuh	4
Gambar 2.1 Arus yang mengalir di dalam sistem pada saat proses granulasi	9
Gambar 2.2 (a) Setengah bagian dari <i>Riding gear</i> , (b) Posisi 4 baut pada salah satu sisi <i>gear</i> yang berfungsi sebagai <i>fastener</i>	10
Gambar 2.3 Terminologi Ulir	11
Gambar 2.4 Baut dengan gaya <i>axial</i>	12
Gambar 2.5 Baut dengan gaya <i>shear</i>	12
Gambar 2.6 Model <i>initiation crack</i> oleh Wood. <i>Initiation crack</i> diawali dengan adalua slip dengan arah yang bersudut 45 ^o terhadap sumbu utama tegangan yang menghasilkan <i>extrusion</i> dan <i>intrusion</i>	13
Gambar 2.7 Tiga model pergeseran retak: (a) <i>opening</i> , (b) <i>sliding</i> , (c) <i>tearing</i>	14
Gambar 2.8 (a) Striasi dari SEM, (b) <i>beachmark</i> yang ditunjukkan oleh anak panah merah	16
Gambar 2.9 Retakan yang terjadi pada <i>rim riding gear</i>	24

Gambar 2.10 <i>Equivalent Stress</i> yang ditunjukkan dengan mensimulasikan <i>riding gear</i> pada <i>rotary dryer</i> menggunakan <i>software</i> FEA	25
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	29
Gambar 4.1 Penampang kerusakan baut <i>joint riding gear</i> , a) tampak samping, b) tampak melintang, c) baut <i>joint riding gear</i> yang putus dan yang masih utuh	38
Gambar 4.2 Gambar diagram arus pembebanan drum granulator Pabrik II Unit Phonska 1 PT. Petrokimia Gresik	39
Gambar 4.3 Gaya-gaya yang bekerja pada <i>Riding gear</i>	43
Gambar 4.4 Model <i>Riding gear</i> yang disimulasikan pada <i>software</i> FEA	47
Gambar 4.5 <i>Frictionless Support</i>	48
Gambar 4.6 <i>Fixed support</i>	49
Gambar 4.7 Momen yang diaplikasikan pada pinion	49
Gambar 4.8 <i>Meshing</i> pada <i>software</i> FEA: (a) <i>Meshing</i> total, (b) <i>Zoom meshing</i> pada pada <i>riding gear</i> , (c) <i>Zoom meshing</i> pada pinion, (d) <i>Zoom face meshing</i> pada baut, <i>ring</i> dan mur	52
Gambar 4.9 (a) Hasil simulasi <i>Equivalent Stress</i> (von-Mises) pada system, (b) <i>Stress</i> yang terjadi pada sistem saat defleksi diperbesar 6400 kali.	54
Gambar 4.10 Hasil simulasi <i>Equivalent Stress</i> (von-Mises) pada baut	55
Gambar 4.11 Hasil simulasi <i>equivalent elastic strain</i> (a) pada sistem dan (b) pada baut	57

Gambar 4.12 Hasil simulasi <i>total deformation</i> (a) pada sistem dan (b) pada baut	59
Gambar 4.13 Hasil simulasi <i>Life cycle</i> (a) sistem dan (b) baut	61
Gambar 4.14 Hasil simulasi <i>safety factor</i> (a) pada sistem dan (b) pada baut	63
Gambar 4.15 Penampang melintang pola patahan baut 1	64
Gambar 4.16 Hasil simulasi <i>Equivalent Stress</i> (a) pada sistem, (b) dan (c) pada baut setelah modifikasi <i>ring washer</i>	66
Gambar 4.17 Hasil simulasi <i>Equivalent Elastic Strain</i> (a) pada sistem, (b) pada baut setelah modifikasi <i>ring washer</i>	67
Gambar 4.18 Hasil simulasi <i>Total Deformation</i> (a) pada sistem, (b) pada baut setelah modifikasi <i>ring washer</i>	69
Gambar 4.19 Hasil simulasi <i>Life Cycle</i> (a) pada sistem, (b) pada baut setelah modifikasi <i>ring washer</i>	70
Gambar 4.20 Hasil simulasi <i>Safety Factor</i> (a) pada sistem, (b) pada baut setelah modifikasi <i>ring washer</i>	71
Gambar 4.21 Penampang melintang pola patahan baut 1	74
Gambar 4.22 Penampang melintang pola patahan baut 2	75
Gambar 4.23 Permukaan leher baut yang tidak rata	76
Gambar 4.24 Posisi <i>ring washer</i> yang tidak bisa masuk sempurna pada leher baut	78

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data <i>history</i> kerusakan baut <i>joint riding gear</i> pada <i>drum granulator</i> unit phonska I, Pabrik II, PT. Petrokimia, Gresik	5
Tabel 2.1 Jenis Pola Patahan yang teridentifikasi <i>fractography</i> dengan skala makro	17
Tabel 4.1 <i>History</i> kerusakan baut <i>joint riding gear</i>	36
Tabel 4.2 Spesifikasi yang terdapat pada <i>drum granulator</i>	41
Tabel 4.3 berikut adalah rangkuman hasil simulasi sebelum dan sesudah melakukan <i>redesign</i> pada <i>inner diameter ring washer</i> ..	72

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Teknik Sistem Riding Gear pada Mesin Granulator Unit Phonska 1, Pabrik II PT. Petrokimia Gresik ... 83

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

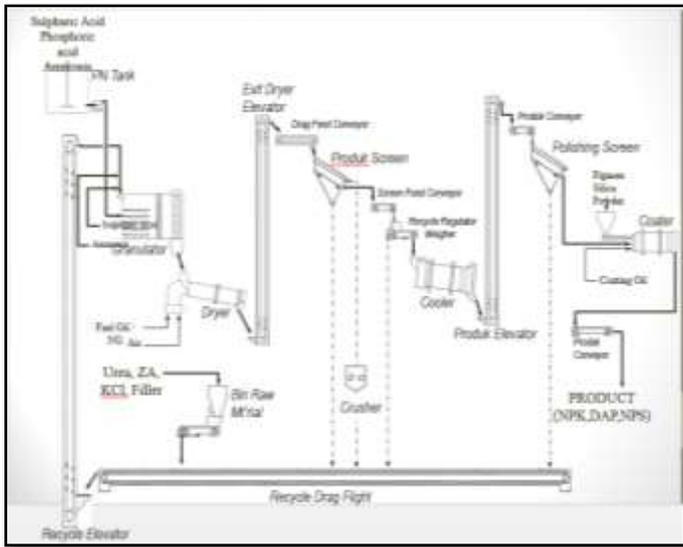
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Petrokimia Gresik merupakan produsen pupuk terlengkap di Indonesia yang memproduksi berbagai macam pupuk seperti urea, ZA, SP-36, ZK, NPK Phonska, NPK Kebomas dan pupuk organik petroganik. PT Petrokimia Gresik juga memproduksi produk non pupuk, antara lain asam sulfat, asam fosfat, amoniak, *dry ice*, *aluminum fluoride* dan *cement retarder*. Keberadaan PT. Petrokimia Gresik adalah untuk mendukung program pemerintah dalam rangka meningkatkan produksi pertanian dan pertahanan pangan Nasional.

Pabrik II PT. Petrokimia Gresik menghasilkan produk pupuk dengan kandungan *phosphate* seperti Phonska, NPK, dan ZK. Proses produksi pabrik II secara umum dioperasikan dengan metode *solid-solid mixing*. Proses *solid-solid mixing* adalah proses pembuatan pupuk hanya berupa campuran bahan baku padat. Contoh pada pabrik II adalah unit phonska I yang mencampur urea, ZA, KCl dan Filler untuk menjadi sebuah produk pupuk phonska.



Gambar 1.1 Diagram proses unit phonska I, Pabrik II, PT. Petrokimia Gresik

Pada gambar 1.1 dijelaskan diagram proses pembuatan pupuk phonska pada unit phonska I, pabrik II. Pada awalnya urea, ZA, KCl dan filler dimasukkan bersama-sama ke dalam *bin raw material*. Setelah itu, produk campuran akan masuk ke dalam conveyor untuk diantar menuju *bucket elevator*. *Bucket elevator* membawa campuran bubuk yang masih berupa serbuk ini menuju granulator untuk diaduk bersama dengan cairan *sulphuric acid*, *phosphoric acid* dan *ammonia*. Proses granulasi ini menghasilkan produk pupuk dalam berbentuk butir, namun masih dalam kondisi basah. Granul pupuk ini kemudian dikeringkan dengan mesin *rotary dryer* untuk kemudian dibawa ke bagian pengayakan. Pada proses pengayakan, granul pupuk yang memenuhi syarat secara ukuran butir, akan lanjut ke proses selanjutnya. Namun jika ukuran granul masih terlalu besar maka akan dipacah lagi hingga menjadi ukuran yang lebih kecil dengan *crusher*. Setelah melewati *crusher*,

granul akan bergabung dengan granul lain yang tidak lolos proses pengayakan karena ukuran butir terlalu kecil menuju proses granulasi dengan bantuan *conveyor* dan *bucket elevator*. Pupuk kemudian didinginkan dengan *cooler* sebelum masuk ke proses *coating*.

Komponen pada unit phonska I, pabrik II yang cukup kritis adalah baut pada *riding gear drum granulator*. *Drum granulator* ini berfungsi membentuk pupuk dalam bentuk granul (butiran). Awalnya, bahan pupuk berupa bubuk masuk pada *inlet drum granulator*. Dibantu dengan *riding gear* yang melingkari sisi keliling *drum*, *drum* berputar mengaduk bahan agar terampur dan membentuk pupuk dalam bentuk granul. Pembentukan inti granul ini dibantu dengan cairan *sulphuric acid*, *phosphoric acid* dan *ammonia* di dalam *drum granulator*. *Riding gear* yang melingkari *drum granulator* (gambar 1.2) adalah dua komponen setengah lingkaran yang disambung dengan baut. Namun, baut pada *riding gear* ini sering mengalami kegagalan berupa patah. Rata-rata, baut ini patah dua sampai tujuh hari sekali. Hal ini tentu sangat mengganggu proses produksi. Setiap kali baut patah, proses produksi harus berhenti untuk mengganti baut yang patah dengan baut yang baru. Bentuk patahan baut ditunjukkan pada gambar 1.3 dan 1.4 di bawah ini.



Gambar 1.2 Setengah bagian dari *riding gear drum granulator*



Gambar 1.3 Penampang melintang baut *joint riding gear* yang patah



Gambar 1.4 baut *joint riding gear* yang patah tampak samping dibandingkan dengan baut utuh

Tabel 1.1 di bawah ini adalah data kerusakan yang terjadi pada baut *joint riding gear* dari bulan April hingga Juni 2016. Dalam sekali kerusakan, baut yang rusak bisa berjumlah satu atau

dua buah. Sedangkan durasi untuk mengganti baut rusak dengan baut yang baru berkisar antara 0.5-1 jam. Jika dilihat dari tanggal kerusakannya, frekuensi patah baut ini cukup sering, sehingga proses produksi cukup terganggu dengan adanya kerusakan ini.

Tabel 1.1 Data *history* kerusakan baut *joint riding gear* pada *drum granulator* unit phonska I, Pabrik II, PT. Petrokimia, Gresik.

No	<i>History</i> Kerusakan	Penanganan	Tanggal Kerusakan	Durasi (Jam)	Eksekutor
1	Baut <i>Joint riding gear</i> putus 1 ea	Ganti baut <i>riding gear</i>	10/04/2016	0.5	Mekanik
2	Baut <i>Joint riding gear</i> putus 1 ea	Ganti baut <i>riding gear</i>	14/04/2016	0.5	Mekanik
3	Baut <i>Joint riding gear</i> putus 1 ea	Ganti baut <i>riding gear</i>	14/04/2016	0.75	Mekanik
4	Baut <i>Joint riding gear</i> putus 1 ea	Ganti baut <i>riding gear</i> (1 ea arah laut)	16/04/2016	1	Mekanik
5	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (2 ea)	17/04/2016	1	mekanik
6	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (2 ea)	20/04/2016	1	mekanik
7	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding</i>	15/05/2016	1	mekanik

		<i>gear</i> (2 ea)			
8	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (1 ea)	26/05/2016	0.5	mekanik
9	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (2 ea)	28/05/2016	1.5	mekanik
10	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (1 ea)	29/05/2016	0.5	mekanik
11	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (2 ea)	06/06/2016	1	mekanik
12	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (2 ea)	12/06/2016	1	mekanik

Dengan demikian, PT.Petrokimia Gresik berencana menganalisa faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan baut *joint riding gear* pada *drum granulator*, sehingga nantinya dapat ditemukan solusi untuk meningkatkan umur pakainya sesuai harapan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dianalisa pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Apa penyebab kerusakan baut *joint riding gear* pada *drum granulator* di unit phonska I Pabrik II PT.Petrokimia Gresik
2. Bagaimana solusi yang tepat dalam menangani kerusakan baut *joint riding gear* pada *drum granulator* di unit phonska I Pabrik II PT.Petrokimia Gresik.

1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa kerusakan baut *joint riding gear* pada *drum granulator* di unit phonska I Pabrik II PT.Petrokimia Gresik
2. Menemukan solusi yang tepat dalam menangani kerusakan baut *joint riding gear* pada *drum granulator* di unit phonska I Pabrik II PT.Petrokimia Gresik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada Tugas Akhir ini agar berjalan secara fokus dan terarah adalah sebagai berikut:

1. Baut yang dianalisa adalah baut *joint riding gear* pada *Drum Graulator* di unit phonska I Pabrik II PT.Petrokimia Gresik
2. Data yang digunakan adalah data kerusakan baut *joint riding gear* pada *Drum Graulator* pada bulan April-Juni 2016

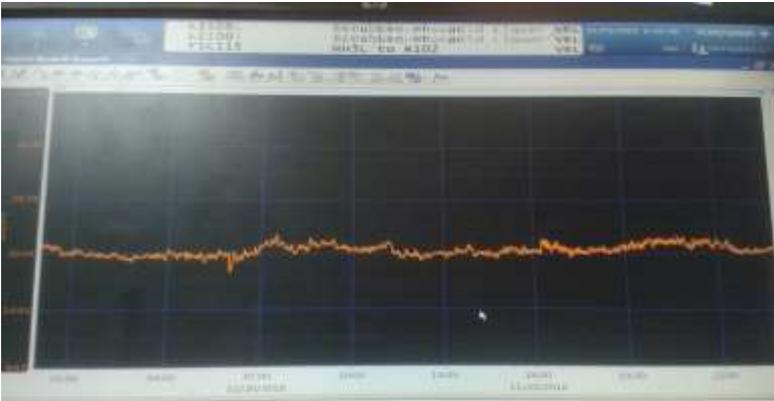
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Riding Gear*

Prses pembentukan granul di dalam *drum granulator* memerlukan *gear* penggerak. Sumber tenaga berasal dari motor yang bekerja dengan voltase tertentu. Besarnya pembebanan pada *drum granulator* dapat dilihat dari nilai arus di dalam sistem. Sebuah grafik (gambar 2.1) yang tercatat oleh PT.Petrokimia Gresik di bawah ini menunjukkan jumlah arus yang mengalir pada sistem ketika terjadi pembebanan pada proses granulasi.

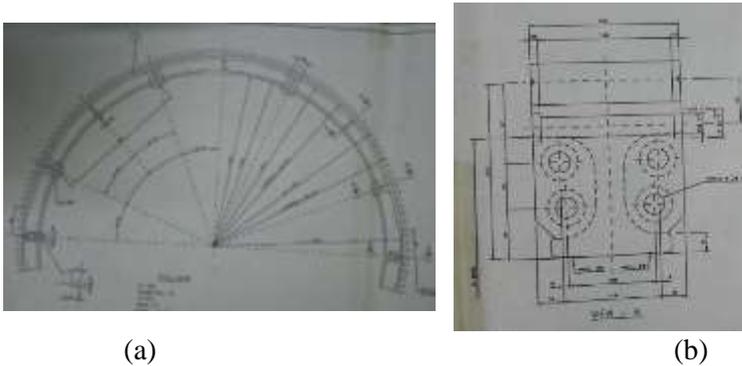


Gambar 2.1 Arus yang mengalir di dalam sistem pada saat proses granulasi

Drum granulator berputar dengan bantuan transmisi daya dari pinion dan gear. Urutan transmisi dayanya adalah:

1. Motor berputar dengan kecepatan dan daya tertentu.
2. Pinion yang bertumpu pada poros yang sama dengan motor, bergerak sesuai dengan putaran motor.
3. Pinion mentransmisikan daya ke *riding gear*

4. *Riding gear* yang melekat pada sisi *outer surface drum granulator* memutar *drum granulator* sehingga proses granulasi di dalam *drum* bisa terjadi.



(a) (b)
Gambar 2.2 (a) Setengah bagian dari *Riding gear*, (b) Posisi 4 baut pada salah satu sisi *gear* yang berfungsi sebagai *fastener*

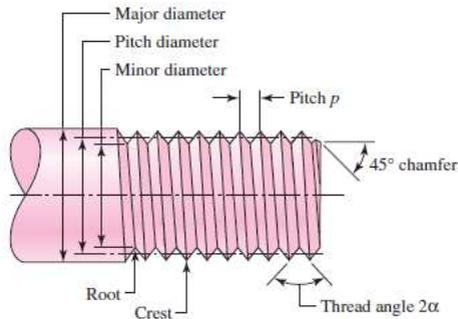
Dengan mengetahui seberapa besar beban yang diterima oleh *riding gear*, maka akan diketahui seberapa besar gaya yang diterima oleh baut penyambungannya.

Pabrik II unit Phonska I PT. Petrokimia Gresik memiliki *riding gear* dengan diameter 4,026 m yang menggerakkan *drum granulator* untuk menghasilkan pupuk dalam bentuk granul. *Riding gear* yang dipakai merupakan dua komponen setengah *gear* yang disambung dengan baut pada sisi kanan dan kiri. Setiap sisi sambungan memiliki 4 baut yang bekerja sebagai *fastener*.

2.2 Baut

Baut merupakan elemen mesin yang memiliki alur heliks pada permukaan yang berfungsi untuk mengikat dua atau lebih komponen (*fastener*) yang bersifat *nonpermanent*, artinya, *fastener* ini dapat dibongkar pasang untuk melepas elemen-elemen mesin yang digabungkan. Baut dapat dikencangkan dan dilepas dengan memberikan torsi pada kepala baut atau pada *nut*.

Baut memiliki terminologi yang sering disebut seperti pada gambar 2.4.



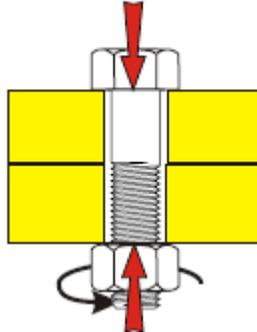
Gambar 2.3 Terminologi Baut dan Ulir ^[8]

- *Pitch*: jumlah ulir dalam satu satuan panjang (mm atau inch)
- *Crest*: jarak terjauh ulir dari sumbu pusatnya
- *Root*: jarak terdekat ulir dari sumbu pusatnya.
- *Major diameter*: diameter terkecil dari ulir yang diukur dari puncak (*crest*)
- *Minor diameter* d_r : diameter terkecil dari ulir yang diukur dari pangkal (*root*) ke pangkal.
- *Pitch diameter* d_p : diameter teoritis yang terletak antara *major* dan *minor diameter*.
- *Lead*: jarak pergerakan ulir yang sejajar dengan sumbu saat baut diputar satu putaran.

Pada umumnya ulir dibuat dengan aturan tangan kanan (*right hand rule*) sehingga baut mengalami pengencangan saat diputar searah jarum jam, dan sebaliknya.

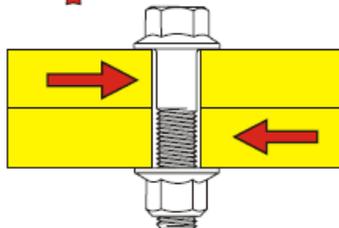
Berdasarkan hubungan antara arah gaya dengan luas area yang mengalami gaya, pembebanan yang diterima dapat dibagi menjadi:

- Tegangan axial (*axial*): tegangan yang dihasilkan oleh gaya yang arahnya tegak lurus terhadap luas penampang melintang baut seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.4 Baut dengan gaya *axial*^[9]

- Tegangan geser (*shear*): tegangan yang dihasilkan oleh gaya yang arahnya sejajar terhadap luas penampang melintang baut seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.5 Baut dengan gaya *shear*^[9]

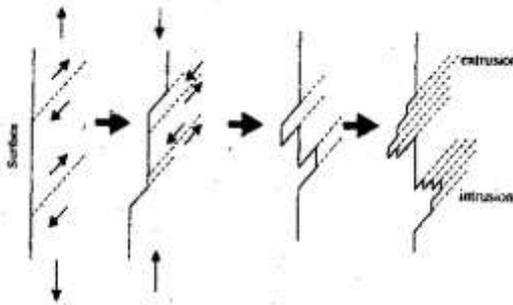
2.3 *Fatigue Fracture*

Fatigue atau kelelahan merupakan fenomena terjadinya kerusakan material karena pembebanan berulang. Apabila suatu logam dikenai tegangan berulang, maka logam tersebut akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik. Kerusakan akibat beban berulang ini disebut patah lelah (*fatigue failures*). Secara umum perpatahan tersebut terjadi setelah periode pemakaian yang cukup lama. Mekanisme terjadinya

fatigue failures dapat dibagi menjadi tiga fasa yaitu, awal retak (*initiation crack*), perambatan retak (*crack propagation*), dan perpatahan akhir (*fracture failure*).^[3]

1. Awal retak (*initiation crack*)

Initiation crack biasanya dimulai dari permukaan akibat tegangan yang lebih besar dari tegangan *yield* lokal komponen. Umumnya disebabkan adanya konsentrasi tegangan. *Crack initiation* dimodelkan oleh Wood pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.6 Model *initiation crack* oleh Wood. *Initiation crack* diawali dengan adanya *slip* dengan arah yang bersudut 45° terhadap sumbu utama tegangan yang menghasilkan *extrusion* dan *intrusion* ^[4]

Tahap retak awal meliputi fasa *cyclic slip*, fase pembentukan inti retak (*crack nucleation*) dan perambatan retak mikro (*growth of microcrack*) sejauh 2-5 butir kristal. Pada awalnya, perusakan terjadi dalam bentuk *micropacks* yang diakibatkan karena adanya *slip* yang menyebabkan terbentuknya dislokasi pada bidang tertentu. Slip jauh lebih mudah terjadi pada permukaan karena pergerakannya tidak dibatasi oleh batas butir. Slip disebabkan oleh *shear stress* yang menghasilkan deformasi dengan sudut 45° terhadap sumbu utama tegangan (*stage I*). Beban yang diberikan membuat *microcracks* bergabung sehingga menjadi konsentrasi tegangan

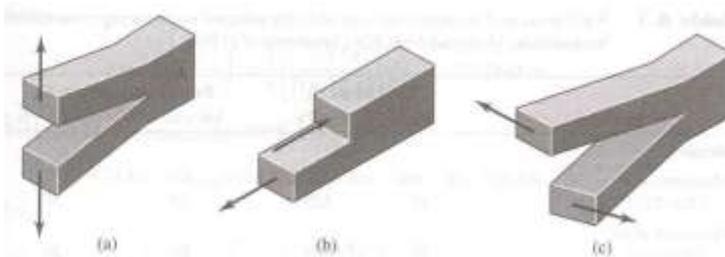
(*stage II/crackpropagation*). Perambatan *crack* pada *stage II* tegak lurus terhadap arah tegangan.

2. Perambatan Retak (*crack propagation*)

Jumlah total siklus yang menyebabkan *fracture failure* merupakan penjumlahan jumlah siklus yang menyebabkan retakan awal dan rambatnya. *Initiation cack* ini berkembang menjadi *microcracks*. Perambatan atau perpaduan *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada *failure*.^[5] Perambatan retak muncul jika terjadi tegangan yang lebih tinggi dibanding pada aujung retak lainnya.^[6]

Ada 3 mode dasar perambatan retak (gambar 2.2). Setiap mode menyebabkan pergerakan permukaan retak yang berbeda:

- Mode I, *opening* (tarikan), merupakan mode perambatan yang paling sering ditemui. Retak mengalami pemisahan secara simetris terhadap bidang retak.
- Mode II, *sliding* (geseran dalam bidang), timbul jika retak, tetapi tidak simetri terhadap bidang retak.
- Mode III, *tearing* (*antiplane*), timbul jika retak mengalami geseran relatif satu sama lain secara tidak simetris terhadap bidang retak maupun arah normalnya.



Gambar 2.7 Tiga model pergeseran retak: (a) *opening*, (b) *sliding*, (c) *tearing* ^[6]

3. Perpatahan akhir (*final fracture*)

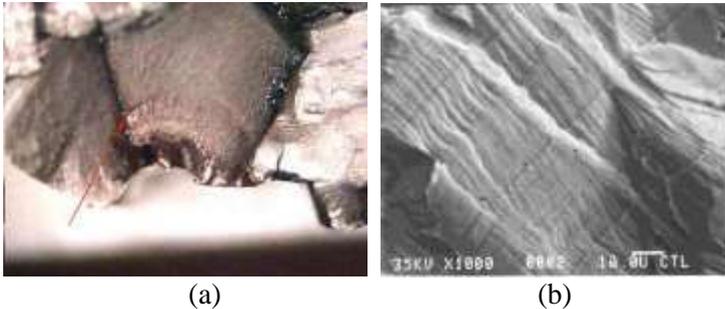
Final fracture adalah proses akhir kerusakan pada struktur saat mengalami pembebanan, sehingga struktur tersebut mengalami kegagalan. Ketika terjadi penjalaran retak, penampang pada bagian tersebut akan berkurang. Sampai pada kondisi dimana penampang pada bagian tersebut tidak mampu menahan beban.

Pada tahap ini, patah *fracture* bisa berupa *ductile* atau *brittle fracture*, tergantung dai sifat mekanik dan dimensi material, serta kondisi pembebanan.^[7]

2.4 *Fracture Surface*

Pada baut yang berbahan logam, perbedaan proses patah (*fracture*) dapat dilihat dari profil permukaan patahan yang dapat diobservasi baik secara makro ataupun mikro. Klasifikasi dasar dari proses patah bila ditinjau dari jenisnya adalah patah ulet (*ductile fracture*), patah getas (*brittle fracture*), patah lelah (*fatigue fracture*), dan patah merangkak (*creep fracture*). *Fatigue* dan *creep fracture* merupakan proses patah yang perambatan retaknya terjadi secara perlahan-lahan, sedangkan *ductile* dan *brittle fracture* merupakan proses patah yang perambatan retaknya terjadi secara cepat (*instaneous*) akibat *overload*. Masing-masing dari jenis patahan tersebut memiliki profil tersendiri, ditunjukkan pada tabel 2.1.

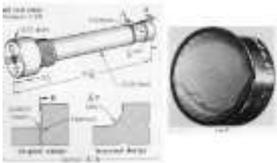
Perbedaan antara *fatigue* dan *creep fracture* ditandai dengan adanya *progression marks* dan striasi. *Fatigue fracture* memiliki *progression marks* dan striasi, sedangkan *creep fracture* parameter tersebut tersebut tidak terlihat. *Beachmark* dan striasi dapat dilihat pada gambar 2.8.



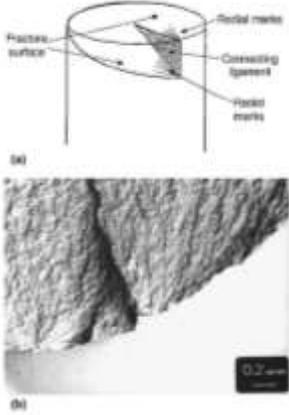
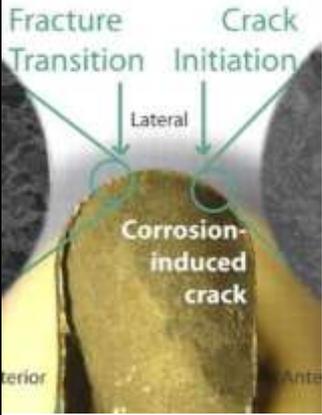
Gambar 2.8 (a) Striasi dari SEM, (b) *beachmark* yang ditunjukkan oleh anak panah merah^[2]

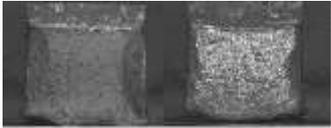
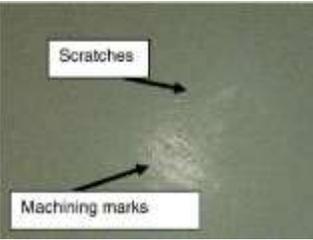
Perbedaan *ductile* dan *brittle fracture* dapat diamati secara makro dari permukaan patahan. *Ductile fracture* memiliki perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda sedangkan *brittle fracture* memiliki permukaan patahan yang datar dan tegak lurus terhadap arah beban, tanpa adanya petunjuk bahwa telah terjadi deformasi plastis sebelum benda mengalami patah. Selain kedua karakteristik di atas, terdapat pola patahan gabungan (*mix-mode appearance*) dari *brittle fracture* yang bertransformasi menjadi *ductile* atau sebaliknya.

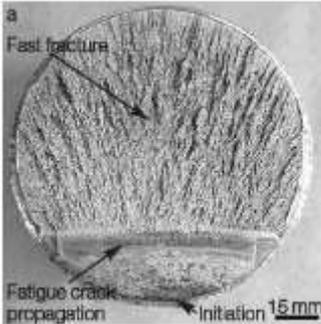
Tabel 2.1 Jenis Pola Patahan yang teridentifikasi *fractography* dengan skala makro ^[1]

Tanda/Indikasi	Implikasi	Gambar Lokal
Distorsi terlihat dengan jelas	Deformasi plastik yang telah melewati kekuatan mulur dari material, kemungkinan juga terjadi <i>instability</i> (<i>necking</i> ataupun <i>buckling</i>) serta kerusakan pasca kegagalan.	
Bekas patahan (<i>notch</i>) terlihat dengan jelas	Kemungkinan sebagai lokasi awal retakan (<i>crack initiation</i>)	
Orientasi permukaan patahan relatif terhadap geometri dari komponen dan arah pembebanan	<ul style="list-style-type: none"> Mengetahui jenis kondisi pembebanan (model 1, model 2, model 3) Identifikasi pola patahan pada skala makro. 	

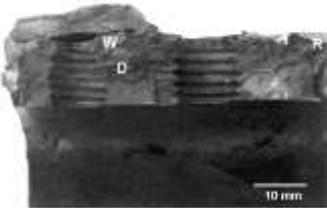
<p>Terdapat dua profil permukaan yaitu datar dan shear lips</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Arah perambatan retakan sejajar dengan arah shear lips • Modus patahan gabungan (<i>mix-mode fracture</i>) 	 <p>datar: <i>fatigue</i></p> <p>bergelombang: <i>overload</i></p>
<p>Pola garis-garis radial dan chevron (patahan berbentuk v)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menunjuk ke arah lokasi awal retakan • Menunjukkan arah perambatan retakan. 	 <p>Anak panah: awal <i>chevron marks</i></p>
<p>Profil melingkar dari pembebanan siklik (<i>beach marks</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menunjukkan pembebanan siklik • Mejarar dari tengah radius ke lengkungan 	

<p><i>Ratchet Makrs</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bukti yang kuat untuk menunjukkan model pembebanan siklik • Menunjukkan awalan retakan • Biasanya tegak lurus dengan arah pembebanan • Sisi tegak menunjukkan pembebanan <i>bending</i> (tegak) atau torsi (landai). 	 <p>The diagram (a) shows a ratchet fracture surface with labels: 'Fracture surface', 'Ratchet marks', 'Connecting ligament', and 'Ratchet marks'. The SEM image (b) shows a close-up of the fracture surface with a 0.2 μm scale bar.</p>
<p>Daerah permukaan yang berdekatan menunjukkan warna berbeda</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kemungkinan terjadinya korosi • Kemungkinan terdapat perubahan temperatur. 	 <p>The diagram shows a 'Corrosion-induced crack' with labels: 'Fracture Transition', 'Crack Initiation', and 'Lateral'. The crack is shown in a cross-section with 'Anterior' and 'Posterior' labels.</p>

<p>Bagian yang mengalami oksidasi</p>	<p>Kemungkinan sebagai awal retakan</p>	 <p>Primary crack Heavily oxidized SCC crack phase</p>
<p>Pemantulan cahaya dari permukaan</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gelap: patah ulet atau menerima beban siklik, • Mengkilap: patah getas • Bergelombang dan mengkilap: patah intergranular yang terjadi pada ukuran butir yang besar. 	 <p>(a) Ductile (b) Brittle</p>
<p>Bekas machining</p>	<p>Bila gaya torsi yang diberikan, maka bekas tersebut membelok (membengkok).</p>	 <p>Scratches Machining marks</p>

<p>Kekasaran permukaan</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bila kekasaran meningkat sesuai dengan arah rambatan retakan, hal ini disebabkan oleh adanya momen bending dari daerah yang mendapat tegangan kompresif kemudian retakan berpindah ke daerah ini • Bila terdapat daerah permukaan yang halus dan kasar sesuai dengan arah perambatan retak, maka bisa diprediksi bahwa, material/komponen menerima beban siklik dan mengalami transformasi dari patah ulet ke getas ataupun sebaliknya 	 <p>Halus → Kasar</p>  <p><i>Ductile Fracture Surface</i></p>
----------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<ul style="list-style-type: none">• Bila tingkat kekasaran permukaan cukup tinggi disertai warna permukaan yang gelap, maka patahan termasuk ke dalam patah ulet.	
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Adanya gerusan (secara <i>general</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Menunjukkan adanya vibrasi • Menunjukkan akhir dari separasi • Bila gerusan membentuk semacam pusaran/olakan, maka mengindikasikan adanya gaya torsi. 	
Adanya gerusan (pada lokasi tertentu)	<ul style="list-style-type: none"> • Mengindikasikan <i>crack closure</i> dari pembebanan siklik • Bisa dikatakan sebagai model pengganti dari beach marks dalam mengidentifikasi beban siklik. 	

2.5 Tinjauan Pustaka

Dengan mengacu pada kerusakan yang terjadi pada baut *joint riding gear* ini, perlu dilakukan simulasi baut *joint riding gear* beserta *riding gear*-nya dengan menggunakan software FEA (*Finite element analysis*). Software FEA ini berguna untuk mensimulasikan komponen yang menerima beban dan gaya

tertentu, sehingga bisa diketahui berapa tegangan dan di mana proses awal mula terjadi kegagalan.

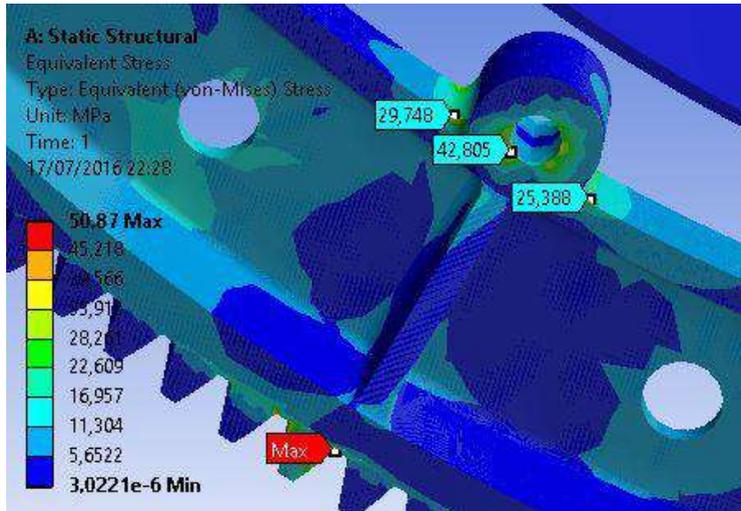
Sebuah simulasi FEA mengenai kegagalan *gear* pernah diaplikasikan pada penelitian dengan Judul “Analisa Kegagalan *Riding Gear* pada *Rotary Dryer* dengan Variasi Posisi Pembebanan” di pabrik yang sama yaitu PT.Petrokimia Gresik oleh Raditya Ashwidin Nuur pada tahun 2016. Pada awalnya, penulis menyebutkan bahwa kegagalan yang dialami oleh *riding gear* disebabkan oleh meningkatnya pembebanan yang diakukan.



Gambar 2.9 Retakan yang terjadi pada *rim riding gear*

Penelitian tersebut dimaksudkan untuk menganalisa penyebab kerusakan pada *rim riding gear*. Penelitian didahului dengan studi lapangan untuk identifikasi masalah dan pengumpulan data. Studi literatur kemudian dilakukan untuk mendapatkan referensi yang sesuai untuk mendukung analisa permasalahan dan investigasi kerusakan yang ada. Tahap berikutnya adalah melakukan pemodelan dengan menggunakan *software* FEA untuk mensimulasikan *stress* yang terjadi akibat

pengaruh pembebanan *rotary dryer* terhadap laju deformasi *riding gear*.



Gambar 2.10 *Equivalent Stress* yang ditunjukkan dengan mensimulasikan *riding gear* pada *rotary dryer* menggunakan *software FEA*

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, kerusakan yang terjadi pada *rim riding gear* diakibatkan oleh adanya konsentrasi tegangan yang tinggi pada *punggung rim riding gear* dengan tegangan maksimum yang diperoleh sebesar 40,718 Mpa. Modifikasi dilakukan berupa desain ulang pada bagian *body*, *rib*, dan *punggung rim riding gear* untuk mengurangi konsentrasi tegangan yang diterima *riding gear rotary dryer*. Tegangan maksimum yang diterima oleh *riding gear* hasil modifikasi adalah sebesar 15,668 Mpa.^[10]

Penelitian lain yang mendukung tugas akhir ini adalah, “Studi Analisa Kegagalan *Impeller* dari *Brake Cooling Fan Assembly* dan *Bolt* dari *Brake Assembly* pada Pesawat Airbus A320-200” oleh Evelyn Loekito pada tahun 2016. Pada awalnya,

dalam penelitian ini, ditemukan adanya indikasi *overheat* pada *bolt* dari *brake assembly* dan *impeller* dari *brake cooling fan assembly* pada pesawat Airbus A320-200, sehingga perlu dilakukan *transit checking* sebelum pesawat kembali terbang. Kerusakan ini menunda keberangkatan selanjutnya dari pesawat dan berbahaya bagi keselamatan, sehingga perlu dilakukan *failure analysis*.

Failure analysis dilakukan pertama-tama dengan melakukan observasi awal akibat adanya indikasi *overheat*, dilanjutkan dengan studi literatur, dan pengambilan data mengenai komponen dan kerusakannya. Material komponen diuji menggunakan *spectrometer thermo ARL* dan pola patahannya diamati secara makroskopik menggunakan kamera digital dan *stereo microscope*.

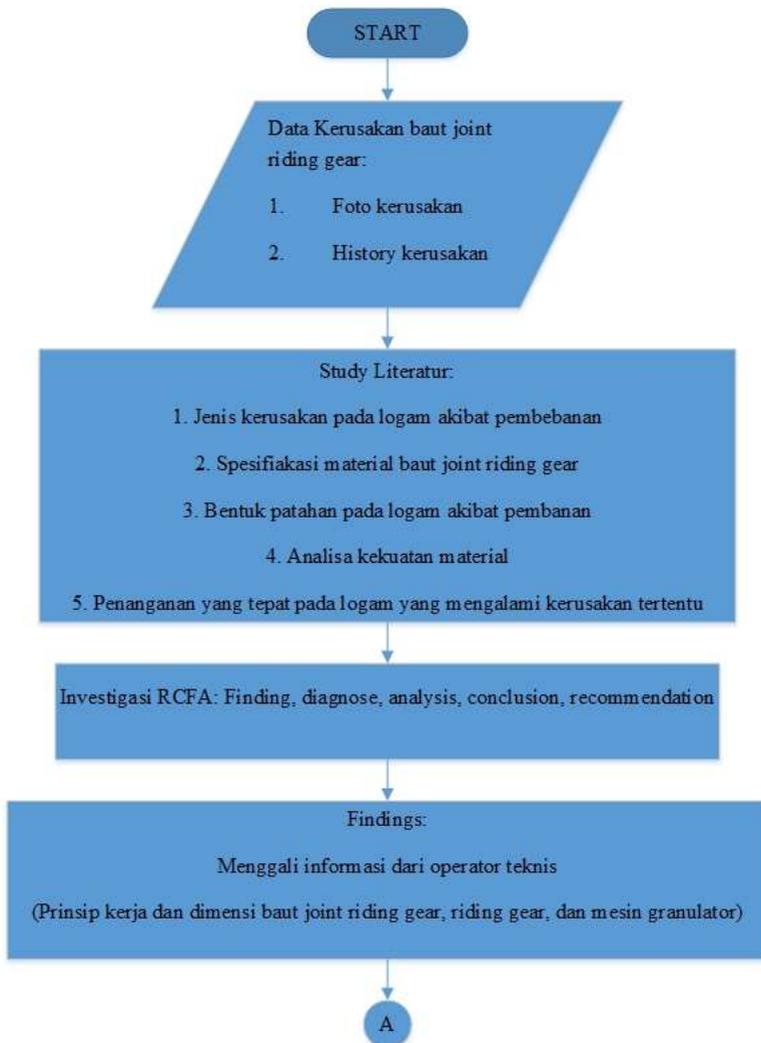
Dari penelitian pada komponen yang rusak, dihasilkan kesimpulan bahwa semua *blade* dari *impeller* mengalami *overload brittle fracture* akibat *impact* dengan *shroud grid support* dan patahnya *blade* 1 menyebabkan *impeller* tidak seimbang sehingga *blade* lainnya patah. *Bolt* 1 mengalami *low cycle fatigue fracture*, sedangkan *bolt* 2 dan 3 mengalami *overload brittle fracture* akibat beban yang cukup besar. Patahnya *bolt* 1 menyebabkan *bolt* lainnya mendapat beban yang lebih besar, menyebabkan *imbalance*, dan mempercepat patahnya *bolt* 2 dan 3. Kerusakan pada *blade* 1 dan *bolt* 1 disebabkan oleh pengurangan massa dari *heat pack* akibat oksidasi sehingga menghasilkan getaran yang berlebihan.^[11]

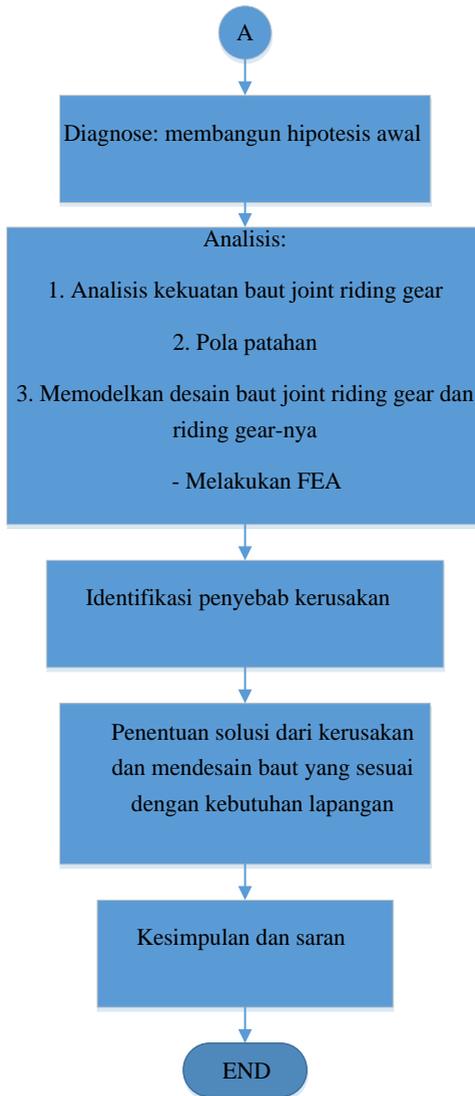
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada tugas akhir ini akan dilakukan tahapan-tahapan pemecahan masalah yang diwakili dari studi lapangan mengenai permasalahan yang diteliti, kemudian dilakukan pengumpulan data-data yang mendukung, melakukan studi literatur, melakukan investigasi *failure analysis*, melakukan analisa perhitungan gaya dan tegangan *baut joint riding gear*, dan di bagian akhir melakukan penarikan kesimpulan dan rekomendasi. Diagram alir tahapan proses pemecahan masalah ditunjukkan pada gambar 3.1 di bawah ini.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian pada gambar 3.1 dapat dijelaskan lebih lanjut secara mendalam dengan beberapa sub-bab berikut ini:

3.2.1 Studi Lapangan dan Pengambilan Data

Langkah awal yang dilakukan untuk menyusun tugas akhir ini adalah dengan melakukan studi lapangan ke PT. Petrokimia Gresik. Studi Lapangan yang dilakukan bertujuan untuk mengidentifikasi masalah yang akan diangkat dalam tugas akhir. Studi lapangan yang dilakukan adalah melihat baut *joint riding gear* pada mesin granulator. Data yang diperoleh adalah foto dan *history* kerusakan baut *joint riding gear* dari bulan April-Juni 2016 yang menjadi acuan awal dalam identifikasi permasalahan.

3.2.2 Studi Literatur

Literatur utama yang dijadikan pedoman bersumber dari PT. Petrokimia, Gresik, diantaranya:

1. Sumber penunjang berupa buku atau jurnal yang dirasa perlu
2. Penyebab kerusakan suatu peralatan karena pembebanan
3. Solusi-solusi sebelumnya mengenai permasalahan yang sejenis

3.2.3 Investigasi dengan Metode *Root Cause Failure Analysis*

Setelah data yang diperlukan terkumpul, maka dilakukan investigasi dengan metode RCFA sebagai berikut:

3.2.3.1 Findings

Penulis melakukan *findings* dengan menggali informasi dari operator teknis untuk memperoleh informasi peran baut *joint riding gear* pada mesin granulator serta dimensi baut *joint riding gear*, *riding gear*, dan mesin granulator.

3.2.3.2 Diagnose

Diagnose yang dilakukan adalah bertujuan untuk mendapatkan hipotesis awal/ sementara mengenai penyebab kerusakan yang terjadi pada baut *joint riding gear*. Berdasarkan tinjauan pustaka yang dilakukan, diperoleh hasil hipotesis antara lain:

1. *Fatigue* atau kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi di bawah *yield strength* yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Terdapat 3 fase dalam kelelahan yaitu permukaan retak, penyebaran retak, dan patah. Mekanisme dari permulaan retak umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan.
2. *Wrong Design and Manufacturing*
Wrong design dapat menyebabkan kerusakan karena kesalahan dalam menentukan dimensi, pembebanan dan pemilihan material yang akan digunakan.
3. *Overload*
Overload merupakan keadaan ketika beban yang diterima melebihi beban maksimum yang diizinkan atau di atas *yield strength*. Ketika beban yang diterima berlebih, maka akan menimbulkan deformasi pada struktur material. Jika pembebanan berlebih tersebut dilanjutkan hingga mencapai *ultimate strength*, maka akan terjadi *fracture*.

3.2.3.3 Analisis

Proses analisis dilakukan dengan *hypothesis testing* dan *root cause identification* untuk mengetahui akar permasalahan dan menganalisa hipotesis awal. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.2.3.3.1 Perhitungan Analitis

Melakukan analisa kekuatan baut *joint riding gear* sesuai dengan kondisi aktual mekanisme kerja gaya dan tegangan yang terjadi.

3.2.3.3.2 Identifikasi Pola Patahan

Macam-macam pola patahan dapat dipelajari melalui sumber yang terpercaya. Selanjutnya dokumentasi foto patahan pada baut diamati dan diidentifikasi penyebabnya berdasarkan referensi jenis dan pola patahan.

3.2.3.3.3 Permodelan Baut Joint Riding Gear

Analisa dengan simulasi membuat model baut *joint riding gear* secara grafis 3 dimensi menggunakan *software Solidworks*. Permodelan yang dibuat mewakili spesimen yang asli dengan menggunakan gambar teknik yang didapatkan dari pabrik II PT. Petrokimia Gresik.

3.2.3.4 Simulasi FEA

Simulasi dilakukan dengan bantuan *software* FEA. Pada awalnya, model baut yang telah di buat dengan *solidworks* di-*import* ke dalam *software* FEA untuk dilakukan analisa struktural dan permeshingan. Tujuannya adalah untuk mensimulasikan baut *joint riding gear* yang mengalami beban dinamik untuk mengetahui distribusi tegangannya sehingga bisa diketahui penyebab kerusakannya.

3.2.4 Identifikasi Penyebab Kerusakan

Setelah dilakukan perhitungan analitis, identifikasi pola patahan dan simulai dengan menggunakan *software* FEA, maka penyebab kerusakan dapat diidentifikasi. Proses perhitungan analitis dilakukan untuk mengetahui seberapa besar gaya yang diterima dan tegangan yang terjadi pada baut *joint riding gear*. Data hasil perhitungan ini akan dicocokkan dengan spesifikasi

material baut, apakah beban aktual yang diterima melampaui batas maksimal kekuatan material baut. Simulasi dengan menggunakan FEA akan memantapkan benar atau tidaknya hipotesis sebab kerusakan yang terjadi.

3.2.5 Penentuan Solusi Kerusakan

Setelah mengetahui penyebab sebenarnya kerusakan yang terjadi pada baut *joint riding gear* maka solusi akan mudah untuk ditentukan. Dengan bantuan jurnal dan paper yang pernah membahas masalah yang mirip dengan permasalahan yang diangkat, maka solusi yang tepat akan dapat ditentukan. Solusi yang ditawarkan dalam permasalahan ini diharapkan dapat membantu PT.Petrokimia Gresik dalam melakukan proses *maintenance* dan memaksimalkan proses produksi dengan mengurangi presensi kerusakan yang terjadi.

3.2.6 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan langkah akhir dalam penelitian tugas akhir yang menyajikan informasi mengenai kesimpulan yang didapat berdasarkan analisa dan simulasi sehingga dapat memberikan solusi yang tepat dan efektif kepada pihak pabrik II PT. Petrokimia Gresik perihal topik yang diangkat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, pembahasan Tugas Akhir ini akan fokus pada kerusakan baut *joint riding gear* drum granulator Pabrik II Unit phonska I PT. Petrokimia Gresik dengan menggunakan *software Finite Element Analysis* (FEA). Analisa penyebab kerusakan dilakukan dengan mengacu pada kondisi operasional, *history*, foto kerusakan dan informasi penunjang lainnya yang didapatkan dari pihak Unit Phonska 1, Pabrik II PT Petrokimi Gresik. Dengan data yang sudah dikumpulkan, kemudian dilakukan analisa makroskopik untuk mengetahui pola patahan material. Untuk menyempurnakan analisa kerusakan, kemudian dilakukan simulasi menggunakan *software* FEA untuk mengetahui mekanisme kegagalan baut *joint riding gear* pada drum granulator Pabrik II Unit Phonska I PT. Ptrokimia Gresik.

4.1 Riwayat dan Data Kerusakan

Data yang didapatkan dari Pabrik II Unit Phonska I PT. Petrokimia Gresik yang menjadi acuan dasar atau referensi dalam mengidentifikasi kerusakan baut *joint riding gear pada drum granulator* adalah sebagai berikut:

- a. *History* kerusakan
- b. Foto-foto kerusakan
- c. Grafik arus pembebanan
- d. Kondisi aktual operasional

Di bawah ini adalah tabel *history* kerusakan baut *joint riding gear* pada bulan april hingga juni tahun 2016 yang didapatkan dari Pabrik II Unit Phonska I PT Petrokimia Gresik.

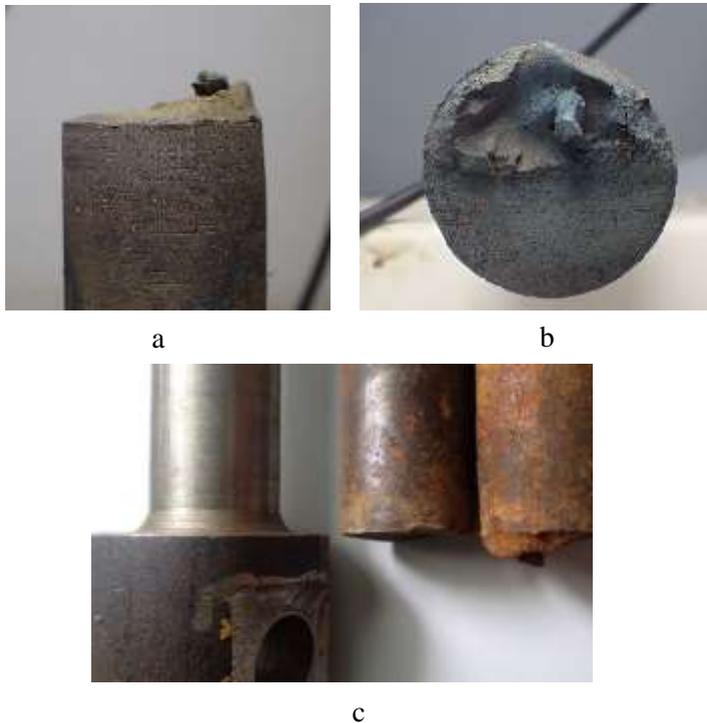
Tabel 4.1 *History* kerusakan baut *joint riding gear*

No	<i>History</i> Kerusakan	Penanganan	Tanggal Kerusakan	Durasi (Jam)	Eksekutor
1	Baut <i>Joint riding gear</i> putus 1 ea	Ganti baut <i>riding gear</i>	10/04/2016	0.5	Mekanik
2	Baut <i>Joint riding gear</i> putus 1 ea	Ganti baut <i>riding gear</i>	14/04/2016	0.5	Mekanik
3	Baut <i>Joint riding gear</i> putus 1 ea	Ganti baut <i>riding gear</i>	14/04/2016	0.75	Mekanik
4	Baut <i>Joint riding gear</i> putus 1 ea	Ganti baut <i>riding gear</i> (1 ea arah laut)	16/04/2016	1	Mekanik
5	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (2 ea)	17/04/2016	1	mekanik
6	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (2 ea)	20/04/2016	1	mekanik
7	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (2 ea)	15/05/2016	1	mekanik
8	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (1 ea)	26/05/2016	0.5	mekanik

9	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (2 ea)	28/05/2016	1.5	mekanik
10	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (1 ea)	29/05/2016	0.5	mekanik
11	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (2 ea)	06/06/2016	1	mekanik
12	Baut <i>Joint riding gear</i> putus	Ganti baut <i>riding gear</i> (2 ea)	12/06/2016	1	mekanik

Dari tabel 4.1 diketahui bahwa baut *joint riding gear* putus dalam waktu yang berdekatan, rata-rata setiap 5 hari. Putusnya baut ini menghambat kinerja *drum granulator* dalam memproduksi granul pupuk. Setiap ada kerusakan baut, proses granulasi harus berhenti untuk mengganti baut yang rusak dengan yang baru. Kejadian seperti ini berlanjut terus dari bulan April hingga Juni 2016.

Gambar 4.1 di bawah ini adalah foto-foto kerusakan baut *joint riding gear* yang didapat dari Pabrik II Unit Phonska I PT. Petrokimia Gresik.

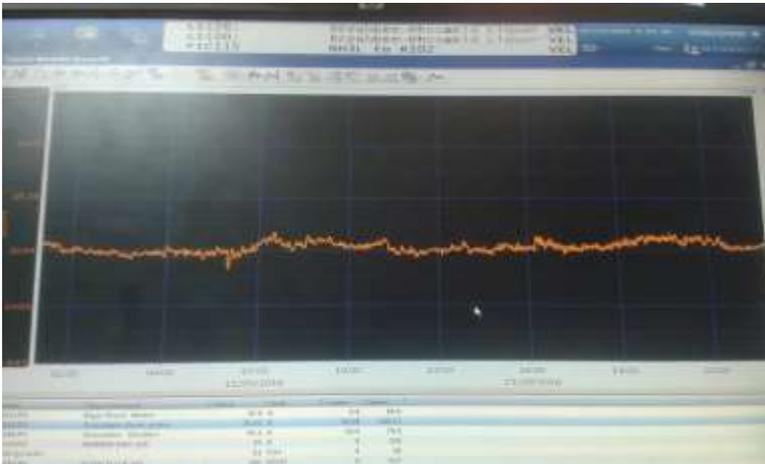


Gambar 4.1 Penampang kerusakan baut *joint riding gear*, a) tampak samping, b) tampak melintang, c) baut *joint riding gear* yang putus dan yang masih utuh

Gambar 4.1 menunjukkan pola patahan baut *joint riding gear*. Dari beberapa kali patah, polanya patahan yang ditunjukkan selalu sama dan berada di bagian leher baut.

Baut ini menahan gaya kontak antara *gear* dan pinion. Proses pembebanan berlangsung dengan arus konstan, hal ini menunjukkan bahwa beban yang diberikan selama operasi adalah konstan.

Di bawah ini adalah diagram arus pembebanan yang direkam oleh pihak Pabrik II Unit Phonska 1 PT.Petrokimia Gresik sesaat sebelum baut mengalami patah.



Gambar 4.2 Gambar diagram arus pembebanan drum granulator Pabrik II Unit Phonska 1 PT. Petrokimia Gresik

Pada grafik tersebut terlihat bahwa rata-rata arus yang terjadi adalah konstan pada angka 20,04 A. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan pada saat itu adalah konstan. Arus ini akan berpengaruh pada analisa apakah baut ini patah dikarenakan beban kejut atau tidak. Apabila grafik menunjukkan ada kenaikan arus tiba-tiba yang cukup tinggi, maka wajar jika baut patah karena adanya beban kejut yang bernilai besar secara tiba-tiba. Namun, pada kasus patahnya baut *joint riding gear* ini, tidak ditemukan adanya pembebanan yang tiba-tiba keluar dari angka pembebanan rata-rata, sehingga patahnya baut ini bukan disebabkan oleh beban kejut.

Data kondisi aktual yang didapatkan dari PT. Petrokimia Gresik adalah:

- Bagian yang patah pada baut adalah pada bagian lehernya. Hal ini disebabkan karena sambungann *gear* mendapatkan gaya kontak *gear* pinion yang menyebabkan geat bagian atas terangkat dari *gear* bagian bawah. Hal ini menyebabkan baut mendapatkan gaya tarik juga hingga patah pada bagian lehernya.
- Pada saat baut patah, operasi mesin berhenti dan bautpun patahpun diganti dengan baut yang memiliki tipe dan dimensi sama dengan baut lama tanpa ada analisa kerusakan pada awalnya. Pada saat proses penggantian baut patah, yang diganti adalah baut yang patah saja, sedangkan baut samping-sampingnya tidak diganti. Padahal pada saat baut mengalami *crack*, baut sampingnya harus menerima beban yang lebih besar dan berkemungkinan mengalami *initial crack*.

4.2 Probabilitas Penyebab Kerusakan Baut *Joint riding gear*

Baut *joint riding gear* adalah bagian penting pada sambungan *riding gear* atas dan bawah pada *drum granulator*. Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, terdapat beberapa kerusakan yang dapat terjadi pada baut *joint riding gear*, antara lain:

1. *Fatigue*

Fatigue atau kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi di bawah *yield strength* yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Terdapat 3 fase dalam kelelahan yaitu permukaan retak (*initial crack*), penyebaran retak (*crack propagation*), dan patah (*final crack*). Mekanisme dari permulaan retak umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan.

2. *Wrong Design and Manufacturing*

Wrong design dapat menyebabkan kerusakan karena kesalahan dalam menentukan dimensi, pembebanan dan pemilihan material yang akan digunakan. Prose manufaktur yang kurang sempurna juga bisa menjadi alasan sebuah benda mengalami kegagalan.

3. *Overload*

Overload merupakan keadaan ketika beban yang diterima melebihi beban maksimum yang diizinkan atau di atas *yield strength*. Ketika beban yang diterima berlebih, maka akan menimbulkan deformasi pada struktur material. Jika pembebanan berlebih tersebut dilanjutkan hingga mencapai *ultimate strength*, maka akan terjadi *fracture*.

4.3 Perhitungan Gaya pada *Riding gear*

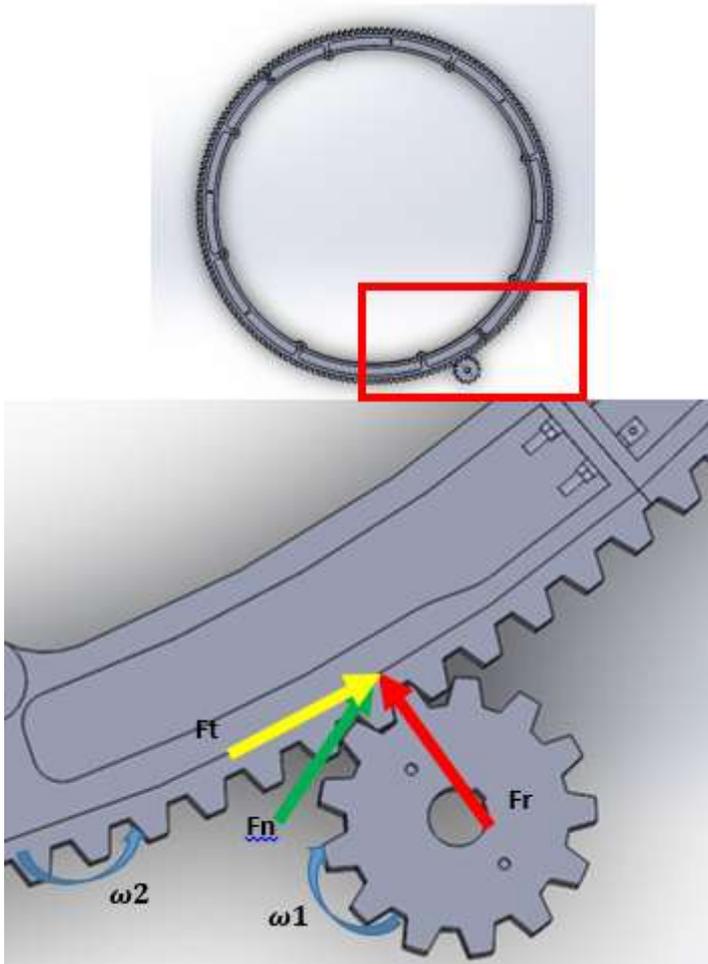
Berdasarkan angka kebutuhan arus listrik motor penggerak yang digunakan untuk menggerakkan *riding gear*, gaya yang bekerja pada *riding gear* dapat dihitung secara teoritis. Untuk menghitung gaya pada *riding gear*, diperlukan data berupa arus pada saat pembebanan, *voltage* motor, kecepatan putar motor, rasio kecepatan putar pada *gearbox* serta jumlah gigi (*number of teeth*) dari *gear* dan pinion. Data-data tersebut dirangkum pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Spesifikasi yang terdapat pada *drum granulator*

	<i>Spesifikasi/Tipe/Nilai</i>
<i>Motor</i>	<i>Motor -- 300 kW 6000 V 1470 rpm</i>
<i>Turbo Coupling</i>	<i>Hydraulic Coupling -- Hydraulic Coupling - 90 kW-1470 rpm -- General</i>
<i>Coupling LS/HS</i>	<i>Spring (Grid) -- Spring-Coupling-43TL2 -- Citroen</i>
<i>Gearbox</i>	<i>SEW-Eurodrive : X3FS1180</i>

	<i>Ratio; 1/22.39</i>
	<i>S Factor; 2.1</i>
	<i>KW; 200</i>
<i>Riding gear</i>	<i>Girth Gear (Riding gear) and Pinion C/W. Shaft -- DWG no: 0812026+0308006 – PETRO Number of teeth = 164</i>
<i>Pinion Gear</i>	<i>Girth Gear (Riding gear) and Pinion C/W. Shaft – D WG no: 0812026+0308006 – PETRO Number of teeth = 23</i>
<i>Riding Ring</i>	<i>Riding Ring -- DWG No: 1003028 -- PETRO</i>
<i>Trunion Roll</i>	<i>Trunion Roll -- Trunion-Roll-0406013 -- PETRO</i>
<i>Thrust Roll</i>	<i>Bearing, Ball, Thrust -- Bearing-6123 -- FAG</i>
	<i>Spherical Roller Bearing -- Bearing-22220E – SKF</i>
<i>Arus saat pembebanan</i>	<i>20.04 A</i>

Gaya yang bekerja pada *riding gear* memiliki arah yang ditunjukkan pada gambar 4.3 di bawah ini. Gaya ini timbul akibat adanya torsi yang memutar pinion untuk menggerakkan *riding gear*. Tujuan dari simulasi menggunakan *software* FEA adalah untuk mengetahui nilai dari tegangan yang terjadi pada saat pembebanan dan pengaruhnya terhadap baut *joint riding gear*. Objek digambar terlebih dahulu dengan menggunakan *software solidworks* sebelum disimulasikan.



Gambar 4.3 Gaya-gaya yang bekerja pada *Riding gear*

Analisa perhitungan gaya dimulai dengan pendekatan perhitungan daya motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan *riding gear*. Berikut adalah urutan perhitungannya:

MOTOR

$$\text{Voltage} = 6000 \text{ Volt}$$

$$\text{Rpm} = 1470 \text{ rpm}$$

Pada saat pembebanan

$$\text{Arus konstan} = 20,04 \text{ A}$$

$$\text{Daya input} = V \times I \times \sqrt{3} \cos \varphi = 6000 \times 20,04 \times \sqrt{3} \times 0,85 = 177,023 \text{ kW}$$

$$\text{Efisiensi motor } \eta = 95 \%$$

$$\text{Daya output} = 0,95 \times 177,023 \text{ kW} = 168,172 \text{ kW}$$

$$\text{Torsi} = \frac{\text{Daya}}{2 \pi \text{ rpm}} = \frac{168.172 \text{ kW}}{2 \pi (1470:60)} = 1,093 \text{ kNm} = 109,300 \text{ Nm}$$

GEAR BOX

$$\eta = 85 \%$$

$$\text{Daya} = 0,85 \times 168,172 \text{ kW} = 142,946 \text{ kW (keluar dari gear box)}$$

$$\text{Rasio Rpm} = 1/22,39$$

$$\text{Rpm} = \frac{\text{rpm motor}}{22.39} = \frac{1470}{22.39} = 65,650 \text{ rpm (keluar dari gear box, ke poros)}$$

$$\text{Torsi} = \frac{\text{Daya}}{2 \pi \text{ rpm}} = \frac{142.946 \text{ kW}}{2 \pi (65.65:60)} = 20,800 \text{ kNm (out)}$$

PINION

$$\text{Rpm} = 65.650 \text{ rpm}$$

$$\text{Number of teeth (n)} = 23$$

$$\text{Torsi} = \frac{\text{Daya}}{2 \pi \text{ rpm}} = \frac{142.946 \text{ kW}}{2 \pi (65.65 \cdot 60)} = 20.800 \text{ kNm}$$

RIDING GEAR

$$n = 164$$

$$\text{rpm} = (65,65 \times 23) : 164 = 9,210 \text{ rpm}$$

Gaya Pada Gear

$$F_t \text{ Gear pinion} = \frac{\text{Torsi}}{r} = \frac{20.8 \text{ kNm}}{2.013 \text{ m}} = 10,332 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} F_r \text{ gear pinion} &= F_t \tan \alpha \\ &= 10,332 \text{ kN} \tan 20 \\ &= 3,760 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F_n \text{ gear pinion} = \frac{F_t}{\cos \alpha} = \frac{10332 \text{ N}}{\cos 20} = 10.995,085 \text{ N}$$

4.4 Probabilitas Penyebab Kegagalan Baut *Joint riding gear* pada Drum Granulator

Berdasarkan dugaan awal mengenai kerusakan baut *joint riding gear*, dapat ditarik beberapa kemungkinan penyebab kerusakan tersebut, antara lain *overload*, adanya konsentrasi tegangan pada baut yang menyebabkan terjadinya *fatigue* (lelah), dan kesalahan *design (wrong design)* atau *Failed manufacturing*

Process. Pada tugas akhir ini, dugaan-dugaan tersebut akan dibahas hingga diketahui apa penyebab dari kerusakan baut. Adanya kemungkinan overload dan konsentrasi tegangan penyebab fatigue akan dibuktikan dengan simulasi menggunakan software FEA. Analisa visual terhadap pola patahan baut juga dilakukan guna memperkuat dugaan baut patah karena fatigue. Setelah itu, hasil proses manufaktur pada baut dilihat untuk menemukan kemungkinan adanya kesalahan proses.

4.4.1 Simulasi Menggunakan Software Finite Element Analysis (FEA)

Berikut adalah data spesifikasi material yang digunakan pada bagian-bagian *riding gear*. Material yang digunakan pada *riding gear* adalah AISI 4340. Berdasarkan *data sheet* yang diambil dari MatWeb mengenai *properties material*, didapatkan beberapa detail sebagai berikut:

• <i>Density material</i>	: 7,85 g/cc
• <i>Tensile Strength, Ultimate</i>	: 1110 Mpa
• <i>Tensile Strength, Yield</i>	: 710 Mpa
• <i>Modulus Elasticity</i>	: 205 GPa
• <i>Bulk Modulus</i>	: 140 Gpa
• <i>Poisson's Ratio</i>	: 0,29
• <i>Shear Modulus</i>	: 80 Gpa
• <i>Specific Heat capacity</i>	: 0,475 J/g- ⁰ C
• <i>Thermal Conductivity</i>	: 44,5 W/m-K

Sedangkan material baut yang dipakai adalah AFNOR 35 CD4, atau *equivalent* dengan AISI 4135. Berdasarkan MatWeb, *properties materialnya* adalah:

• <i>Density Material</i>	: 7,85 g/cc
• <i>Tensile Strength, Ultimate</i>	: 880 Mpa
• <i>Tensile Strength, Yield</i>	: 550 Mpa
• <i>Modulus elasticity</i>	: 205 Gpa
• <i>Bulk modulus</i>	: 160000 Mpa

- *Poission's ratio* : 0,28571
- *Shear Modulus* : 80 Gpa

Model *riding gear* yang akan digunakan pada simulasi dengan menggunakan *software* FEA ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut ini. Gambar ini dimasukkan sebagai geometri yang disimulasikan dengan menambahkan *properties* yang disebutkan di atas. Kemudian, geometri diberi gaya sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan.

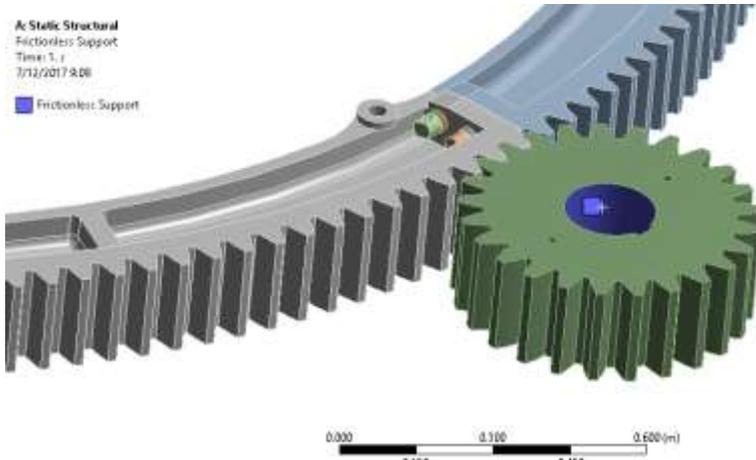


Gambar 4.4 Model *Riding gear* yang disimulasikan pada *software* FEA

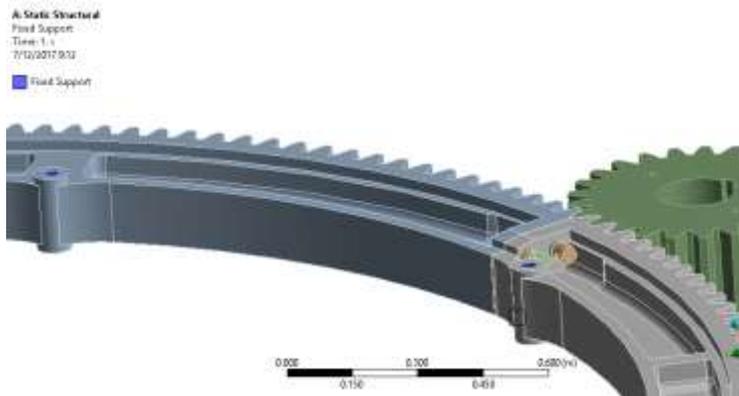
4.4.1.1 Kondisi Batas

Sebelum melakukan simulasi, kondisi batas perlu ditentukan terlebih dahulu. Kondisi batas yang dipakai pada simulasi ini adalah *frictionless support*, *fixed support* dan momen. *Frictionless support* diletakkan pada diameter dalam pinion untuk mendefinisikan pinion menempel pada poros namun masih bisa berputar tetapi tidak bisa terdefleksi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5. Sedangkan *fixed support* dipasang pada semua lubang

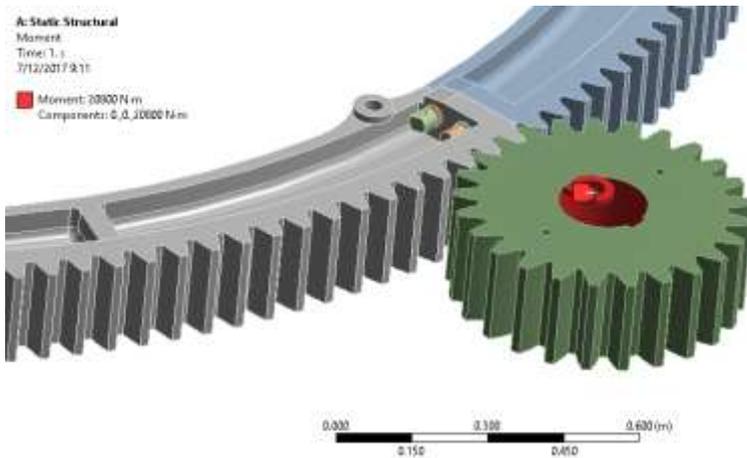
yang menjadi tempat sambungan antara *gear* dan *shell drum granulator* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 untuk mendefinisikan bahwa bagian tersebut tidak bisa bergeser dan terdefleksi. Momen sebesar 20,8 kNm dimasukkan sebagai *input* pada pinion seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.5 *Frictionless Support*



Gambar 4.6 *Fixed support*



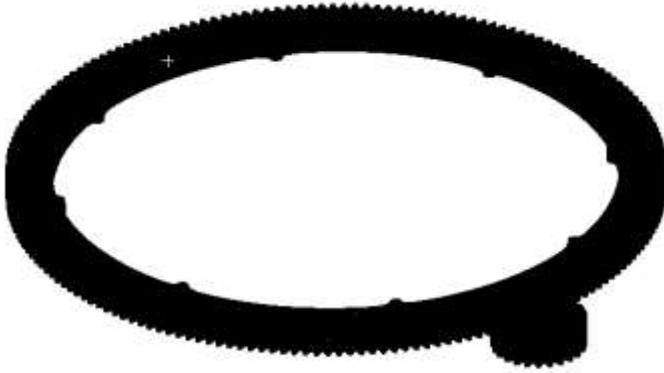
Gambar 4.7 Momen yang diaplikasikan pada pinion

4.4.1.2 Connection

Geometri yang digunakan pada simulasi merupakan file *assembly* dari beberapa *part*. Hubungan antar *part* perlu didefinisikan sehingga hasil simulasi akan akurat. Semua bagian yang bersinggungan didefinisikan memiliki sambungan tipe *rough* kecuali hubungan antara baut dan mur yang didefinisikan memiliki kontak *bonded*.

4.4.1.3 Meshing

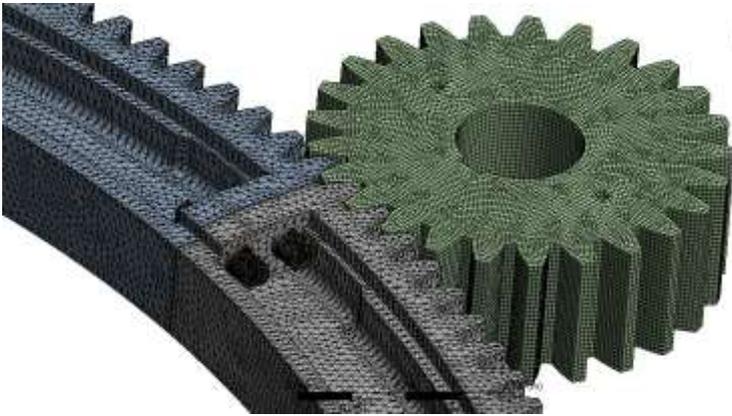
Geometri yang disimulasi sebelumnya harus mengalami proses *meshing* terlebih dahulu. *Meshing* yang dilakukan pada geometri ditunjukkan pada gambar 4.8 berikut ini. Pada simulasi tugas akhir ini, *mesh sizing* yang dipilih adalah tipe *fine* dengan *element size* sebesar 0,006 m. Semakin *fine* (kecil) ukuran *meshing* yang diaplikasikan, maka semakin teliti hasil simulasinya. Pada baut, mur dan *ring*, diberi *face sizing* sebesar 0,002 m. *Face sizing* diberikan pada bagian yang diduga merupakan daerah yang menerima pengaruh paling tinggi pada saat pembebanan. Hal tersebut dilakukan guna melihat lebih detail pengaruh yang terjadi pada saat pembebanan.



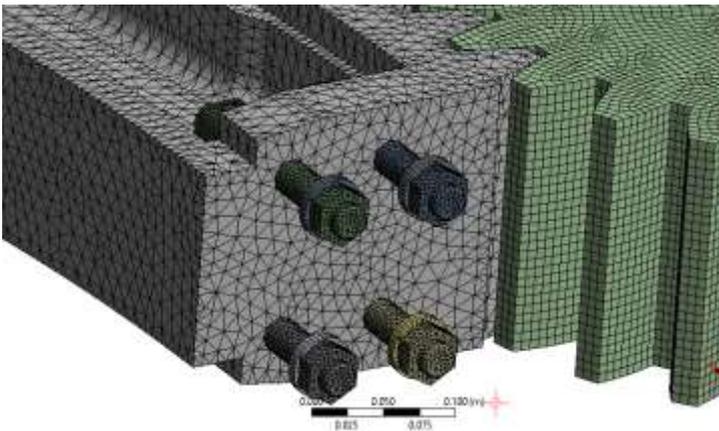
(a)



(b)



(c)

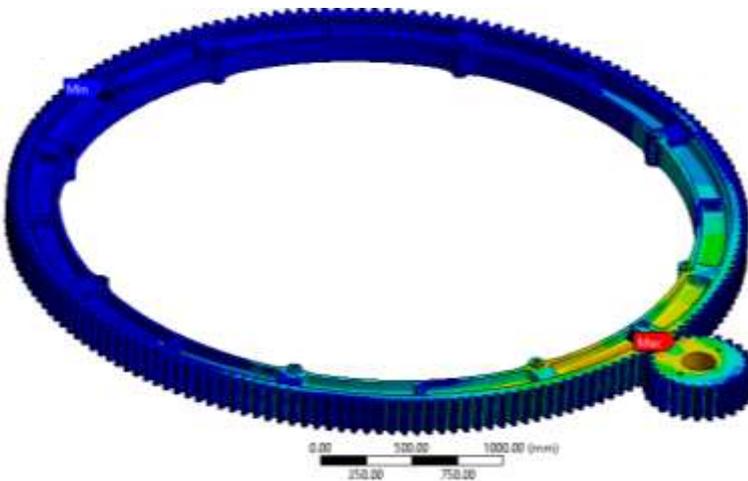


(d)

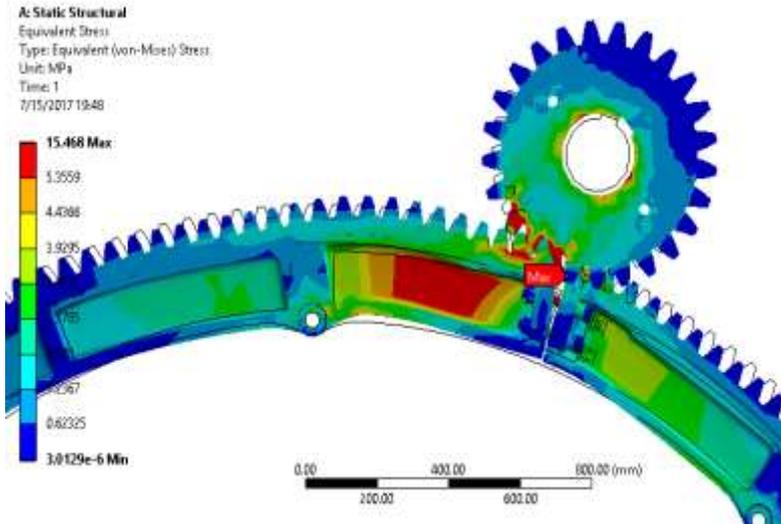
Gambar 4.8 *Meshing* pada software FEA: (a) *Meshing* total, (b) *Zoom meshing* pada pada riding gear, (c) *Zoom meshing* pada pinion, (d) *Zoom face meshing* pada baut, ring dan mur

4.4.1.4 Hasil Simulasi

Simulasi dilakukan untuk mengetahui nilai dari tegangan pada benda yang dikenai gaya. Analisa tegangan dilakukan untuk mengetahui apakah ada konsentrasi tegangan beserta letaknya. Hal ini penting dilakukan untuk memastikan bahwa tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan *yield* material. Hasil simulasi tegangan yang dilakukan software FEA meliputi beberapa analisa antara lain *equivalent stress*, *equivalent elastic strain*, *total devormation*, dan *safety factor*.



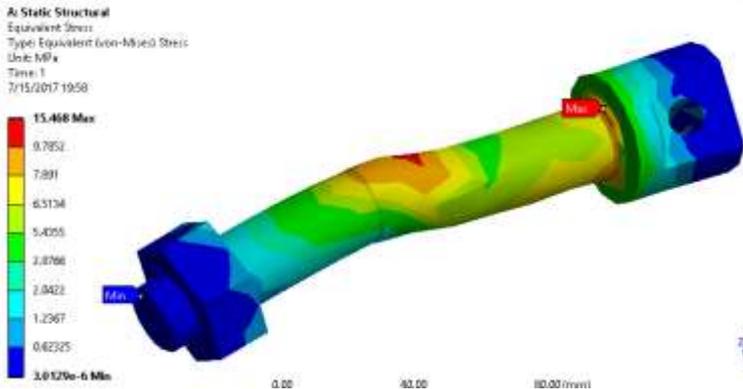
(a)



(b)

Gambar 4.9 (a) Hasil simulasi *Equivalent Stress* (von-Mises) pada sistem, (b) *Stress* yang terjadi pada sistem saat defleksi diperbesar 6400 kali

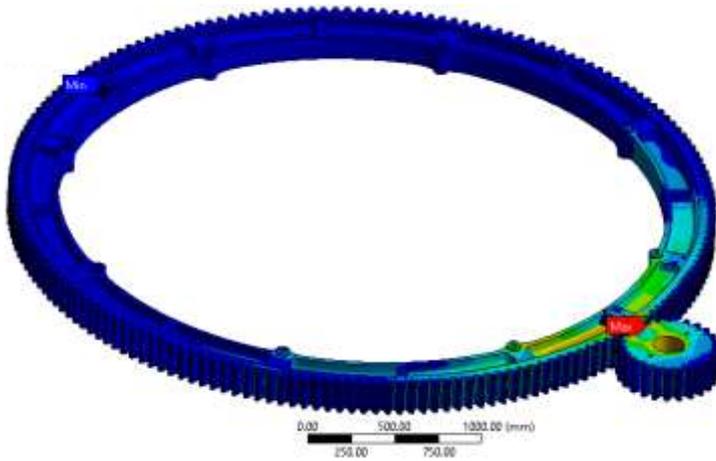
Gambar 4.9 (a) menunjukkan distribusi *stress* pada sistem setelah simulasi dilakukan. Jika defleksi diperbesar hingga 6400 kali, maka gambar hasil proses akan menunjukkan seperti pada gambar 4.9 (b). Perbesaran ini, mampu memberikan informasi bahwa *input* momen dari pinion, membuat *gear* bagian atas terangkat. Gaya kontak antara gear dan pinion menekan gear bagian atas untuk memisahkan diri dari gear bagian bawah sehingga baut menerima beban tarik. Nilai *stress* maksimum yang terjadi pada sistem adalah 15,468 MPa yang berada di bagian gigi pinion.



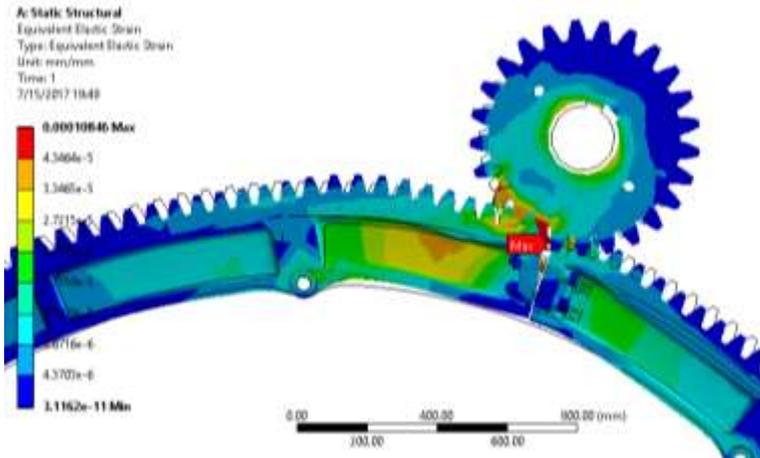
Gambar 4.10 Hasil simulasi *Equivalent Stress* (von-Mises) pada baut

Gambar 4.10 merupakan distribusi *stress* yang terjadi pada baut. Nilai *stress* maksimal baut pada saat beroperasi adalah 15,468 MPa dan terletak di leher baut. Tegangan maksimum pada leher baut ini menyebabkan adanya konsentrasi tegangan yang mengawali *initial crack* untuk proses patah *fatigue*. Bentuk leher baut yang *fillet* dengan diameternya yang membesar pada kepala baut menyebabkan *ring washer* tidak mampu masuk secara sempurna menyentuh bagian dasar kepala baut, sehingga pada saat beroperasi leher baut tertekan oleh *ring washer* dan menerima tegangan yang lebih besar daripada bagian lain di sekitarnya.

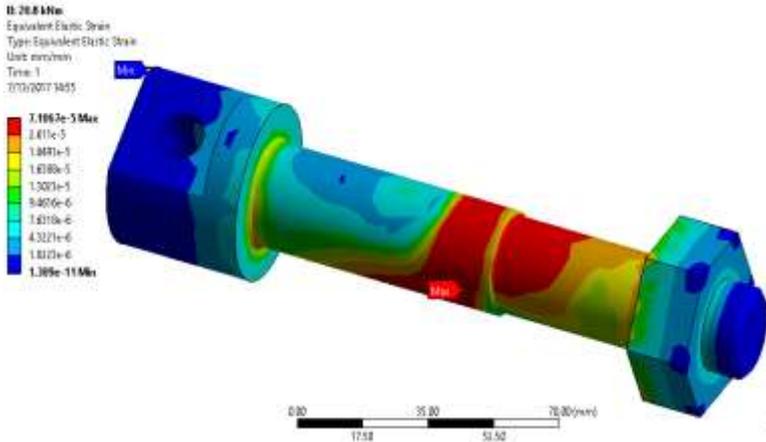
Dengan melihat nilai *stress maximum* hasil simulasi, maka dapat dikatakan bahwa baut mengalami patah bukan akibat *overload*, melainkan akibat *fatigue*. Penyebab terjadinya patah *fatigue* di sini adalah adanya konsentrasi tegangan pada bagian leher yang menerima beban fluktuatif secara berulang di bawah kekuatan material.



(a)



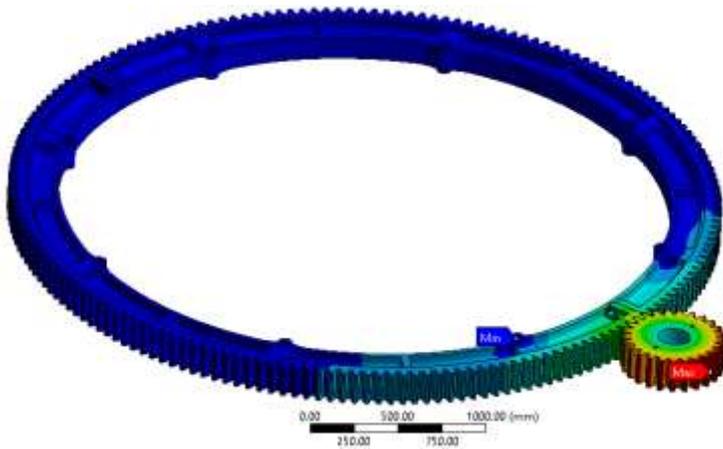
(b)



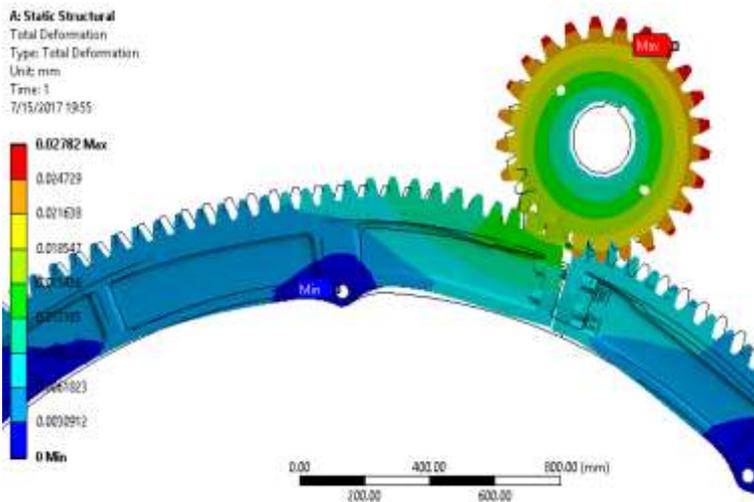
(c)

Gambar 4.11 Hasil simulasi *Equivalent Elastic Strain* (a) pada sistem (b) pada sistem yang diperbesar hingga defleksi 6400 kali (c) pada baut

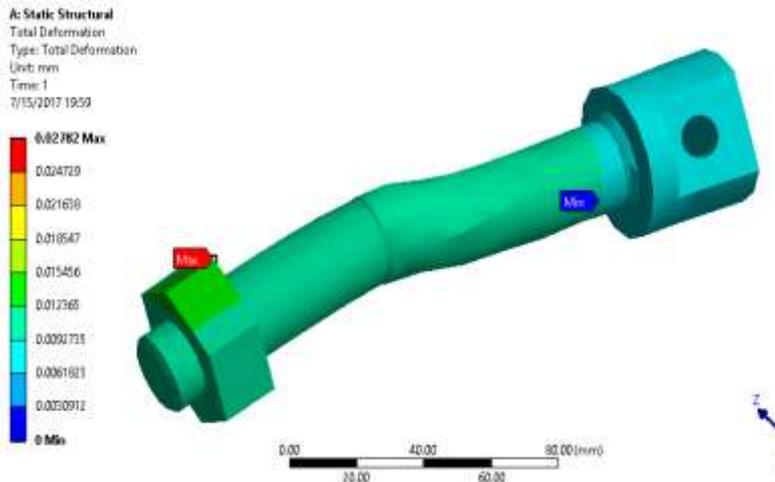
Gambar 4.11 a dan b menunjukkan distribusi regangan pada sistem hasil simulasi *equivalent elastic strain*. *Strain maximum* sistem berada pada gigi pinion yaitu sebesar $1,085 \times 10^{-4}$ mm/mm. Hal ini menunjukkan perubahan ukuran benda dengan ukuran semula sangatlah kecil. Apabila diamati khusus pada bagian baut saja, *strain* maksimum yang terjadi berada pada bagian batang baut yakni sebesar $7,107 \times 10^{-5}$ MPa.



(a)



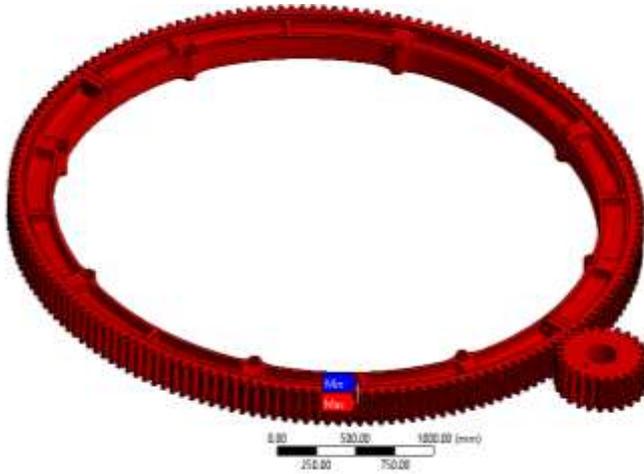
(b)



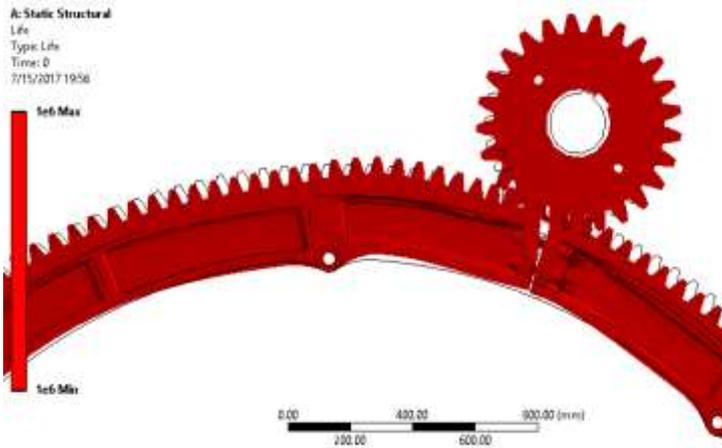
(c)

Gambar 4.12 Hasil simulasi *Total Deformation* (a) pada sistem (b) pada sistem yang diperbesar hingga defleksi 6400 kali (c) pada baut

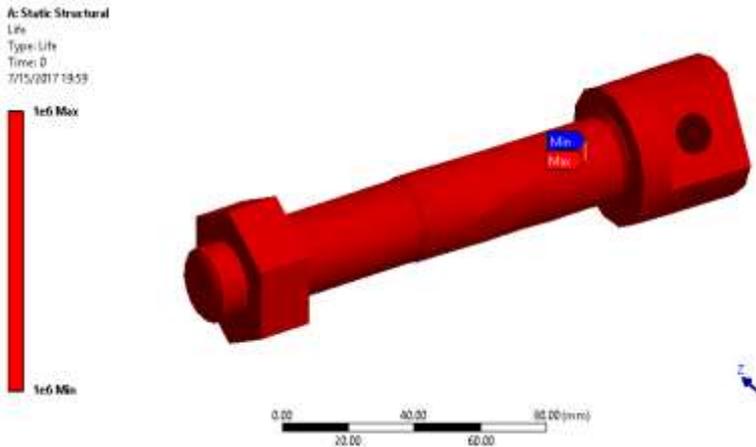
Gambar 4.12 di atas menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi memiliki nilai yang kecil. Pada sistem, deformasi maksimal terjadi pada bagian gigi pinion yaitu sebesar 0,028 mm. Pada bagian baut, deformasi maksimumnya terjadi pada bagian mur nya dengan nilai 0,028 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk yang terjadi pada sistem ataupun baut akibat pembebanan sangatlah kecil.



(a)



(b)



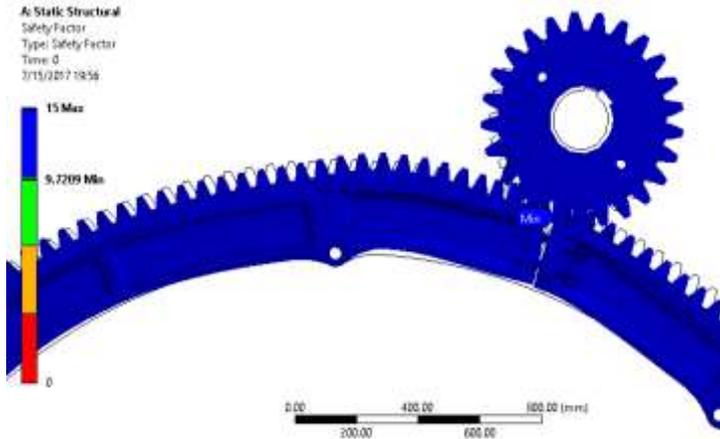
(c)

Gambar 4.13 Hasil simulasi *Life Cycle* (a) pada sistem (b) pada sistem yang diperbesar hingga defleksi 6400 kali (c) pada baut

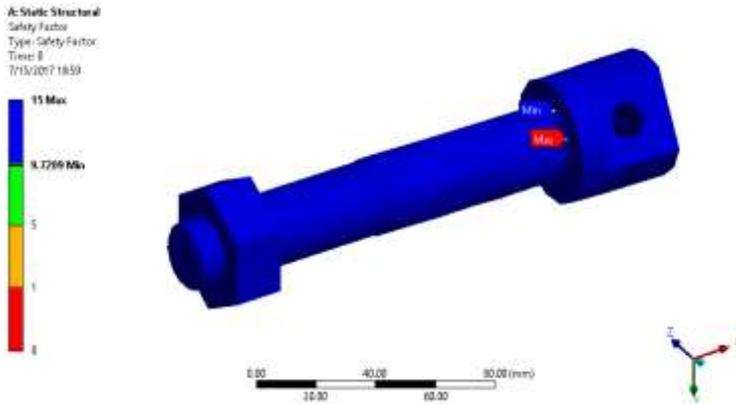
Gambar 4.13 menunjukkan hasil simulasi yang memperlihatkan bahwa *life cycle* yang dimiliki oleh sistem, termasuk baut sangat lama yaitu 10^6 cycle. Hasil simulasi tidak menunjukkan adanya gradasi warna pada sistem. Seluruh bagian geometri berwarna merah bata yang menandakan nilai *fatigue life* nya seragam pada semua bagian. Nilai *fatigue cycle* yang besar ini menunjukkan geometri akan bertahan hingga waktu yang sangat lama.



(a)



(b)



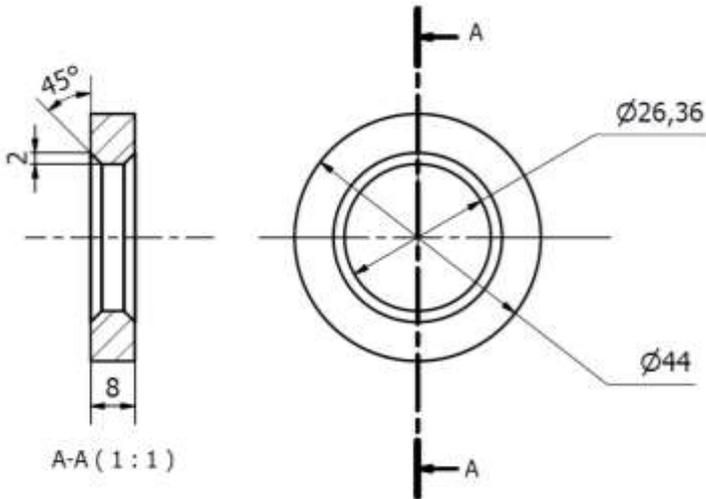
(c)

Gambar 4.14 Hasil simulasi *Safety Factor* (a) pada sistem (b) pada sistem yang diperbesar hingga defleksi 6400 kali (c) pada baut

Gambar 4.14 merupakan hasil simulasi *safety factor* atau angka keamanan geometri yang disimulasikan. Angka keamanan menunjukkan nilai keamanan suatu komponen terhadap pembebanan yang diberikan. Semakin tinggi nilai angka keamanan, maka semakin aman material digunakan. Angka keamanan terkecil berada pada gigi pinion yaitu sebesar 9,721.

Berdasarkan hasil simulasi, hampir semua bagian dari geometri yang di simulasi menunjukkan warna biru yang berarti nilai angka keamanan sistem tinggi. Dengan demikian, secara teoritis, baut masih aman digunakan sebagai *fastener gear* pada *drum granulator*.

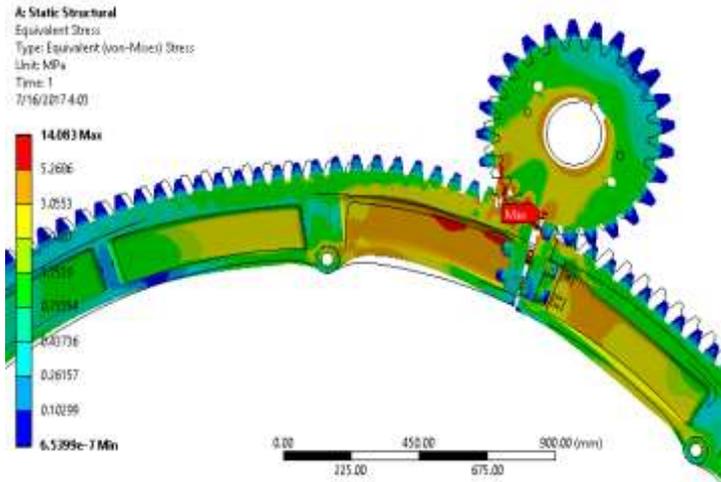
4.4.1.5 Redesign Ring Washer



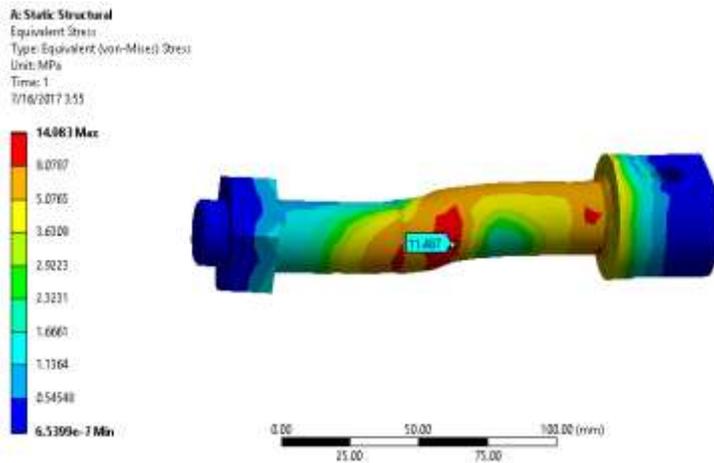
Gambar 4.15 Chamfered ring washer

Hasil simulasi menunjukkan adanya konsentrasi tegangan pada bagian leher baut. Hal ini timbul akibat adanya *ring washer* yang tidak bisa masuk secara sempurna karena adanya *fillet* yang membuat diameter batang baut yang menyentuh kepala baut bagian bawah mengalami pelebaran. Solusi yang ditawarkan adalah dengan mengubah *design ring washer* dengan memberi *chamfer* pada *inner diameter*-nya sebesar $r = 2$ mm, sama dengan jari-jari *fillet* pada leher baut seperti ditunjukkan pada gambar 4.15. Dengan demikian, *ring washer* dapat masuk menyentuh kepala baut hingga sempurna. Setelah itu, hasil *redesign* disimulasikan ulang menggunakan *software Finite Element Analysis* dengan metode serupa dengan simulasi awal.

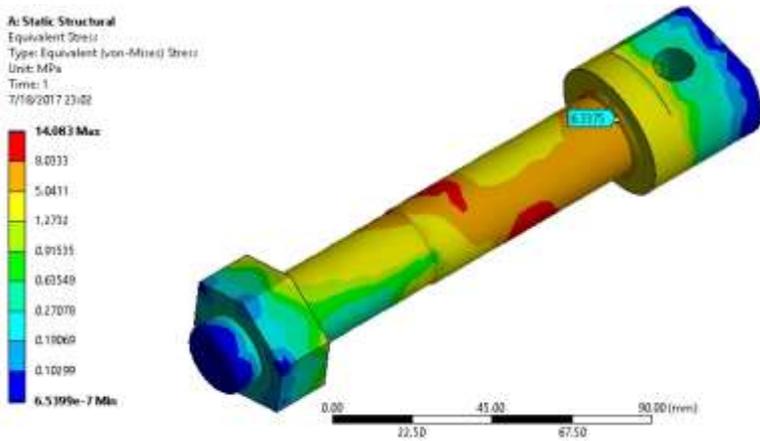
4.4.1.6 Hasil Simulasi Setelah Modifikasi



(a)



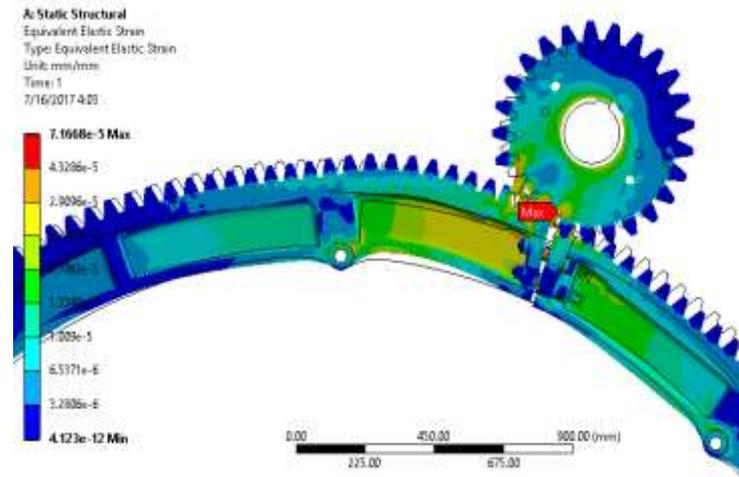
(b)



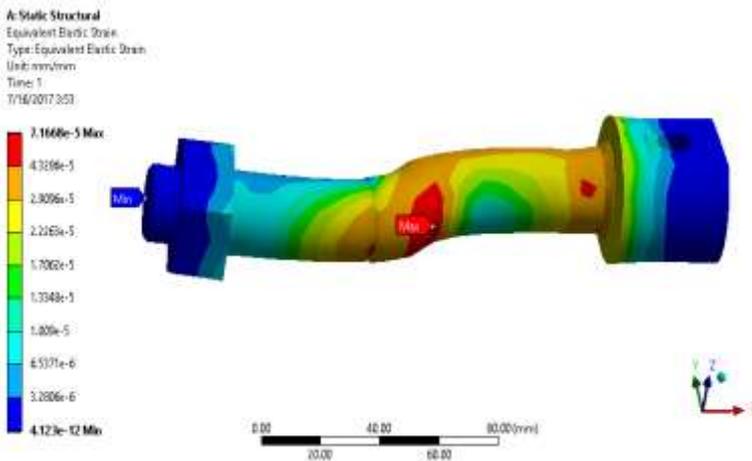
(c)

Gambar 4.16 Hasil simulasi *Equivalent Stress* (a) pada sistem, (b) dan (c) pada baut setelah modifikasi *ring washer*

Setelah mengalami proses *redesign* pada *ring washer*, hasil *running* simulasi menunjukkan bahwa tidak terjadi konsentrasi tegangan lagi pada bagian leher baut seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.16 c. *Stress* di leher baut sekarang menjadi 6,338 MPa, berkurang sebesar 9,131 MPa dari yang sebelumnya. Nilai dari tegangan maksimal sistem juga berkurang dari 15,468 MPa menjadi 14,083 seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.16 a dan b. Dengan demikian *ring washer* hasil modifikasi berhasil mengurangi konsentrasi tegangan yang terjadi di leher baut.



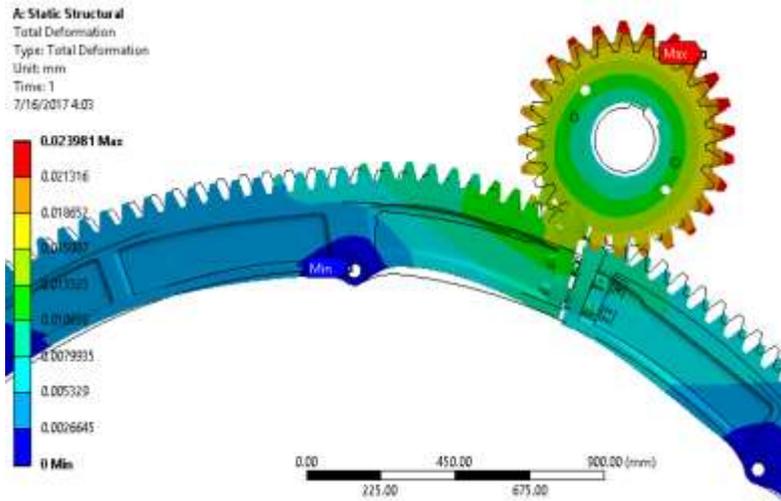
(a)



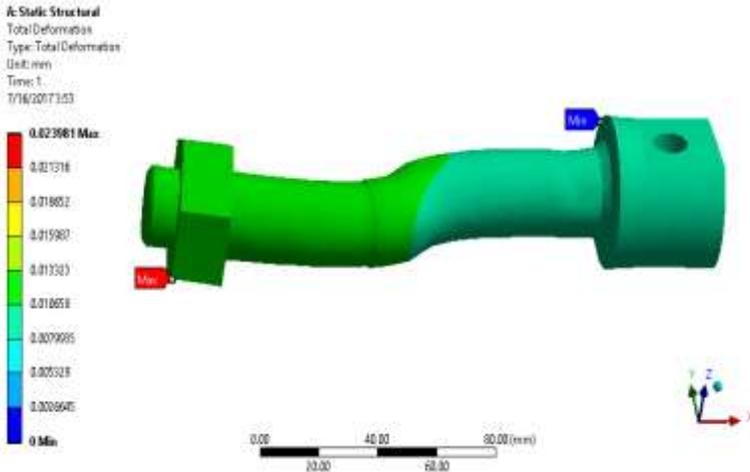
(b)

Gambar 4.17 Hasil simulasi *Equivalent Elastic Strain* (a) pada sistem, (b) pada baut setelah modifikasi *ring washer*

Regangan maksimum yang terjadi, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.17 mengalami penurunan nilai dari regangan maksimum sistem sebelum *redesign washer* sebesar $3,679 \times 10^{-5}$ mm. Regangan sistem maksimal berada gigi pinion yaitu sebesar $7,167 \times 10^{-4}$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17 a, sedangkan baut regangan maksimal berada pada batangnya dengan nilai $7,167 \times 10^{-4}$ seperti ditunjukkan oleh gambar 4.17 b.



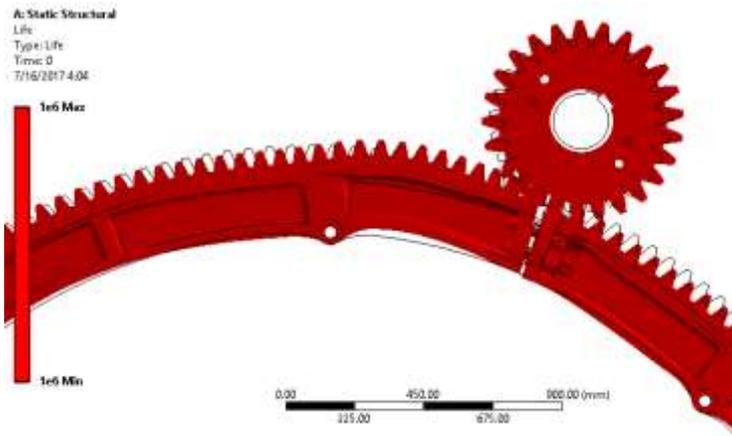
(a)



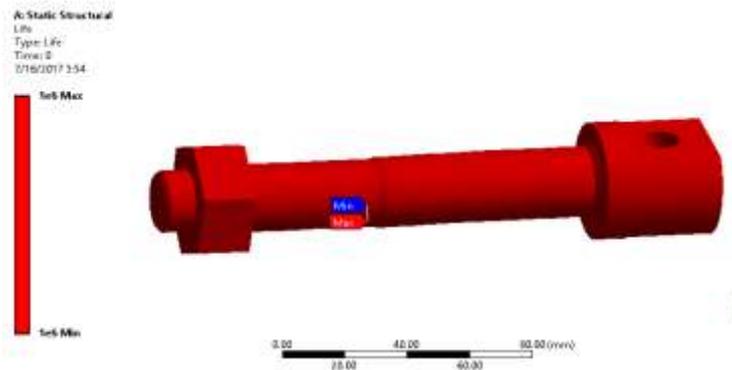
(b)

Gambar 4.18 Hasil simulasi *Total Deformation* (a) pada sistem, (b) pada baut setelah modifikasi *ring washer*

Gambar 4.18 a menunjukkan hasil simulasi *total deformation* yang terjadi pada sistem setelah modifikasi *ring washer*. Deformasi sistem maksimum terjadi pada gigi pinion sebesar 0,024 mm, berkurang sebesar 0,004 mm dari sebelumnya. Sedangkan jika dilihat pada baut sendiri pada gambar 4.18 b, deformasi maksimal terjadi pada batang baut dengan nilai sebesar 0,011 mm, 0,001 mm lebih kecil dari hasil simulasi sebelumnya. Dengan demikian *ring washer* memberi dampak baik dalam mengurangi deformasi pada geometri pada saat pembebanan, meskipun nilainya tidak besar.



(a)

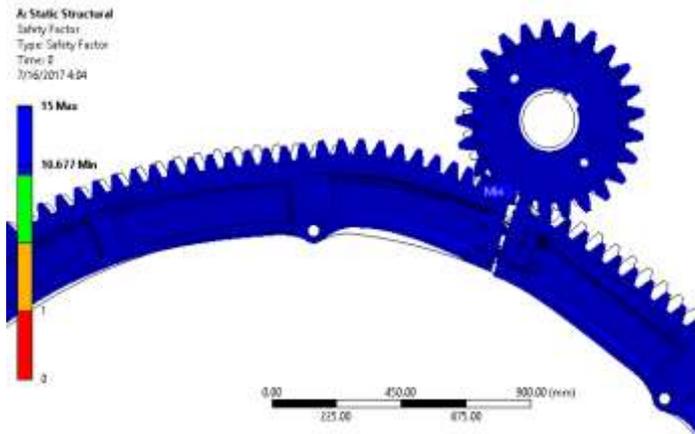


(b)

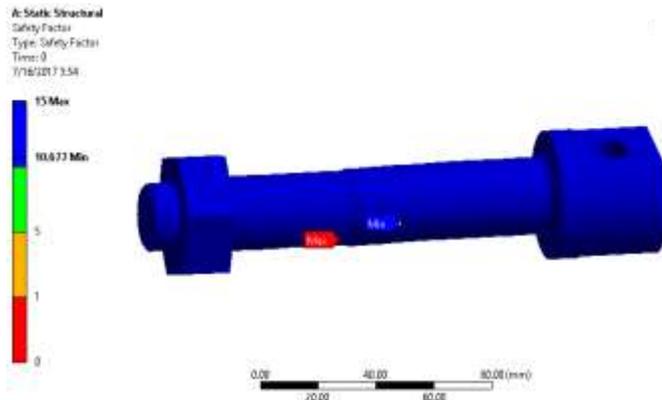
Gambar 4.19 Hasil simulasi *Life Cycle* (a) pada sistem, (b) pada baut setelah modifikasi *ring washer*

Gambar 4.19 menunjukkan hasil simulasi *Life cycle* setelah *ring washer* dimodifikasi. Simulasi menunjukkan hasil yang sama dengan hasil sebelumnya yaitu 10^6 cycle. Hal ini menunjukkan

bahwa secara teoritis geometri bisa bertahan dalam waktu yang lama.



(a)



(b)

Gambar 4.20 Hasil simulasi *Safety Factor* (a) pada sistem, (b) pada baut setelah modifikasi *ring washer*

Safety factor minimum pada sistem dan baut mengalami kenaikan nilai sebesar 0,956 dari 9,721 menjadi 10,677. Gambar 4.20 menunjukkan nilai *safety factor* minimal setelah me-*redesign ring washer* menjadi bentuk *chamfer* pada *inner diameter*-nya. Hal ini menunjukkan bahwa *safety factor* mengalami kenaikan nilai yang berarti semakin aman tingkat keamanan geometri dalam menjalankan pembebanan.

4.4.1.7 Rangkuman Hasil Simulasi

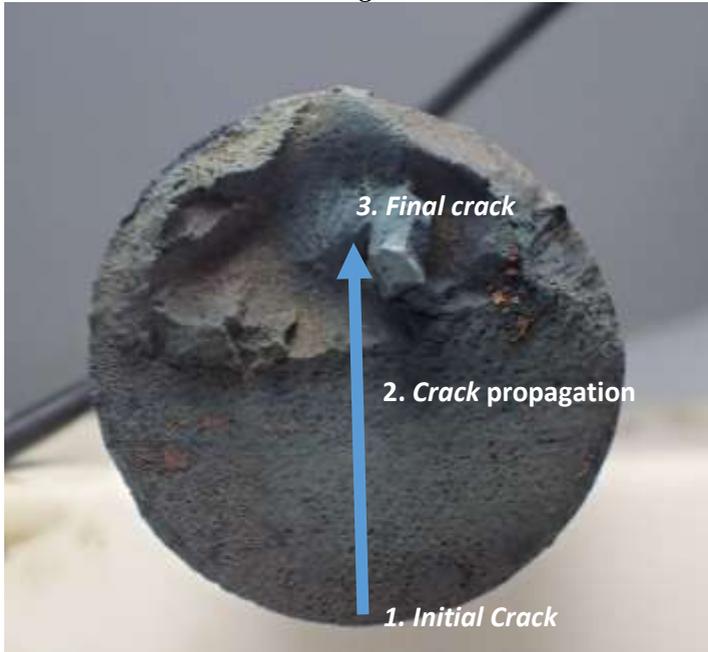
Tabel 4.3 berikut adalah rangkuman hasil simulasi sebelum dan sesudah melakukan *redesign* pada *inner diameter ring washer*

			Simulasi awal	Hasil redesign
<i>Equivalent Stress (Mpa)</i>	Pada Sistem	Nilai max	15,468	14,083
		Letak	Gigi Pinion	Gigi Pinion
	Pada Baut	Nilai max	15,468	11,487
		Letak	Leher Baut	Batang Baut
<i>Equivalent Elastic Strain (mm/mm)</i>	Pada Sistem	Nilai max	$1,085 \times 10^{-4}$	$7,167 \times 10^{-5}$
		Letak	Gigi Pinion	Gigi Pinion
	Pada Baut	Nilai max	$7,107 \times 10^{-5}$	$7,167 \times 10^{-5}$
		Letak	Batang Baut	Batang Baut
<i>Total Deformation (mm)</i>	Pada Sistem	Nilai max	0,028	0,024
		Letak	Gigi Pinion	Gigi Pinion

	Pada Baut	Nilai max	0,012	0,0 11
		Letak	Mur	Batang Baut
<i>Life (Cycle)</i>	Pada Sistem	Nilai max	1.000.000	1.000.000
		Letak	Menyeluruh	Menyeluruh
	Pada Baut	Nilai max	1.000.000	1.000.000
		Letak	Menyeluruh	Menyeluruh
<i>Safety Factor</i>	Pada Sistem	Nilai min	9,721	10,677
		Letak	Gigi Pinion	Gigi Pinion
	Pada Baut	Nilai min	9,721	10,677
		Letak	Leher Baut	Batang Baut

Tabel 4.3 di atas ini menunjukkan perbedaan hasil simulasi sebelum dan setelah dilakukan *redesign* pada *ring washer*. Hasil simulasi pada masing-masing parameter menunjukkan adanya perkembangan yang lebih baik. Nilai *stress* pada sistem dan baut menjadi lebih kecil dibandingkan dengan sebelum *redesign*. Sama halnya dengan *stress*, *strain* yang timbul juga mengalami penurunan nilai. Hal ini juga berdampak pada nilai *total deformation* yang timbul menjadi lebih kecil. *Life (cycle)* yang muncul pada hasil simulasi menunjukkan hasil yang sama karena keterbatasan *software* dalam menunjukkan hasil angka yang besar. *Safety factor* mengalami peningkatan nilai baik pada sistem maupun pada baut. Dengan demikian, *redesign ring washer* dapat membantu meminimalisasi adanya kegagalan pada baut.

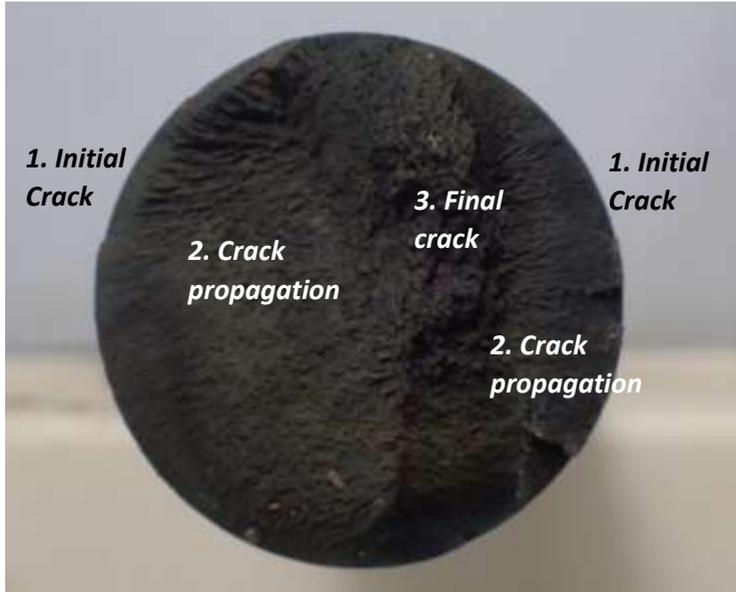
4.4.2 Bentuk Pola Patahan *Fatigue*



Gambar 4.21 Penampang melintang pola patahan baut 1

Berdasarkan pengamatan *visual*, permukaan melintang baut yang patah menunjukkan adanya runtutan proses patah yang dimulai dari bagian *initial crack* dan berakhir pada bagian *final crack*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.21. *Initial cracking* terjadi pada patahan yang tegak lurus secara transversal dengan arah gaya tarik yang terjadi pada baut. Hal ini dapat dilihat secara jelas dengan bentuk pola patahan berpusat atau mengarah pada titik awal *initial crack*. Patahan kemudian terlihat merambat hingga terjadi *crack propagation* dengan arah seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.21. Semakin mendekati bagian *final crack*, permukaan patahan menunjukkan area yang semakin kasar. Karena *area* yang menahan beban pada baut semakin berkurang, maka

pada tahap akhir baut patah dengan cepat dan meninggalkan permukaan yang sangat kasar bergelombang (*final crack*).



Gambar 4.22 Penampang melintang pola patahan baut 2

Gambar 4.22 merupakan penampang melintang baut lain pada *riding gear* yang juga mengalami patah pada saat beroperasi. Jika dibandingkan dengan gambar 4.21, pola patahnya sama namun arahnya berbeda. Berdasarkan gambar 4.22, pola patahan menunjukkan bahwa baut mulai patah pada kedua sisi tepi yang kemudian menjalar ke tengah hingga pada akhirnya patah pada bagian *final crack*.

4.4.3 Failed Manufacturing Finish

Baut *joint riding gear* yang diamati pada tugas akhir ini merupakan benda yang dibuat dengan proses bubut. Bagian leher

baut berbentuk *fillet* dengan diameter sebesar 2 mm. Namun, pada bagian leher baut, terdapat garis-garis melingkar yang membuat permukaannya tidak rata seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.23 di bawah ini. Hal ini merupakan hasil *finishing* proses pembubutan yang kurang baik.



Gambar 4.23 Permukaan leher baut yang tidak rata

Permukaan yang tidak rata (*rough surface*) ini bisa menjadi penyebab awal mula terjadinya patah. Pada saat beroperasi, leher baut bersinggungan dengan *ring washer* serta menerima beban tarik dan tekan selama *riding gear* berotasi. Pada saat beroperasi, daerah yang memiliki cacat (cekungan) akan menerima tegangan yang lebih besar daripada daerah disekitarnya. Konsentrasi tegangan ini menyebabkan terjadinya *initial crack*. *Initial crack* yang dilanjutkan akan menyebabkan adanya perambatan retak ke sisi-sisi sampingnya. Beban fluktuasi yang berulang menyebabkan bagian retak akan semakin merambat dan menyebabkan patah.

Patah *fatigue* merupakan patah yang disebabkan oleh adanya beban yang berfluktuasi di bawah *yiled stress* material. Tahapnya adalah *initial crack*, *crack propagation* (penyebaran retak) dan yang terakhir adalah *final crack*. Hal ini sama dengan yang terjadi

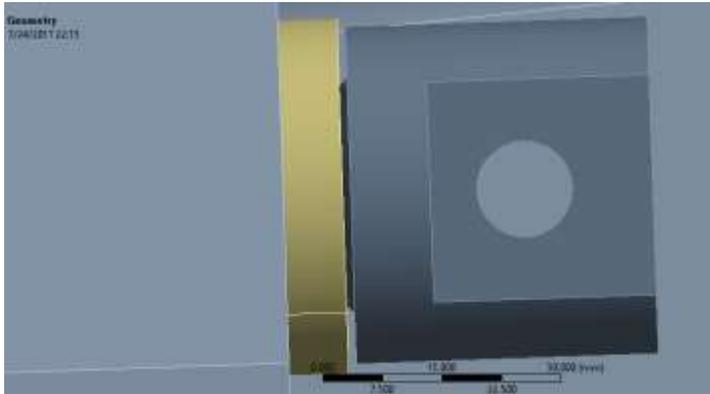
dengan kondisi di lapangan pada saat baut *joint riding gear* beroperasi.

Sebuah *paper* penelitian mengenai *fatigue testing* pada logam menunjukkan bahwa logam yang memiliki permukaan kasar/bergaris-garis cenderung lebih mudah patah daripada yang halus.^[12] Penelitian tersebut menyebutkan bahwa cacat garis ini merupakan tempat awal mula terjadinya patah. Penelitian tersebut menggunakan *test bar* untuk dilakukan *bending fatigue testing* pada spesimen yang memiliki *rough surface* dan tidak. Hasilnya menyebutkan bahwa spesimen yang memiliki *rough surface* lebih cepat patah. Penelitian ini menyebutkan bahwa *fatigue crack* berawal dari sebuah cacat garis yang sangat kecil pada permukaan spesimen, kemudian merambat ke daerah sampingnya hingga terjadi patah. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa *fatigue crack* akan mudah terjadi pada material yang memiliki *rough surface*. Hal ini diperkuat juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Alang dkk dari Universiti Pahang Malaysia yang menyatakan bahwa semakin kasar permukaan spesimen, maka semakin pendek usia *fatigue* nya.^[13] Tiga spesimen (*single cantilever rotating bending model*) dengan kekasaran berbeda 1,778, 2,885 dan 5,484 um dites menggunakan *fatigue testing machine* dengan mengaplikasikan *sinusoidal cyclic load* yang memiliki stress ratio $R = -1$ (*minimum/maximum load*). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa permukaan spesimen yang memiliki kekasaran paling tinggi memiliki *fatigue life* yang paling rendah.

4.4.4. Pemasangan Baut

Baut *joint riding gear* adalah *fastener* yang menyambung *gear* bagian atas dan bawah. Proses pemasangan baut seharusnya menggunakan *torque wrench* sehingga baut terpasang dengan kondisi tidak terlalu rapat atau terlalu longgar. Namun di lapangan, baut tidak dipasangkan demikian melainkan hanya menggunakan palu yang dipukulkan ke baut. Hal ini menyebabkan baut terpasang terlalu rapat. Perkaluan yang seperti ini menyebabkan adanya

pretension pada bagian leher baut yang berbentuk *fillet*. Leher baut tertekan oleh *ring washer* seperti ditunjukkan pada gambar 4.24 di bawah ini. Hal ini menambah faktor penyebab adanya konsentrasi tegangan pada bagian leher baut. Dengan demikian, sebelum mengalami pembebanan, baut sudah mendapatkan tegangan dan gesekan dari proses pemasangan yang tidak sesuai standar.



Gambar 4.24 Posisi *ring washer* yang tidak bisa masuk sempurna pada leher baut

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa kerusakan baut *joint riding gear* pada mesin *granulator* di unit phonska I pabrik II PT. Petrokimia Gresik adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software Finite Element Analysis* (FEA), diperoleh hasil bahwa:
 - *Stress maximum* terjadi pada leher baut dan gigi pinion sebesar 15,468 MPa dimana nilai ini sangat kecil jika dibandingkan dengan *yield Strength* material yaitu sebesar 550 MPa sehingga baut bukan patah akibat *overload*.
 - *Strain maximum* terjadi pada gigi pinion sebesar $1,085 \times 10^{-4}$ mm/mm, sedangkan pada baut sendiri *strain maximum* berada pada batang baut dengan nilai $7,107 \times 10^{-5}$ mm/mm
 - *Total Deformation maximum* yang timbul adalah sebesar 0,028 mm pada bagian gigi pinion, sedangkan pada baut *Total Deformation maximum* nya adalah 0,012 mm (di bagian mur)
 - Nilai *fatigue life* nya sebesar 10^6 cycle
 - *Safety Factor* (angka keamanan) terkecil berada pada gigi pinion serta pada leher baut yaitu sebesar 9,721
2. Baut mengalami patah fatigue pada bagian leher yang dibuktikan dengan:
 - Pengamatan Visual dari foto patahan dan bentuk pola patahannya
 - Bagian yang menerima *stress maximum* adalah leher baut
 - Terdapat garis-garis pada leher baut yang membuat permukaan baut menjadi tidak rata (*rough surface*) akibat proses *machining* yang kurang baik, sehingga menyebabkan adanya konsentrasi tegangan yang memicu terjadinya patah *fatigue*

- Proses pengencangan baut yang berlebih pada saat pemasangan dan tidak memakai *torque wrench* sesuai standar, melainkan hanya menggunakan palu dengan cara dipukul-pukul yang menyebabkan baut mendapatkan *pretension*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak pemeliharaan unit phonska I pabrik II PT. Petrokimia Gresik adalah:

1. *Redesign ring washer* menjadi bentuk *chamfered* pada bagian *inner ring* untuk mencegah terjadinya konsentrasi tegangan pada leher baut
2. Proses *machining* pada saat pembuatan baut harus diperhalus sehingga tidak ada *notch* atau permukaan yang kasar agar tidak menjadi sumber konsentrasi tegangan pada saat sistem beroperasi.
3. Pada saat penggantian satu baut yang patah, baut yang lainnya seharusnya juga ikut diganti karena bisa saja baut yang lain sudah mengalami *crack initiation* pada saat baut satu patah.
4. Proses pengencangan baut pada saat pemasangan seharusnya menggunakan *torque wrench* sesuai standar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budynas, R. G., Nisbett, J. K., 2011. **Shigley's Mechanical Engineering Design**. New York : McGraw-Hill
- [2] Corrosion Testing Laboratories. 2007. **fatigue Failure**. (<http://www.corrosionlab.com/papers/technical-brief-fatigue-failure.htm>, diakses tanggal 28 Desember 2016)
- [3] ASM Handbook Committee. 2002. **ASM Metals Handbook Vol. 11: Failure Analysis and Prevention**. Ohio: ASM International
- [4] Fuchs, H.O., Stephens, R.I. 1980. **Metal Fatigue in Engineering**. New York: John Wiley & Sons, Inc
- [5] Ibad, Ilham Khoirul., Rochiem, Rochman. 2014. **Analisa Kegagalan Baut Piston VVCP Gas Kompresor Gemini Ds-504 Emp Malacca Strait Sa**. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [6] Schmid, Stephen R., dkk. 1999. **Fundamentals of Machine elements**. New York: McGraw-Hill Higher Education
- [7] Totten, George. 2008. **Fatigue Crack Propagation**. Seattle, Washington: G.E. Totten & Associates LCC.
- [8] Budynas, R. G., Nisbett, J. K., 2011. **Shigley's Mechanical Engineering Design**. New York : McGraw-Hill
- [9] Eccles, Bill. 2011. **Why Nuts and Bolts can Self-Loosen**. Bolt Science. (http://www.boltscience.com/pages/Why_nuts_and_bolts_can_self-loosen.pdf, diakses tanggal 28 Desember 2016)
- [10] Nuur, Raditya Ashwidin. 2016. **Analisa Kegagalan Riding Gear pada Rotary Dryer dengan Variasi Pembebanan (Studi**

Kasus: Pabrik II PT.Petrokimia Gresik). Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

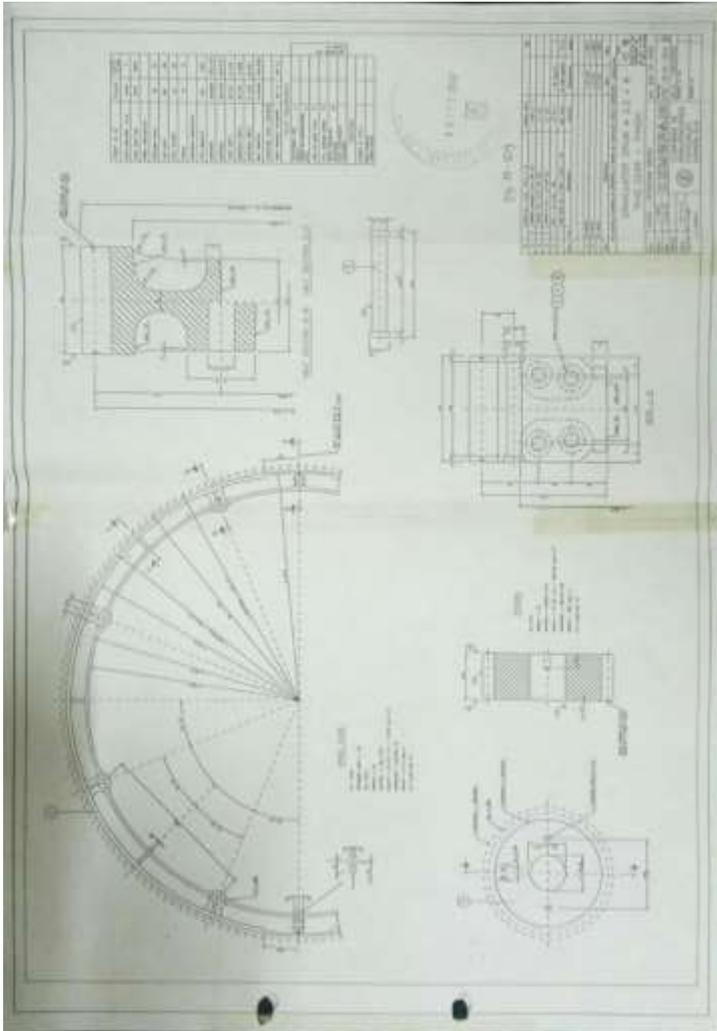
[11] Loekito, Evelyn. 2016. **Studi Analisa Kegagalan Impeller dari Brake Cooling Fan Assembly dan Bolt dari Brake Assembly pada Pesawat Airbus A320-200.** Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

[12] Persson, Gerhard. 1982. *Influence of Surface Finishing on Fatigue Properties of Valve Steel.* Sandviken: Steel Division R&D Center Sandvik AB Sweden

[13] Alang, NA., dkk. 2011. *Effect of Surface Roughness on Fatigue Life of Notched Carbon Steel.* Pahang Darul Makmur: Faculty of Mechanical Engineering Universiti Malaysia Pahang

LAMPIRAN 1

Gambar Teknik Sistem Riding Gear pada Mesin Granulator Unit Phonska 1, Pabrik II PT. Petrokimia Gresik



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

TENTANG PENULIS



Achmad Rizal Mustaqim, penulis yang lahir di Pasuruan, 3 Juli 1994 merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Mustakim dan Ibu Hamidah. Penulis mengenyam pendidikan di SDN Glanggang II, kemudian melanjutkan sekolah ke SMP Negeri 1 Bangil. Setelah tamat SMP, penulis melanjutkan ke jenjang pendidikan di SMAN 10 Malang (*Sampoerna Academy*). Setelah dinyatakan lulus dari SMA pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan di salah satu perguruan tinggi terbaik di Indonesia, tepatnya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan memperoleh gelar Sarjana pada bulan September 2017.

Ketika kuliah, penulis mengambil bidang studi Sistem Manufaktur dengan Tugas Akhir spesifik pada bidang Analisa Kegagalan. Semasa kuliah, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT Coca-Cola Bottling Indonesia dan akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT Petrokimia Gresik. Penulis aktif dalam berbagai kegiatan akademik dan organisasi kemahasiswaan. Organisasi kemahasiswaan yang pernah diikutinya yakni Himpunan Mahasiswa Mesin dan Media Komunikasi Teknik Mesin ITS. Penulis juga berperan aktif menjadi pengisi materi aktif dalam pelatihan leadership dan manajerial mahasiswa. Penulis dapat dihubungi melalui email berikut: achmadrizal0303@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)