



**TUGAS AKHIR - TL141584**

**OPTIMASI GEOMETRI POROS LOW  
PRESSURE BOILER FEED PUMP - PLTGU  
PT. PJB UP GRESIK DENGAN METODE  
ELEMEN HINGGA**

**LISA DIAH RAHAYU  
NRP 2712 100 049**

Dosen Pembimbing :  
Budi Agung Kurniawan, ST.,M.Sc  
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**TUGAS AKHIR - TL141584**

**GEOMETRI OPTIMATION of LOW  
PRESSURE BOILER FEED PUMP SHAFT -  
PLTGU PT. PJB UP GRESIK USE FINITE  
ELEMENT METHODE**

**LISA DIAH RAHAYU  
NRP 2712 100 049**

Dosen Pembimbing :  
Budi Agung Kurniawan, ST.,M.Sc  
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



---

**OPTIMASI GEOMETRI POROS LOW PRESSURE  
BOILER FEED PUMP - PLTGU PT. PJB UP GRESIK  
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Bidang Korosi dan Analisa Kegagalan  
Program Studi – S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**LISA DIAH RAHAYU**

NRP. 2712 100 049

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Budi Agung  
Kurniawan, ST., M.Sc. (Pembimbing I)
2. Mas Irfan P. Hidayat  
S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing II)



---

Laporan Tugas Akhir  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



---

## OPTIMASI GEOMETRI POROS LOW PRESSURE BOILER FEED PUMP - PLTGU PT. PJB UP GRESIK DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

**Nama** : Lisa Diah Rahayu  
**NRP** : 2712100049  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi, ITS  
**Dosen Pembimbing** : Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc  
Mas Irfan P. H., ST., M.Sc., P.hD

### ABSTRAK

*Low Pressure boiler feed pump (LP BFP)* adalah salah satu pompa yang ada pada unit pembangkitan PLTGU, pada pengoperasian pompa ini sering terjadi permasalahan patahnya poros dimana dalam setahun bisa terjadi 8-10 masalah mengenai patah poros yang kebanyakan terjadi di sekitar ujung poros. Melihat seringnya kerusakan maka dibutuhkan evaluasi pada desain lama dan pembuatan desain baru sehingga kerusakan serupa dapat dihindari. Pada desain poros ada beberapa posisi yang biasanya terdapat konsentrasi tegangan yang tinggi yaitu pada daerah dimana ada perubahan diameter, rumah pasak, ataupun ketika adanya ulir sehingga modifikasi dilakukan pada daerah-daerah tersebut. Dari simulasi yang dilakukan didapatkan hasil bahwa distribusi tegangan pada poros desain awal rentan mengalami kegagalan pada ujung-ujungnya. Besar tegangan pada ujung poros yang berdekatan dengan impeller dan ujung poros yang berdekatan dengan motor masing-masing sebesar 425.80 MPa dan 409.98 MPa. Modifikasi geometri poros dapat mereduksi tegangan yang terjadi pada poros, besar penurunan tegangan yang dihasilkan pada ujung poros yang berdekatan dengan impeller sebesar 6.44% (425.80 MPa menjadi 398.37 MPa) sedangkan pada ujung poros yang berdekatan dengan motor sebesar 12.35% (409.98 MPa menjadi 359.31 MPa)

**Kata kunci** : Optimasi, Poros, *Low Pressure Boiler Feed Pump*, PLTGU, Metode Elemen Hingga, ANSYS

---



---

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



---

## **GEOMETRI OPTIMATION of LOW PRESSURE BOILER FEED PUMP SHAFT - PLTGU PT. PJB UP GRESIK USE FINITE ELEMENT METHODE**

**Name** : Lisa Diah Rahayu  
**NRP** : 2712100049  
**Department** : Teknik Material dan Metalurgi, ITS  
**Advisor** : Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc  
Mas Irfan P. H., ST., M.Sc., P.hD

### **ABSTRACT**

Low pressure boiler feed pump (BFP LP) is one of pump that work at PLTGU generation units. When this pump operated, failure on shaft frequently happen, in a year 8-10 case about the shaft farcture on the end of shaft. Because of that evaluation of shaft deswign needed and making new design to avoid failure in the future. On shaft design, there are several position that have high stress concentration, the position are on diameter changing, keyways, thread so modification focuse on this area. From the simulation, known that the stress distribution of initial design of low pressure boiler feed pump shaft is vulnerable to failure on the end of shaft. Stress that produced on the end of shaft near the impeller and in the end of shaft that near the motor is 425.80 MPa and 409.98 MPa. Modification of shaft geometry can reduce the stress that occur on the shaft. Stress reduction on the end of shaft near the impeller is 6.44% (from 425.80 MPa become 398.37 MPa) and the end of shaft that near the motor is 12.35% (from 409.98 MPa become 359.31 MPa)

**Keyword : Optimation, Shaft, Low Pressure Boiler Feed Pump, PLTGU, Finite Element Methode, ANSYS**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



---

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Pompa.....	6
2.2.1 Klasifikasi Pompa.....	7
2.3 HRSG ( <i>Heat Recovery Steam Generator</i> ).....	13
2.4 Analisa Kegagalan.....	16
2.5 Teori kegagalan .....	18
2.6 <i>Fatigue</i> .....	21
2.7 Poros.....	24
2.7.1 Material yang digunakan untuk poros .....	24
2.7.2 Tipe Poros.....	24
2.7.3 Tegangan pada Poros.....	25
2.7.4 Desain poros .....	25
2.7.5 Faktor Konsentrasi Tegangan.....	25
2.8 Geometri Komponen yang mengalami kegagalan .....	29
2.9 Metode Elemen Hingga .....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2 Materi Penelitian .....	36
3.2.1 Objek Penelitian .....	36



---

3.2.2	Peralatan Penelitian .....	39
3.3	Pemodelan dengan ANSYS 15.0.....	39
3.3.1	Pemodelan poros LP BFP.....	40
3.3.2	Properties Material .....	40
3.3.3	<i>Meshing</i> .....	40
3.3.4	Analisis Statis .....	42
3.3.5	Analisis <i>Fatigue</i> .....	42
3.4	Rancangan Penelitian .....	43
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>45</b>
4.1	Analisa Statis .....	45
4.1.1	Analisa Statis Desain Awal .....	45
4.1.2	Analisa Statis Desain Modifikasi.....	52
4.2	Analisa Fatigue .....	57
4.2.1	Analisa Fatigue Pada Desain Awal.....	57
4.2.2	Analisa Fatigue Pada Desain Modifikasi.....	60
4.3	Pembahasan .....	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>65</b>
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>xix</b>



---

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pompa Aksial.....	7
Gambar 2. 2 Pompa Sentrifugal .....	8
Gambar 2. 3 Low Pressure Boiler Feed Pump di PT PJB termasuk pompa sentrifugal .....	9
Gambar 2. 4 Pompa Aliran Campuran .....	9
Gambar 2. 5 Pompa Isapan Tunggal .....	10
Gambar 2. 6 Pompa Isapan Ganda .....	10
Gambar 2. 7 Pompa Jenis Poros Mendatar.....	11
Gambar 2. 8 Pompa Jenis Poros Tegak .....	12
Gambar 2. 9 Pompa Bertingkat .....	13
Gambar 2. 10 Siklus Air dan Steam di HRSG .....	14
Gambar 2. 11 Representasi teori tegangan normal maksimum... ..	19
Gambar 2. 12 Representasi teori tegangan geser maksimum.....	20
Gambar 2. 13 Grafik representasi teori tegangan distorsi energy	20
Gambar 2. 14 Kurva S-N material Nitronic 50 .....	21
Gambar 2. 15 Kerusakan kumulatif pembebanan fatigue .....	22
Gambar 2. 16 Kurva hubungan stress intensity factor dengan laju perambatan retak .....	23
Gambar 2. 17 Daerah kritis pada poros dimana terjadi konsentrasi tegangan .....	26
Gambar 2. 18 Nilai Konsentrasi tegangan-shoulder fillet pada poros dengan beban bending .....	27
Gambar 2. 19 Nilai Konsentrasi tegangan-shoulder fillet pada poros dengan beban torsi .....	27
Gambar 2. 20 Poros low pressure boiler feed pump dan ukurannya .....	29
Gambar 2. 21 Elemen Persegi Empat Sederhana untuk Menjelaskan Analisa Metode Elemen Hingga .....	30



---

Gambar 2. 22 Elemen yang Lazim Digunakan pada Analisa FEM .....	32
Gambar 2. 23 Terminologi Metode Elemen Hingga .....	33
Gambar 2. 24 Hasil meshing .....	34
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 3. 2 Gambar 2D Shaft Low Pressure Boiler Feed Pump	36
Gambar 3. 3 Gambar 3D Shaft Low Pressure Boiler Feed Pump	36
Gambar 3. 4 Detail daerah poros pompa yang mengalami kerusakan.....	37
Gambar 3. 5 Diagram alir pemodelan menggunakan software ANSYS.....	39
Gambar 3. 6 Hasil Meshing poros LP BFP desain awal.....	41
Gambar 3. 7 Hasil Meshing poros LP BFP desain modifikasi ....	41
Gambar 3. 8 Data waktu pembebanan.....	43
Gambar 4. 1 Desain Poros Low Pressure Boiler Feed Pump.....	45
Gambar 4. 2 gambar 3D Poros Low Pressure Boiler Feed Pump	46
Gambar 4. 3 Gaya yang bekerja pada Poros LP BFP.....	46
Gambar 4. 4 Hasil meshing Desain Poros Awal .....	47
Gambar 4. 5 Ilustrasi Pemberian Gaya Pada Poros .....	49
Gambar 4. 6 Pemberian Beban Pada Desain Poros .....	49
Gambar 4. 7 Distribusi tegangan Von mises satuan Pa pembebanan statis desain awal .....	51
Gambar 4. 8 Perbesaran daerah kritis (ujung dekat impeller) pada desain awal .....	51
Gambar 4. 9 Perbesaran daerah kritis (ujung dekat motor) pada desain awal .....	52
Gambar 4. 10 Desain Modifikasi Poros LP BFP.....	53
Gambar 4. 11 Hasil meshing desain modifikasi .....	54
Gambar 4. 12 Pemberian beban pada poros .....	54
Gambar 4. 13 Distribusi tegangan Von mises satuan Pa pembebanan statis desain modifikasi .....	55

---



---

Gambar 4. 14 Perbesaran daerah kritis (ujung dekat impeller) pada desain modifikasi .....	55
Gambar 4. 15 Perbesaran daerah kritis (ujung dekat motor) pada desain modifikasi.....	56
Gambar 4. 16 Distribusi tegangan Von mises satuan Pa desain awal dalam 1 kali siklus .....	58
Gambar 4. 17 Distribusi tegangan Von mises satuan Pa desain modifikasi dalam 1 kali gelombang .....	60
Gambar 4. 18 persebaran beban pada desain poros (a) desain awal , (b) desain modifikasi.....	63



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



---

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin .....	17
Tabel 2. 2 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin .....	17
Tabel 2. 3 Kasus kegagalan material akibat kondisi kerja yang ekstrim.....	18
Tabel 2. 4 Nilai Faktor Konsentrasi tegangan pada beberapa daerah pada poros.....	28
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Nitronic 50.....	37
Tabel 3. 2 Sifat Mekanik Nitronic 50.....	38
Tabel 3. 3 Data kurva tegangan regangan sebenarnya .....	38
Tabel 3. 4 Data Kurva S-N Nitronic 50.....	38
Tabel 3. 5 Datail perubahan geometri poros desain awal dan desain modifikasi.....	44
Tabel 3. 6 Tabel Rancangan Penelitian .....	44
Tabel 4. 1 Distribusi gaya sentrifugal sepanjang poros.....	48
Tabel 4. 2 Distribusi tegangan pada poros desain asli.....	50
Tabel 4. 3 Geometri poros desain awal dan desain modifikasi ..	53
Tabel 4. 4 Distribusi tegangan pada poros desain modifikasi .....	57
Tabel 4. 5 Data hasil simulasi fatigue pada desain awal .....	59
Tabel 4. 6 Data hasil simulasi fatigue pada desain modifikasi...	61
Tabel 4. 7 Perbandingan tegangan pada desain awal dan desain modifikasi.....	62
Tabel 4. 8 Hasil simulasi fatigue desain awal dan desain modifikasi dalam $10^5$ cycle.....	64



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil simulasi numeris diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Distribusi tegangan pada poros *low pressure boiler feed pump* dengan desain awal pada kondisi kerja sekarang rentan mengalami kegagalan pada ujung-ujungnya. Besar tegangan yang dihasilkan pada ujung poros yang berdekatan dengan impeller dan ujung poros yang berdekatan dengan motor masing-masing sebesar 425.80 MPa dan 409.98 MPa
2. Modifikasi poros *low pressure boiler feed pump* dengan memperbesar ukuran *bore* diameter menjadi 32 mm dan menambahkan *fillet* sebesar 2 mm dapat mereduksi tegangan yang terjadi pada poros. Reduksi tegangan yang dihasilkan pada ujung poros yang berdekatan dengan impeller sebesar 6.44% (425.80 MPa menjadi 398.37 MPa) sedangkan pada ujung poros yang berdekatan dengan motor sebesar 12.35% (409.98 MPa menjadi 359.31 MPa)

#### **5.2 Saran**

1. Untuk simulasi selanjutnya digunakan analisis *dynamic explicit* agar hasil lebih presisi.
2. Untuk simulasi selanjutnya bisa dilakukan variasi modifikasi geometri yang lebih banyak untuk hasil yang lebih optimal.
3. Untuk desain poros *low pressure boiler feed pump* yang telah ada saat ini bisa dimodifikasi untuk kinerja yang lebih optimal.



---

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

PT PJB UP Gresik di dukung oleh 3 jenis pembangkitan, yaitu PLTU dengan memanfaatkan energi uap, PLTG dengan memanfaatkan tenaga gas alam, PLTGU dengan memanfaatkan sistem daur ganda (*combined cycle*) yaitu pembangkit tenaga gas dan pembangkit tenaga uap yang memanfaatkan panas dari gas buang turbin gas untuk memanaskan air di HRSG sehingga menghasilkan uap tekanan tinggi dan rendah. Uap inilah yang akan mendorong sudu-sudu *steam turbine* sehingga menghasilkan energi mekanis untuk memutar generator dan menghasilkan tenaga listrik yang akan disalurkan ke sistem Jawa – Bali.

PLTGU PT PJB UP Gresik mempunyai 9 buah *gas turbine* untuk pembangkitan tenaga gas, 3 buah HRSG dan 3 buah *steam turbine* untuk pembangkitan tenaga uap. Pada sistem pembangkitan uap untuk pembentukan uap yang menggerakkan steam turbine diperlukan *supply* air ke HRSG melalui *boiler feed pump*. PT PJB UP gresik sendiri memiliki 24 boiler feed pump yang terdiri dari 12 High Pressure Boiler Feed Pump dan 12 Low pressure boiler feed pump, pada pengoperasian pompa ini sering terjadi permasalahan patahnya poros pompa dari Low pressure Boiler feed pump dimana dalam setahun bisa terjadi 8-10 masalah mengenai patah poros yang kebanyakan terjadi di sekitar ujung poros. Melihat seringnya kerusakan yang selalu berulang maka dibutuhkan evaluasi pada desain yang lama dan pembuatan desain baru poros pompa dimana kerusakan serupa dapat dihindari.

Guna mendapatkan hasil penelitian yang baik untuk mengetahui efektifitas pada desain lama maupun baru, dapat dilakukan pemodelan distribusi tegangan pada poros pompa tersebut. Beberapa dekade belakangan ini, telah banyak dilakukan eksperimen dan pemodelan dengan menggunakan konsep Metode Elemen Hingga atau Finite Element Method (FEM) yang bertujuan untuk mengamati distribusi tegangan pada komponen-



---

komponen mesin. Metode pemodelan secara numerik ini banyak dilakukan karena dapat menjadi bahan evaluasi yang efektif dan efisien dalam penelitian.

Salah satu software yang menggunakan prinsip metode elemen hingga adalah ANSYS. Penggunaan simulasi dengan software ANSYS dilakukan karena lebih efisien waktu dan harga (Tayade, 2015). Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis distribusi tegangan pada desain lama dan desain baru poros *boiler feed pump* dengan menggunakan software ANSYS/Mechanical APDL Ver 15.0 untuk memperoleh desain yang paling optimal.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana distribusi tegangan poros *low pressure boiler feed pump* yang mengalami kegagalan?
2. Bagaimana alternative geometri poros *low pressure boiler feed pump* yang optimal untuk mencegah kegagalan?

### **1.3 Batasan Masalah**

Beberapa batasan masalah dan asumsi yang digunakan agar penelitian dapat berjalan dengan baik adalah :

1. Komponen poros *low pressure boiler feed pump* memiliki komposisi material dan sifat mekanik yang homogen.
2. Kondisi operasi diasumsikan sesuai dengan standar
3. Posisi pemasangan diasumsikan sudah sesuai prosedur

### **1.4 Tujuan**

Adapun Tujuan yang dilaksanakan pada penelitian ini adalah:

1. Menganalisis distribusi tegangan poros *low pressure boiler feed pump* yang mengalami kegagalan



- 
2. Mendapatkan alternative geometri poros *low pressure boiler feed pump* yang optimal untuk mencegah kegagalan

### **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah didapatkannya informasi mengenai distribusi tegangan dari desain lama maupun baru pada poros *low pressure boiler feed pump*. Hal ini diharapkan dapat menjadi acuan pencegahan terjadinya kembali kegagalan yang serupa pada poros *low pressure boiler feed pump* dikemudian hari dan dasar pengembangan pada ilmu berikutnya.



---

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Sebelumnya**

Kegiatan analisa kegagalan ditujukan untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan yang spesifik dari peralatan, perlengkapan, dan instalasi pabrik serta untuk menentukan tindakan pencegahan agar kerusakan tidak terulang. Manfaat dari analisis kegagalan ini dalam jangka pendek diharapkan dapat memperbaiki desain, proses dan metode fabrikasi peralatan. Untuk jangka panjang digunakan dalam rangka pengembangan material dan sebagai metoda terkini, untuk evaluasi dan memperkirakan unjuk kerja material, serta untuk memperbaiki sistem pemeliharaan dimana hal ini sangat penting dan banyak berguna pada dunia industry, hehingga banyak peneliti yangtertarik dan melakukan penelitian pada bidang ini.

Galih Nurhadyan (2011) melakukan penelitian terhadap kegagalan shaft stainless steel 17-4 ph pada pompa sentrifugal, dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa kerusakan pada poros pompa ini disebabkan oleh kelelahan material. Dari pengamatan didapatkan bahwa terjadinya patah pada poros tersebut dimulai dari adanya *crack initiation* (awal retakan), kemudian crack tersebut mengalami *crack propagation* (perambatan retakan) dan tahap terakhir terjadi *final rupture* (akhir patahan), awal retakan (*crack initiation*) terjadi karena adanya konsentrasi tegangan pada daerah rumah pasak yang memiliki sudut yang tajam.

Agus Dwi Ariyanto (2010) melakukan penelitian terhadap kegagalan poros boiler feed pump, dari hasil penelitian didapatkan bahwa kerusakan yang terjadi disebabkan oleh perencanaan (desain) pasak yang tidak sesuai dengan standar dan konsentrasi tegangan. konsentrasi tegangan terjadi pada sisi tempat kedudukan pasak pada poros. faktor yang mempengaruhi terjadinya konsentrasi tegangan adalah besar kecilnya radius pada sisi kedudukan pasak. konsentrasi tegangan ini mengakibatkan



---

retakan awal yang kemudian menjalar dan mengakibatkan poros tidak mampu lagi menerima tegangan yang bekerja sehingga mengakibatkan poros menjadi patah.

Devi Chandra (2009) melakukan penelitian peningkatan umur lelah poros beralur, adanya alur (*diskontinu*) pada poros mengakibatkan adanya konsentrasi tegangan. Dari hasil modifikasi besarnya tegangan yang bekerja pada poros beralur dapat dikurangi dengan cara penambahan 2 alur bantu pada poros sehingga tegangan tidak hanya terkonsentrasi pada satu titik saja.

Sh. Zangeneh dkk (2013) melakukan penelitian terhadap kegagalan poros stainless steel AISI 304L, dari penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa kerusakan poros disebabkan oleh adanya ukuran radius fillet yang tidak sesuai dan karena adanya cacat yang terjadi akibat proses permesinan pada poros. Selain itu setelah dilakukan pengamatan visual terhadap permukaan poros yang mengalami kegagalan didapatkan bahwa kerusakan terjadi karena kelelahan akibat gaya torsi-bending yang bekerja pada poros selama proses operasi.

Supriyono dan Bintang Adjiantoro (2010) melakukan analisa terhadap kegagalan poros pompa air laut pada unit PLTU, dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil bahwa kerusakan yang terjadi pada poros pompa air CWP ini pada dasarnya disebabkan oleh patah lelah (*fatigue fracture*). Kerusakan jenis ini terjadi akibat beban kerja yang disebabkan oleh pembebanan dinamis berupa torsi dan *rotating bending*. Kerusakan juga disebabkan oleh material yang tidak sesuai standart dan karena adanya korosi sumuran (*pitting corrosion*) yang menyerang pada permukaan poros yang merambat ke pusat poros sehingga mengakibatkan konsentrasi tegangan.

## 2.2 Pompa

Pompa adalah suatu alat atau mesin untuk memindahkan cairan dari satu tempat ketempat lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus. Pompa



beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (*suction*) dengan bagian keluar (*discharge*). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga ( penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran. (Gusniar, 2014)

Pompa adalah salah satu jenis mesin fluida yang berfungsi untuk memberikan energi kepada fluida, dimana fluida adalah zat cair, sehingga zat cair tersebut dapat dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain. Dalam operasinya pompa perlu digerakkan oleh suatu penggerak mula, dalam hal ini dapat digunakan motor listrik maupun motor torak. (Sularso,2010)

### 2.2.1 Klasifikasi Pompa

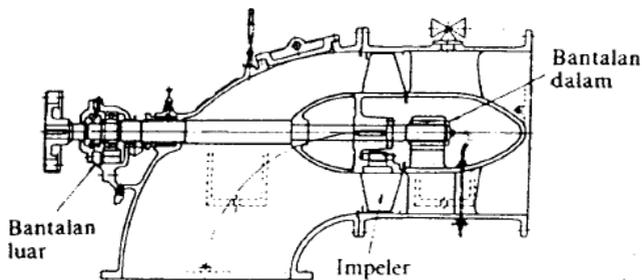
Klasifikasi pompa dapat dibedakan berdasarkan beberapa kriteria atau ketentuan, antara lain:

- a. Klasifikasi menurut jenis arah aliran nya.

Menurut jenis impellernya, pompa dibagi menjadi tiga:

- **Pompa Aksial**

Pompa aksial adalah pompa yang pada saat terjadi kenaikan kecepatan putaran pada *impeller*, aliran pada saluran *discharge* arahnya aksial (searah poros).



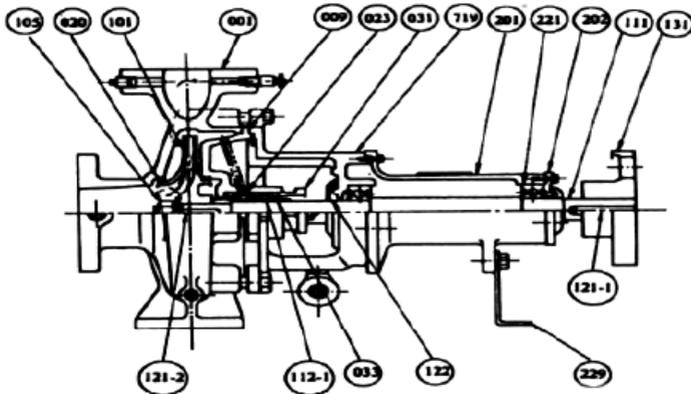
**Gambar 2. 1** Pompa Aksial  
(Rosyid, 2010)



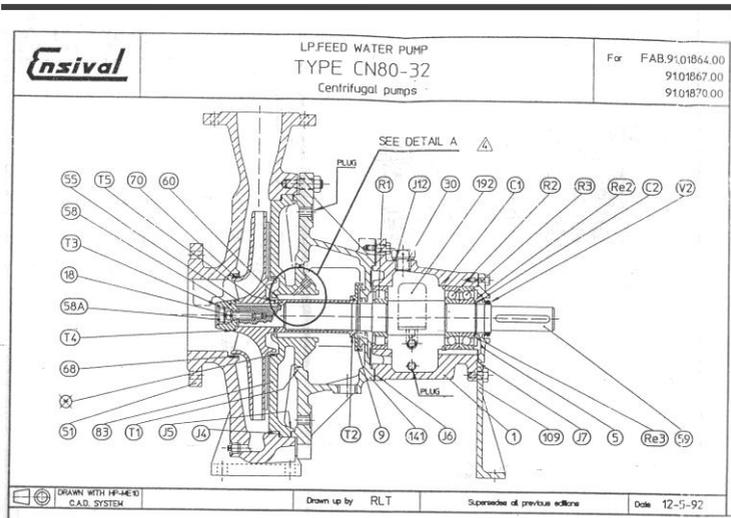
---

- **Pompa Sentrifugal (*Radial*)**

Pompa Sentrifugal adalah pompa yang dimana pada saat terjadi kenaikan kecepatan pada *impeller*, aliran *fluida* pada sisi *discharge* (keluaran) arahnya sentrifugal (tegak lurus terhadap poros).



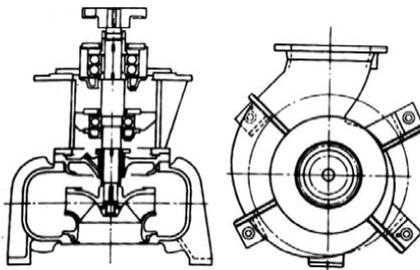
**Gambar 2. 2** Pompa Sentrifugal  
(Rosyid, 2010)



**Gambar 2. 3** Low Pressure Boiler Feed Pump di PT PJB termasuk pompa sentrifugal (PJB Gresik)

- **Pompa Campuran**

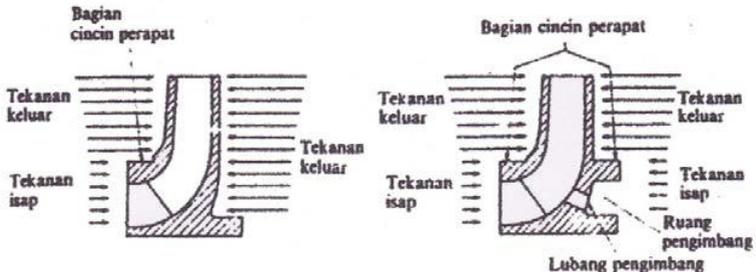
*Mixed pump* adalah pompa yang pada saat terjadi kenaikan kecepatan putaran pada *impeller*, arah aliran pada saluran *discharge* merupakan gabungan antara sentrifugal dan aksial.



**Gambar 2. 4** Pompa Aliran Campuran (Rosyid, 2010)

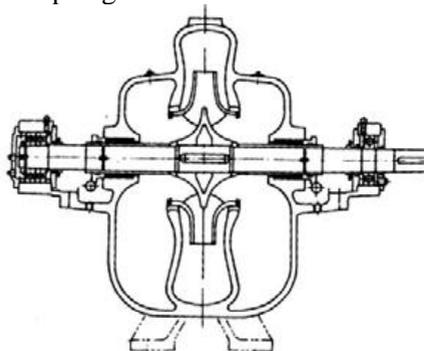


- b. Klasifikasi menurut sisi masuk impeller
- Menurut sisi masuk impeller, pompa sentrifugal dibagi menjadi dua, yaitu:
- Pompa isapan tunggal (*single suction*) yaitu pompa sentrifugal yang mempunyai sisi masuk hanya satu (tunggal).



**Gambar 2. 5** Pompa Isapan Tunggal  
(Rosyid, 2010)

- Pompa isapan ganda (*double suction*), yaitu pompa sentrifugal yang mempunyai sisi masuk ganda atau mempunyai isapan ganda.

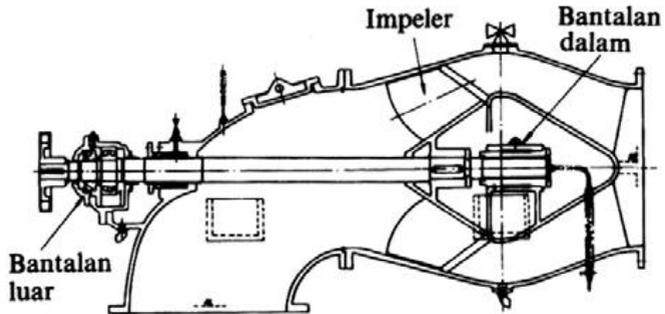


**Gambar 2. 6** Pompa Isapan Ganda  
(Rosyid, 2010)

- c. Klasifikasi menurut jenis poros
- Menurut letak poros, pompa turbo dibagi menjadi dua, yaitu:

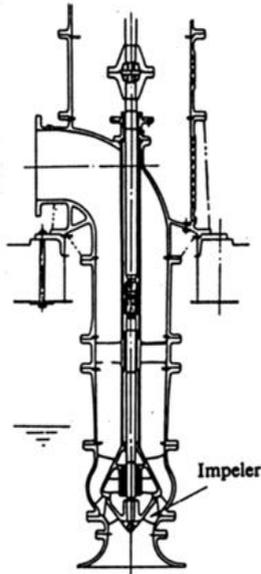


- 
- Pompa jenis poros mendatar, merupakan pompa dengan posisi poros mendatar.



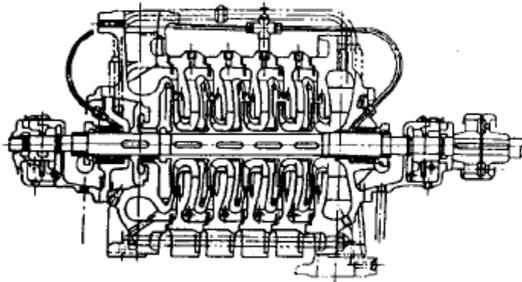
**Gambar 2. 7** Pompa Jenis Poros Mendatar  
(Rosyid, 2010)

- Pompa jenis poros tegak, merupakan pompa dengan posisi poros tegak.



**Gambar 2. 8** Pompa Jenis Poros Tegak  
(Rosyid, 2010)

- d. Klasifikasi menurut jumlah tingkat
- Menurut jumlah tingkatnya, pompa dibagi menjadi dua, yaitu:
- Pompa satu tingkat (*single stage*) yaitu pompa yang mempunyai satu impeller, umumnya head yang dihasilkan rendah.
  - Pompa bertingkat banyak (*multistage*) yaitu pompa yang menggunakan beberapa impeller yang dipasang secara seri (berderet) pada satu poros. Head yang dihasilkan relatif lebih tinggi dibandingkan dengan pompa *single stage*.



**Gambar 2. 9** Pompa Bertingkat  
(Rosyid, 2010)

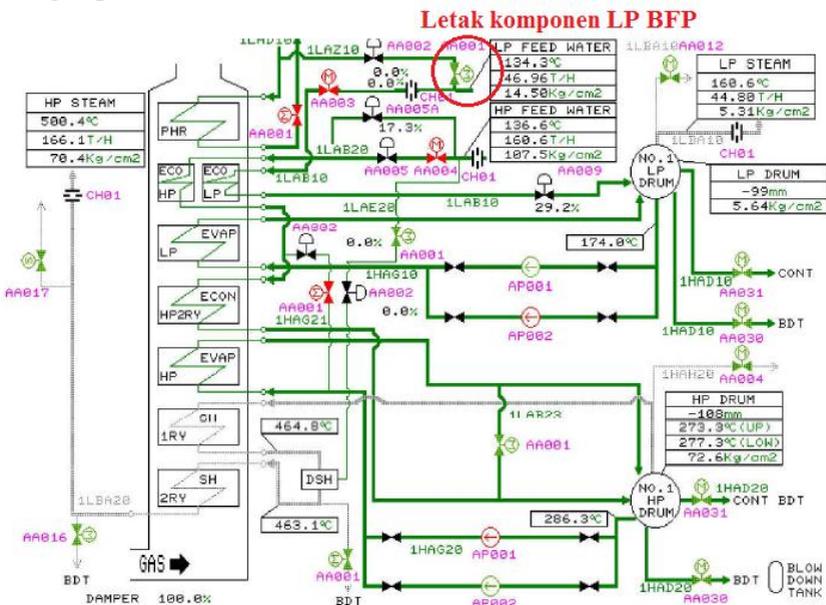
### **2.3 HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*)**

Boiler HRSG sangat bermanfaat untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar yang dipakai pada unit turbin gas, yang selanjutnya akan menggerakkan unit turbin uap. Sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan proses ini disebut Pusat Listrik tenaga Gas dan Uap (PLTGU) atau unit pembangkit siklus kombinasi CCPP (*Combined Cycle Power Plant*). Boiler HRSG adalah bagian penting PLTGU. Dimana unit pembangkit PLTGU disebut juga Blok PLTGU. Siklus Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) adalah gabungan siklus *Brayton* turbin gas dan siklus *Rankine* turbin uap. Boiler HRSG merupakan bagian dari siklus *Rankine*.

HRSG prinsipnya sebagai pembentuk uap bertekanan, dengan media panas berasal dari gas buang turbin gas. Kemudian uap bertekanan tersebut dipergunakan untuk menggerakkan turbin uap dan selanjutnya memutar generator. Produksi uap yang dapat dihasilkan HRSG tergantung pada kapasitas energi panas yang masih dikandung gas buang dari unit turbin gas, yang berarti bergantung pada beban unit turbin gas. Pada dasarnya, turbin gas yang beroperasi pada putaran tetap, aliran udara masuk kompresor juga tetap. Perubahan beban turbin yang tidak konstan dengan aliran bahan bakar mengikuti perubahan, sehingga suhu gas buang juga berubah-ubah mengikuti perubahan beban turbin gas. Suhu gas buang unit turbin gas tetap konstan diperoleh



dengan cara mengatur pembukaan sirip-sirip pemandu aliran udara masuk (IGV, *Inlet Guide Vane*) guna mengatur laju aliran udara masuk ke kompresor, dimana suhu gas buang sebagai umpan baliknya. Sebagian boiler HRSG dapat dilengkapi dengan pembakaran tambahan untuk meningkatkan kapasitas produksi uap nya dan sebagian produksi uapnya dapat digunakan untuk keperluan pemanasan aplikasi lainnya (*cogeneration*). Dengan pembakaran tambahan ini, kestabilan produksi uap HRSG dapat dipertahankan. Sehingga kestabilan turbin uap yang menggunakan uap itu dapat dijaga walaupun beban turbin gas berubah-ubah dan suhu gas buang turbin gas (aliran udara masuk kompresor) tidak harus dijaga tetap konstan (tidak diharuskan pengaturan IGV).



**Gambar 2. 10** Siklus Air dan Steam di HRSG  
(PJB Gresik)

Gambar 2.10 menunjukkan sistem kerja HRSG. Sistem kerja HRSG dimulai dengan masuknya gas buang dari hasil



---

proses turbin gas (*open cycle*) ke dalam HRSG. Gas buang yang masuk mempunyai temperatur yang masih tinggi, yaitu sekitar 540°C hingga dapat digunakan untuk memanaskan air dan membentuk uap di HRSG. Di dalam HRSG terdapat pipa-pipa kecil melintang atau yang disebut dengan *tube-tube*. Isinya adalah air, yang nantinya akan dipanasi oleh gas buang yang masuk, sehingga berubah menjadi uap.

Secara umum proses pemanasan air dalam HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Proses pemanasan air dimulai dari bagian paling atas, yaitu air kondensat dipompa oleh *condensate extraction pump* dipanaskan di *preheater*.
2. Kemudian air yang sudah dipanaskan di *preheater* masuk ke *deaerator*, untuk menghilangkan kandungan udara dan zat-zat terlarut pada air kondensat, air kondensat yang masuk ke *deaerator* di-*spray* dengan uap tekanan rendah sehingga juga menaikkan temperatur air kondensat.
3. Dari *deaerator* untuk air tekanan rendah (*low pressure*) dipompa oleh *LP boiler feed pump (LP BFP)* masuk ke *LP economizer*, lalu masuk ke *LP drum*. Selanjutnya dipompa dengan *LP boiler circulation pump (LP BCP)*, dan dilewatkan melalui *LP evaporator*. Di sini air bertekanan rendah tersebut akan meningkat temperaturnya, dan selanjutnya dialirkan ke *LP Steam drum* untuk dipisahkan antara air dan uap. Untuk air nya ditampung di bagian bawah drum, sedangkan uapnya disalurkan ke *LP steam turbin*.
4. Di sisi *High Pressure (HP)*, dari *Deaerator*, air dipompa oleh *HP Boiler Feed Pump (HP BFP)* masuk ke *HP Primary Economizer*, lalu ke *HP Secondary Economizer*, dan masuk ke *HP Drum*. Selanjutnya dipompa oleh *HP Boiler Circulation Pump (HP BCP)* ke *HP Evaporator* sehingga air bertekanan tinggi tersebut akan meningkat temperaturnya. Dan



---

selanjutnya dialirkan ke *HP Drum* untuk dipisahkan antara air dan uap.

5. Air ditampung di bagian bawah *drum* untuk disirkulasikan lagi. Sedangkan untuk *steam*-nya dialirkan menuju ke *Primary Superheater*. Sebelum dialirkan ke *HP Steam Turbin*, uap kering yang terbentuk terlebih dahulu dialirkan ke *Primary Superheater* dan *Secondary Superheater*. Fungsinya untuk menaikkan temperature uap kering tersebut hingga menjadi uap *superheat* sebelum digunakan dalam proses *HP Steam turbin*, diantara *Primary Superheater* dan *Secondary Superheater* terdapat *Desuperheater* yang berfungsi untuk mengatur temperatur, dimana temperatur *HP steam* dijaga pada set  $507^{\circ}\text{C}$ . menghindari temperatur lebih atau kurang.

(PJB Gresik)

## 2.4 Analisa Kegagalan

Kegagalan atau kerusakan yang biasa terjadi bisa terjadi karena 2 hal yaitu karena umur pakai komponen yang sudah saat nya rusak atau memang karena adanya factor lain yang bisa menyebabkan kerusakan sehingga sebelum umur pakai nya komponen sudah mengalami kerusakan. Jika kerusakan terjadi sebelum umur pakai yang seharusnya maka dibutuhkan suatu analisa untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan tersebut, sehingga selanjutnya kerusakanyang serupa dapat dihindari.

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

**Faktor kesalahan Pemilihan Material**, pada tabel 2.1 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam masalah kegagalan material



**Tabel 2. 1** Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin  
(Brook & Choudury, 2002)

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

**Perawatan Komponen yang Kurang Baik.** Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.2 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

**Tabel 2. 2** Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin  
(Brook & Choudury, 2002)

<b>Permasalahan</b>	<b>Prosentase (%)</b>
<b>Perawatan yang kurang baik</b>	44
<b>Cacat saat fabrikasi</b>	17
<b>Defisiensi desain</b>	16
<b>Pemakaian yang abnormal</b>	10
<b>Cacat material</b>	7
<b>Penyebab yang tidak jelas</b>	6

**Kesalahan dalam Perancangan Komponen.** Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

- Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
- Kegagalan getas akibat beban kejut
- Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
- Static delayed fracture



- Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
- Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat overload
- Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.

**Kondisi Kerja yang Ekstrim.** Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.3 berikut ini:

**Tabel 2. 3** Kasus kegagalan material akibat kondisi kerja yang ekstrim  
(Brook & Choudury, 2002)

Permasalahan	Prosentase (%)
Korosi	29
Kelelahan (fatigue)	25
Kegagalan getas (brittle fracture)	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperature tinggi	7
Korosi SCC, korosi lelah penggetasan hidrogen	6
Pemuluran	3
Abrasi, erosi	3

## 2.5 Teori kegagalan

Kegagalan dapat terjadi karena beberapa faktor yaitu beban statik dan beban mekanis, sehingga sering timbulnya tegangan akibat beban yang melebihi *yield strength*. Pada dasarnya kegagalan dapat terjadi dikarenakan besaran akibat kondisi operasi > sifat kritis material.

Pada umumnya teori kegagalan terbagi menjadi tiga yaitu :

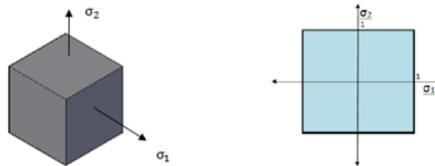
1. Kegagalan statik / *static failure* Kegagalan statik adalah kegagalan yang disebabkan adanya beban dari luar secara statik seperti adanya pengaruh tekanan, beban, momen dan statik lainnya.



2. Kegagalan fatigue / *fatigue failure* Kegagalan fatigue adalah kegagalan yang terjadi karena dipengaruhi oleh waktu dan juga akibat adanya pembebanan secara dinamik yang menyebabkan suatu struktur menjadi lelah.
3. Kegagalan retak / *fracture failure* Kegagalan yang terjadi dikarenakan pengaruh lingkungan.

Pada kegagalan secara statik dapat terbagi menjadi tiga teori, yaitu :

- a. Teori tegangan normal maksimum Kegagalan akan terjadi apabila tegangan utama maksimum sama atau lebih besar dibandingkan tegangan normal maksimum. Untuk tegangan normal positif, keadaan suatu material dikatakan luluh jika misal ada suatu pembebanan dengan  $\sigma_{\max}$ . Dari gambar di bawah ini menjelaskan kriteria tegangan normal maksimum. Kegagalan akan terjadi jika kondisi tegangan akibat pembebanan berada diluar batas. Berikut gambar penjelasan teori tegangan normal maksimum :



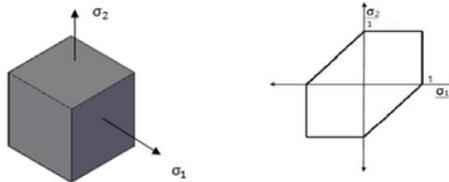
**Gambar 2. 11** Representasi teori tegangan normal maksimum

- (a) Tegangan normal pada gambar 3D ; (b) Tegangan normal dalam 2D

- b. Teori tegangan geser maksimum Teori tegangan geser maksimum sering digunakan pada material yang bersifat ulet. Besarnya nilai tegangan geser maksimum adalah setengah dari nilai tegangan normal maksimum. Keadaan suatu material luluh jika misal ada suatu pembebanan dengan  $\tau_{\max}$ .



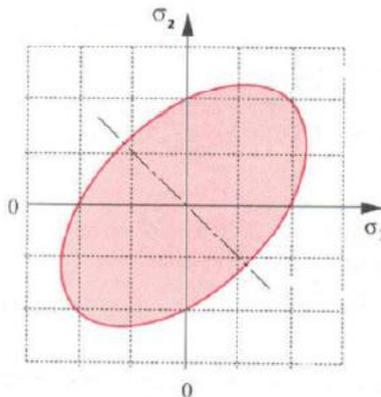
Dari gambar di bawah ini menjelaskan kriteria tegangan geser maksimum. Kegagalan akan terjadi jika kondisi tegangan akibat pembebanan berada diluar batas. Berikut gambar penjelasan teori tegangan geser maksimum :



**Gambar 2. 12** Representasi teori tegangan geser maksimum

c. Distorsi energy

Aplikasi dari teori tegangan geser maksimum sering digunakan untuk kasus pada material ulet. Keadaan suatu material akan luluh jika adanya suatu pembebanan dengan  $S$ . Berikut grafik tegangan distorsi energi dalam 2D:



**Gambar 2. 13** Grafik representasi teori tegangan distorsi energi  
Penggunaan tiga teori kegagalan yang ada, disesuaikan dengan material yang dipakai. Untuk material getas, teori tegangan normal lebih efektif digunakan, sedangkan untuk material ulet



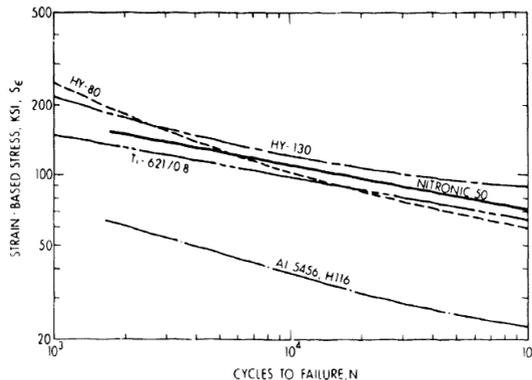
teori tegangan geser dan teori distorsi energi lebih efektif digunakan.

## 2.6 Fatigue

*Fatigue* adalah kegagalan yang terjadi karena pembebanan dinamis dan fluktuatif dengan pebebanan dibawah tegangan luluh untuk beban statis. *Fatigue* merupakan kegagalan terbesar pada kegagalan logam dan hampir 90%. Kegagalan *fatigue* berbahaya, karena tidak memberikan tanda-tanda kegagalan yang jelas. Setiap material umumnya memiliki kurva S-N, dimana *stress amplitudes* sesuai dengan persamaan 2.1, Sedangkan N merupakan logaritma dari jumlah cycle.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{2} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Secara umum *fatigue* life dibedakan menjadi dua, yaitu : low-cycle *fatigue* dan high- cycle *fatigue* . Pada low-cycle *fatigue* terjadi kurang dari  $10^4 - 10^5$  cycle. Sedangkan high-cycle lebih dari  $10^5$  hingga patah (Callister, 2009). Nitronic merupakan salah satu logam yang digunakan sebagai bahan baku produksi poros *low pressure boiler feed pump*, pada gambar 2.14 bisa dilihat kurva S-N nitronic 50.



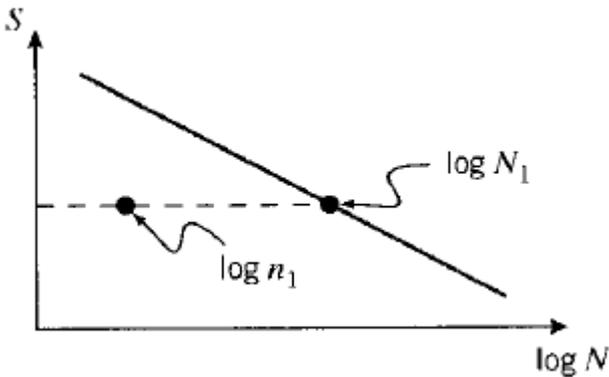
**Gambar 2. 14** Kurva S-N material Nitronic 50  
(I. L Caplan , 1967)



Struktur senantiasa mempunyai spektrum pembebanan dan variabel amplitudo pembebanan. Ketika diberikan variasi pembebanan selama proses kelelahan. Kerusakan kumulatif dapat diperkirakan dengan hukum Miner. Gambar 2.15 memperlihatkan efek kerusakan kumulatif selama pembebanan *fatigue*, di mana  $N_i$  adalah *lifetime cycle* dan  $n_i$  adalah jumlah siklus tertentu yang diinginkan.

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = 1 \dots\dots\dots(2.2)$$

Kelelahan terjadi ketika kerusakan kumulatif  $\geq 1$ . Dimana jumlah siklus pada tegangan tertentu telah melampaui *lifetime cycle*.



**Gambar 2. 15** Kerusakan kumulatif pembebanan fatigue

Pembebanan yang terus menerus dapat menimbulkan inisiasi retak. Dimana jika pembebanan terus dilakukan mengakibatkan perpanjangan retak dengan laju tertentu yang dapat mengakibatkan retak permanen atau bahkan kegagalan material. Laju perambatan retak dapat dijelaskan dengan Hukum Paris yang diberikan pada persamaan berikut ini

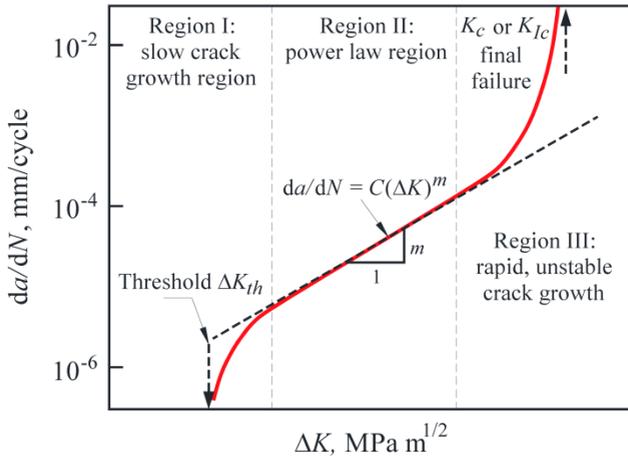
$$\frac{da}{dN} = A\Delta K^m \dots\dots\dots(2.3)$$



$$\Delta K = (K_{max} - K_{min}) \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\Delta K = \sigma_{max} \sqrt{\pi a} - \sigma_{min} \sqrt{\pi a} = \sigma_f \sqrt{\pi a} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana  $\frac{da}{dN}$  adalah laju perambatan retak tiap siklus,  $\Delta K$  adalah *stress intensity factor* selama siklus berlangsung, A dan m adalah parameter yang tergantung pada material, lingkungan, frekuensi, temperatur dan perbandingan tegangan.



**Gambar 2. 16** Kurva hubungan stress intensity factor dengan laju perambatan retak (Callister, 2009)

Hubungan *stress intensity factor* dengan laju permbatan retak dapat plot kedalam tiga daerah (gambar 2.16) pada daerah I pertumbuhan retak sangat lambat dimana dibatasi oleh  $\Delta K_{th}$  perambatan retak lelah tidak teramati. Dengan kata lain, bila  $\Delta K < \Delta K_{th}$  maka retakan tidak akan menjalar. Pada daerah II hubungan antara  $\log \frac{da}{dN}$  dengan  $\Delta K$  dapat dikatakan linear seperti yang dinyatakan dalam hukum paris. Daerah III terjadi percepatan pada laju perambatan retak. Disini harga  $K_{max}$ - $K_{min}$ -mendekati harga *fracture tuoghness* material  $K_c$ .



---

## 2.7 Poros

Dalam buku Machine Design (Khurmi, RS dan Gupta, JK, ) dijelaskan bahwa poros adalah suatu elemen mesin yang berputar untuk meneruskan tenaga dari sumber tenaga ke bagian mesin lain nya. Tenaga di transmisikan pada poros melalui gaya tangensial dan torsi yang kemudian akan disalurkan pada berbagai komponen mesin lain nya, untuk menyalurkan tenaga ini biasa nya melalui gear atau pulley.

### 2.7.1 Material yang digunakan untuk poros

Dalam melakukan pemilihan material untuk poros, harus diperhatikan beberapa hal. Kriteria sifat-sifat material yang penting untuk mendapatkan poros yang baik adalah sebagai berikut:

- Harus mempunyai kekuatan yang tinggi
- Harus mempunyai sifat mampu mesin yang baik
- Mempunyai factor sensitivitas terhadap takikanyang rendah
- Mempunyai sifat heat treatment yang baik
- Mempunyai ketahanan aus yang baik

### 2.7.2 Tipe Poros

Dibawah ini dijelaskan dua tipe poros yang ada yaitu transmission shaft dan machine shaft

- Transmission shaft : adalah poros yang mentransmisikan tenaga dari sumber tenaga menuju komponen mesin lain nya. Counter shaft, line shaft, over head shaft, dan seluruh jenis poros yang digunakan dalam suatu pabrik adalah transmission shaft. Poros jenis ini biasanya mempunyai gear ataupun pulley untuk mentransmisikan tenaga, shaft jenis ini biasanya dikenai bending maupun torsi.
- Machine shaft : poros jenis ini adalah bagian dari suatu mesin itu sendiri, crank shaft adalah salah satu contoh dari machine shaft.



---

### 2.7.3 Tegangan pada Poros

Pada poros ada beberapa jenis tegangan yang bekerja, dibawah ini dijelaskan tegangan-tegangan yang bekerja pada poros

- Shear stress karena adanya torsi
- Bending stress (tensile/compressive) akibat adanya gaya akibat adanya gear ataupun pulley dan juga akibat berat dari poros itu sendiri
- Tegangan kombinasi dari torsi dan bending.

Pada poros mesin yang berputar biasanya terjadi *torsional bending* dimana beban bending bekerja pada poros yang berputar.

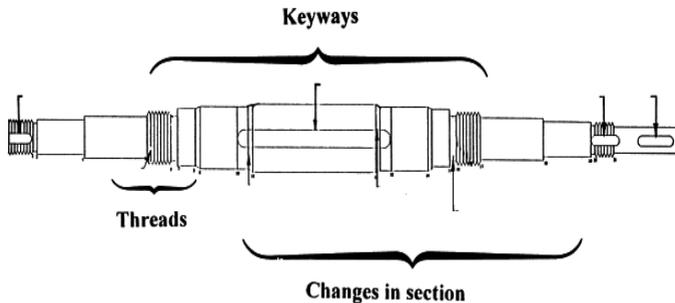
### 2.7.4 Desain poros

Desain poros bisa didasarkan oleh dua hal yaitu (1)kekuatan serta (2)kekakuan dan rigiditas, pada desain poros berbasis kekuatan kasus-kasus dibawah ini biasa nya diperhatikan:

- Poros yang di desain untuk menerima torsi
- Poros yang di desain untuk menerima momen bending
- Poros yang di desain untuk menerima kombinasi tegangan dari torsi dan momen bending
- Poros yang di desain untuk menerima beban axial yang dikombinasikan dengan torsi dan momen bending.

### 2.7.5 Faktor Konsentrasi Tegangan

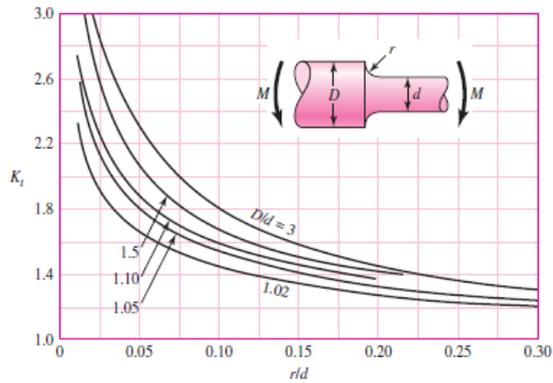
Tidak diperlukan untuk melakukan evaluasi pada setiap titik pada pompa, terdapat lokasi-lokasi tertentu. Lokasi-lokasi kritis ini biasa nya pada lapisan luar, pada lokasi axial dimana momen bending besar, lokasi dimana ada torsi, dan dimana terdapat tegangan yang terkonsentrasi.



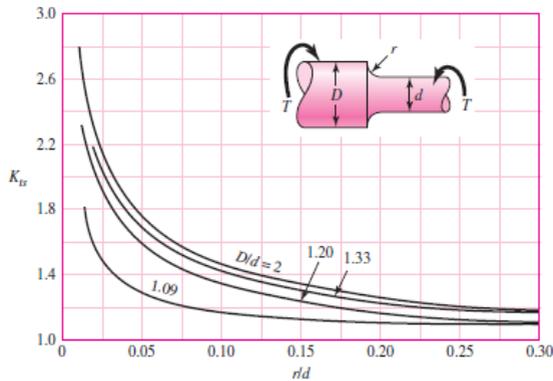
**Gambar 2. 17** Daerah kritis pada poros dimana terjadi konsentrasi tegangan  
(F. Bernd, 2001)

Proses analisis tegangan untuk mengetahui adanya kelelahan bergantung pada konsentrasi tegangan. Konsentrasi tegangan pada leher poros maupun pada rumah pasak bergantung pada spesifikasi ukuran nya, untungnya karena sering digunakan maka ukuran dari leher poros maupun rumah pasak ini sudah ada standar-standar tertentu sehingga memudahkan untuk mengestimasi nilai factor konsentrasi tegangan.

Leher poros untuk mendukung bantalan dan gear harus cocok dengan rekomendasi katalog yang spesifik dan sesuai dengan ukuran nya. Melihat katalog bantalan menunjukkan bahwa rasio  $D/d$  yang umum adalah diantara 1.2 sampai 1.5 selain itu harus diperhatikan juga diameter fillet , ada beberapa variasi perbandingan antara diameter fillet dan diameter bore pada beberapa jenis bearing namun umum nya  $r/d$  bernilai antara 0.02 sampai 0.06 . gambar menunjukkan perbandingan  $D/d$  untuk poros dengan beban bending, factor konsentrasi tegangan ( $K_t$ ) = 2.7 pada  $r/d = 0.02$ , dan berkurang menjadi  $K_t = 2.1$  pada  $r/d = 0.05$ , dan semakin turun menjadi  $K_t = 1.7$  at  $r/d = 0.1$  . Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai perbandingan  $r/d$  maka factor konsentrasi tegangan akan semakin kecil.



**Gambar 2. 18** Nilai Konsentrasi tegangan-shoulder fillet pada poros dengan beban bending (Richard G. Budynas, 2011)



**Gambar 2. 19** Nilai Konsentrasi tegangan-shoulder fillet pada poros dengan beban torsi (Richard G. Budynas, 2011)

Pada penelitiannya Yudiono (2009) mengungkapkan bahwa hasil pengujian fatik menunjukkan bahwa material tanpa ulir mempunyai kekuatan fatik yang lebih tinggi dibandingkan



material material bertakik ulir metris dan kekuatan fatik material bertakik ulir metris akan semakin menurun sebanding dengan peningkatan kedalaman takik ulir metris. Penurunan kekuatan fatik pada material bertakik ulir metris ini dikarenakan adanya konsentrasi tegangan yang terjadi pada ujung takik ulir. Konsentrasi tegangan yang terjadi pada ujung takik akan meningkatkan tegangan maksimal yang dialami material dan semakin besar seiring dengan meningkatnya kedalaman ulir metris. Pada material tanpa ulir metris (*raw materials*) tidak terdapat perubahan geometri / diskontinuitas yang dapat mengakibatkan timbulnya konsentrasi tegangan sehingga tegangan maksimal yang bekerja pada material sama dengan tegangan normal yang bekerja pada material tersebut, sedangkan pada material bertakik ulir metris dapat menimbulkan konsentrasi tegangan. Sedangkan pada penelitian Nusyirwan (2010) dengan metode elemen hingga didapatkan nilai konsentrasi tegangan pada material yang memiliki takik adalah  $K = 1,8394$

Sebuah rumah pasak juga akan menghasilkan konsentrasi tegangan di dekat titik kritis yang terletak pada daerah dimana beban yang menggerakkan komponen berada. Pada table dibawah ini dapat dilihat factor konsentrasi tegangan dari beberapa daerah pada poros.

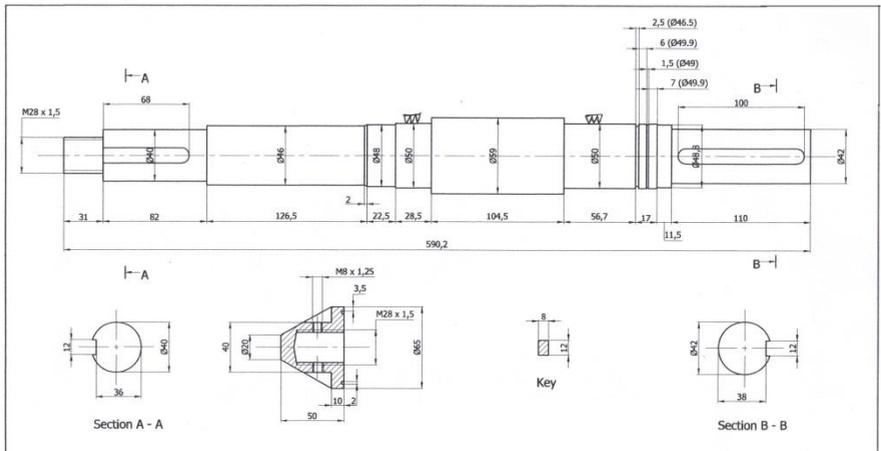
**Tabel 2. 4** Nilai Faktor Konsentrasi tegangan pada beberapa daerah pada poros  
(Richard G. Budynas, 2011)

Lokasi	Bending	Torsi	Axial
<b>Shoulder fillet-sharp</b> ( $r/d = 0.02$ )	2.7	2.2	3.0
<b>Shoulder fillet-well rounded</b> ( $r/d = 0.1$ )	1.7	1.5	1.9
<b>End-mill keyseat</b> ( $r/d = 0.02$ )	2.14	3.0	-
<b>Sled runner keyseat</b>	1.7	-	-
<b>Retaining ring groove</b>	5.0	3.0	5.0



## 2.8 Geometri Komponen yang mengalami kegagalan

Komponen yang mengalami kegagalan yang menjadi objek penelitian pada tugas akhir ini adalah poros dari low pressure boiler feed pump dari plant PLTGU PT PJB UP Gresik yang bisa dilihat pada gambar 2.20



**Gambar 2. 20** Poros low pressure boiler feed pump dan ukurannya (PJB Gresik)

## 2.9 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala phisis. Tipe masalah teknis dan matematis phisis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisa struktur dan kelompok masalah-masalah non struktur. Tipe-tipe permasalahan struktur meliputi:

- Analisa tegangan/stres
- Buckling
- Analisa getaran

Problem non struktur yang dapat diselesaikan dengan menggunakan metode ini meliputi:

- Perpindahan panas dan massa



---

b. Mekanika fluida

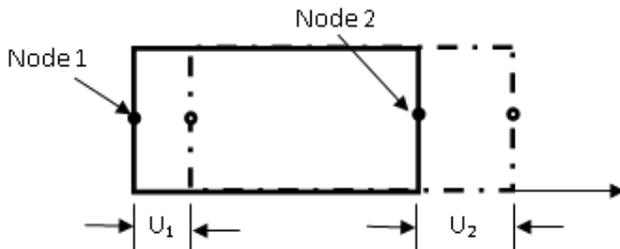
c. Distribusi dari potensial listrik dan potensial magnet.

Dalam persoalan-persoalan yang menyangkut geometri yang rumit, seperti pejalan pembebanan terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis. Hal ini disebabkan karena matematika analisis memerlukan besaran atau harga yang harus diketahui pada setiap titik pada struktur yang dikaji.

Penyelesaian analisis dari suatu persamaan diferensial suatu geometri yang kompleks, pembebanan yang rumit, tidak mudah diperoleh. Formulasi dari metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini. Metode ini akan melakukan pendekatan terhadap harga-harga yang tidak diketahui pada setiap titik secara diskrit. Dimulai dengan pemodelan dari suatu benda dengan membagi-bagi dalam bagian yang kecil secara keseluruhan masih mempunyai sifat yang sama dengan benda utuh sebelum terbagi dalam bagian yang kecil (diskritisasi).

(Helmi Fauzi, 2013)

Analisa elemen hingga dikembangkan dari metode matriks untuk analisa struktur dan ditunjang oleh computer digital yang memungkinkan diselesaikannya sistem dengan ratusan persamaan simultan. Konsep yang disederhanakan dapat dilihat pada gambar



**Gambar 2. 21** Elemen Persegi Empat Sederhana untuk Menjelaskan Analisa Metode Elemen Hingga

(Dieter,1993)

Setiap node memiliki satu derajat kebebasan bila bergeser sejauh  $U_1$  dan  $U_2$ . Persamaan yang menyatakan hubungan antara gaya



yang bekerja pada node dan pergeseran yang diakibatkannya adalah sebagai berikut:

$$P_1 = K_{11}U_1 + K_{12}U_2 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$K_{21}U_1 + K_{22}U_2 \dots\dots\dots (2.7)$$

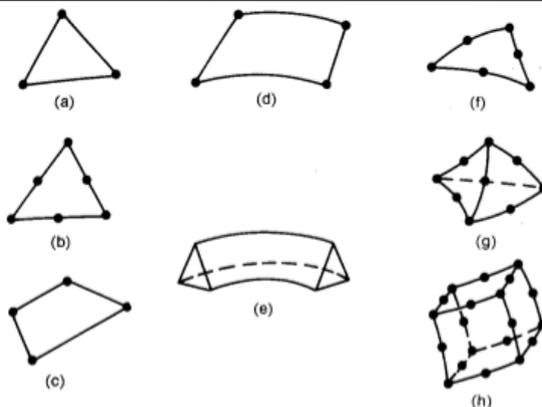
Koefisien kekakuan  $K_{ij}$  dihitung dengan program komputer berdasarkan sifat elastik bahan dan geometri elemen hingga dengan bentuk matriksnya adalah

$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.8)$$

Bila kedua elemen tadi digabungkan menjadi suatu konstruksi, dapat digunakan prinsip superposisi untuk menentukan kekakuan struktur dua elemen tadi.

$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & 0 \\ k_{21} & k_{22} + k_{22} & k_{23} \\ 0 & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2.9)$$

Suatu konstruksi tiga dimensi akan mengakibatkan bertambahnya jumlah persamaan simultan; tetapi dengan memanfaatkan elemen tingkat tinggi dan computer yang lebih cepat, soal-soal tersebut dapat diselesaikan dengan FEM (Finite Element Methode). Pada gambar 2.22 tampak beberapa elemen yang digunakan dalam analisa FEM (a) Elemen dua dimensi paling sederhana, (b) Segitiga dengan enam node, (c) Elemen kuadrilateral, (d) Elemen cincin berdimensi satu, (e) Elemen segitiga berdimensi dua, (f) Segitiga isoparametrik, (g) Tetrahedron, (h) Heksahedron.



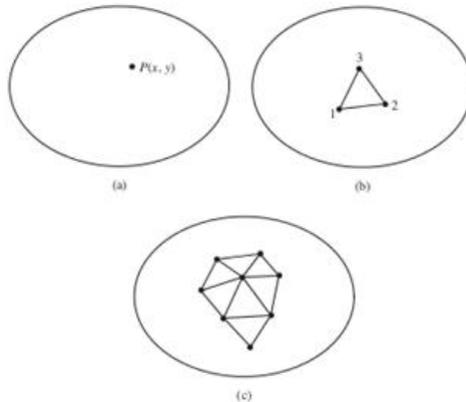
**Gambar 2. 22** Elemen yang Lazim Digunakan pada Analisa FEM

(Sumber: Dieter,1993)

Penyelesaian Elemen hingga mencakup perhitungan matriks kekakuan untuk setiap elemen dalam struktur. Elemen tersebut kemudian dirakit membentuk matriks kekakuan [K] untuk seluruh konstruksi.

$$\{P\} = [K] \{u\} \dots\dots\dots(2.10)$$

Secara umum teknis dan terminology finite element analysis digambarkan pada gambar 2.23. Gambar mewakili volume suatu material yang sudah diketahui properties fisiknya. Volume mewakili domain boundary yang akan dihasilkan. Untuk singkatnya diasumsikan dengan kasus 2-dimensi  $\emptyset (x, y)$  untuk menentuka setiap titik P (x,y)

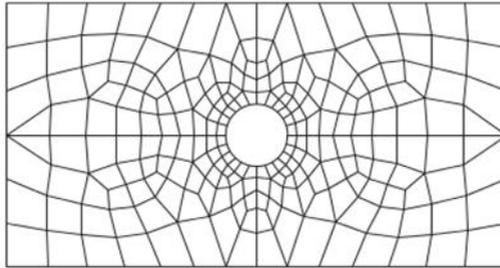


Gambar 2. 23 Terminologi Metode Elemen Hingga  
(a) domain 2-dimensi dari daerah variable  $\phi(x, y)$  (b) 3 node finite elemen didefinisikan dalam satu daerah (c) elemen tambahan yang menunjukkan finite elemen mesh (Hutton, 2004)

Jika nilai dari daerah variabel dikomputasikan hanya pada node dan dilakukan interpolasi ada nodal value . Untuk tiga – node segitiga dapat didiskripsikan pada persamaan berikut ini :

$$\phi(x, y) = N_1(x, y) \phi_1 + N_2(x, y) \phi_2 + N_3(x, y) \phi_3 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana  $\phi_1 \phi_2 \phi_3$  merupakan nilai dari daerah variable pada node dengan  $N_1 N_2 N_3$  adalah nilai fungsi interpolasi atau shape functions. Sebagai contoh penyelesaian permasalahan dengan menggunakan metode finite elemen ditunjukkan pada gambar 2.24 yang menggambarkan persegi panjang dengan lubang dibagian tengah. Diasumsikan persegi panjang memiliki tebal yang konstan pada arah z. Hasil meshing menunjukkan bentuk yang bermacam-macam (triangles dan quadrilaterals) dan ukuran yang berbeda-beda.



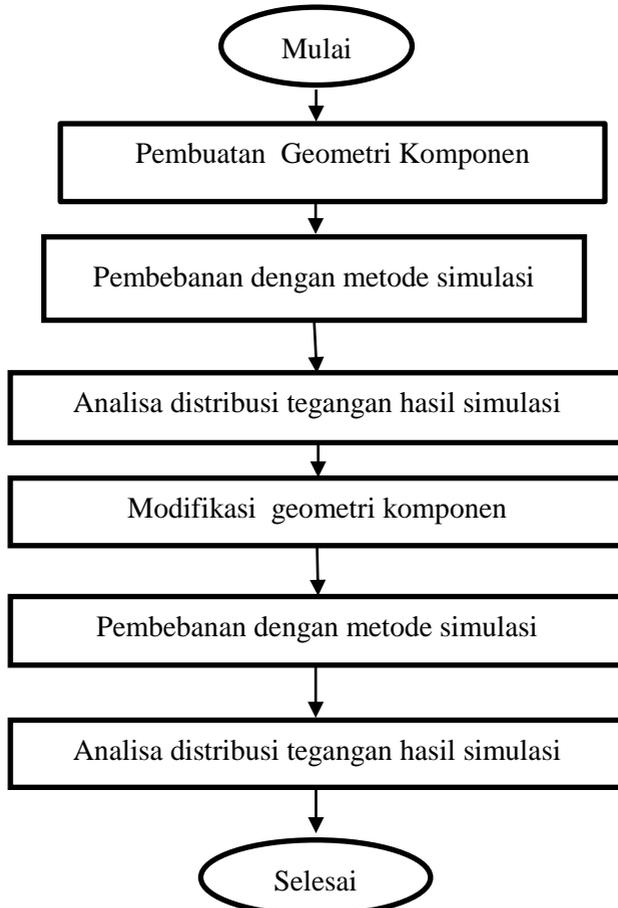
**Gambar 2. 24** Hasil meshing  
(Hutton, 2004)

ANSYS merupakan sebuah software berbasis finite element methods yang dapat digunakan untuk analisa distribusi tegangan, temperature, dan elektromagnetik dll. ANSYS apdl adalah salah satu jenis ANSYS parametric design language dan dapat digunakan untuk membangun model dengan parameter tertentu (ANSYS, 2009).

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



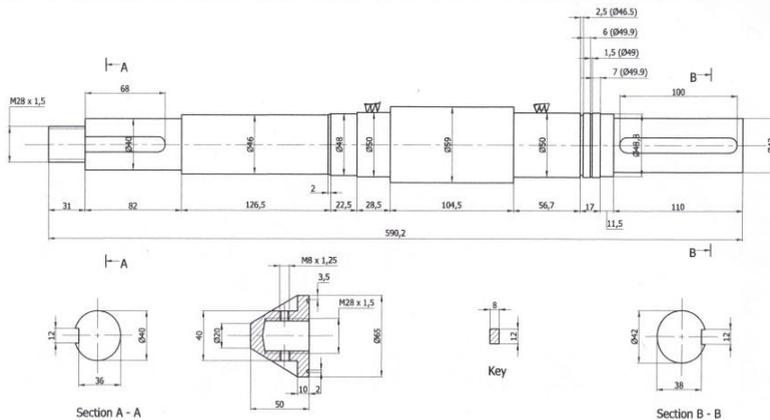
**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian



## 3.2 Materi Penelitian

### 3.2.1 Objek Penelitian

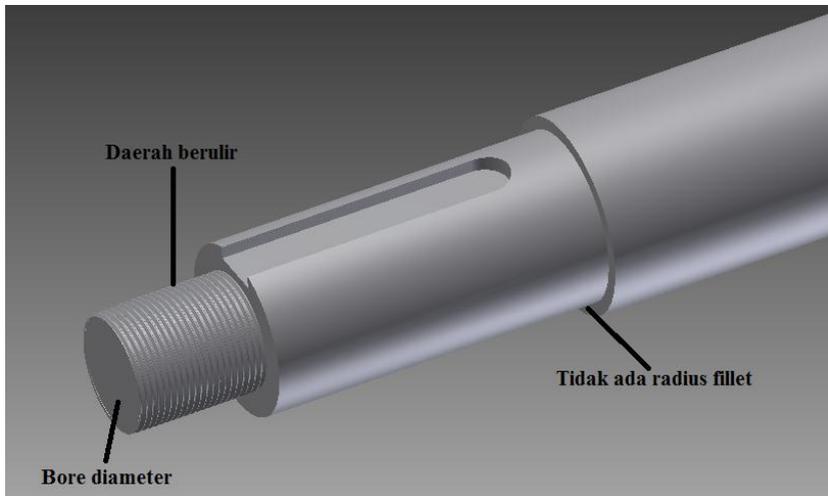
Objek penelitian ini adalah poros Low pressure boiler feed pump yang dapat dilihat gambar 3.2 sampai gambar 3.4



**Gambar 3. 2** Gambar 2D Shaft Low Pressure Boiler Feed Pump



**Gambar 3. 3** Gambar 3D Shaft Low Pressure Boiler Feed Pump



**Gambar 3. 4** Detail daerah poros pompa yang mengalami kerusakan

Material yang digunakan pada poros pompa tersebut adalah Nitronic 50 dengan spesifikasi sebagai berikut :

**Tabel 3. 1** Komposisi Kimia Nitronic 50  
(Electroalloy technical data, 2013)

Unsur	% Min	% Max
Carbon	-	0,006
Manganese	4,00	6,00
Phosporus	-	0,04
Sulfur	-	0,03
Silicon	0,20	0,75
Chromium	20,50	23,50
Nickel	11,50	13,50
Molybdenum	1,50	3,00
Nitrogen	0,20	0,40
Columbium	0,10	0,30
Vanadium	0,10	0,30



**Tabel 3. 2** Sifat Mekanik Nitronic 50  
(Electroalloy technical data, 2013)

Sifat mekanik	Nitronic 50
Modulus Elastisitas (E)	$199 \times 10^3$ MPa
Poison Ratio	0.312
Densitas ( $\rho$ )	7,88 gm/cm <sup>3</sup>

**Tabel 3. 3** Data kurva tegangan regangan sebenarnya  
(Wei-Guo Guo and Sia Nemat-Nasser, 2005)

Posisi	Tegangan (MPa)	Regangan
Linear	199	0.001
Yield	397	0.002
Ultimate	717	0.09
Fracture	1525	0.7

**Tabel 3. 4** Data Kurva S-N Nitronic 50  
(I.L Caplan, 1976)

Jumlah siklus	Stress Amplitudo (MPa)
$1 \times 10^3$	993
$3 \times 10^3$	903
$1 \times 10^4$	772
$2 \times 10^4$	655
$4 \times 10^4$	586
$7 \times 10^4$	517
$1 \times 10^5$	482
$1 \times 10^6$	399
$1 \times 10^7$	379
$1 \times 10^8$	358



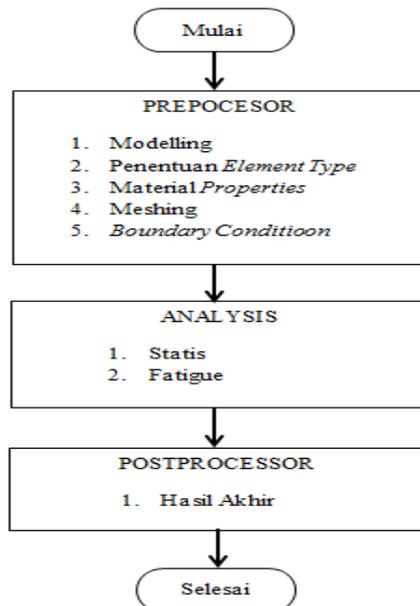
### 3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. SolidWorks merupakan salah satu software untuk membuat desain 3D yang kemudian hasilnya di import ke software ANSYS dengan format parasolid.
2. ANSYS merupakan suatu perangkat lunak komputer yang mampu menyelesaikan persoalan-persoalan elemen hingga dari pemodelan hingga analisis dengan keakuratan yang cukup tinggi.

### 3.3 Pemodelan dengan ANSYS 15.0

Adapun diagram alir pemodelan *poros Low Pressure Boiler Feed Pump* dengan menggunakan ANSYS Mechanical APDL Release 15.0 dapat dilihat pada gambar 3.5



**Gambar 3.5** Diagram alir pemodelan menggunakan software ANSYS



---

### 3.3.1 Pemodelan poros LP BFP

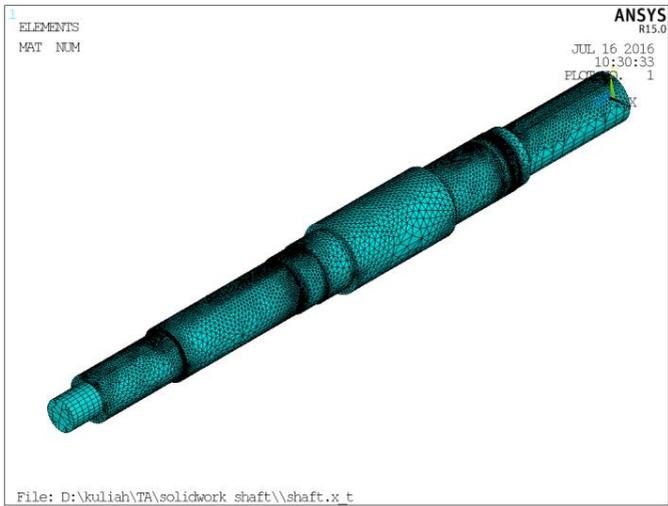
Terdapat 2 jenis desain poros pompa pada penelitian ini yaitu desain (1)poros tanpa modifikasi geometri dan (2) poros yang telah mengalami modifikasi geometri, desain dibuat di solidwork dan di *import* file ke software ANSYS dengan format parasolid. Tipe elemen solid yang digunakan adalah *brick* 8 node 185.

### 3.3.2 Properties Material

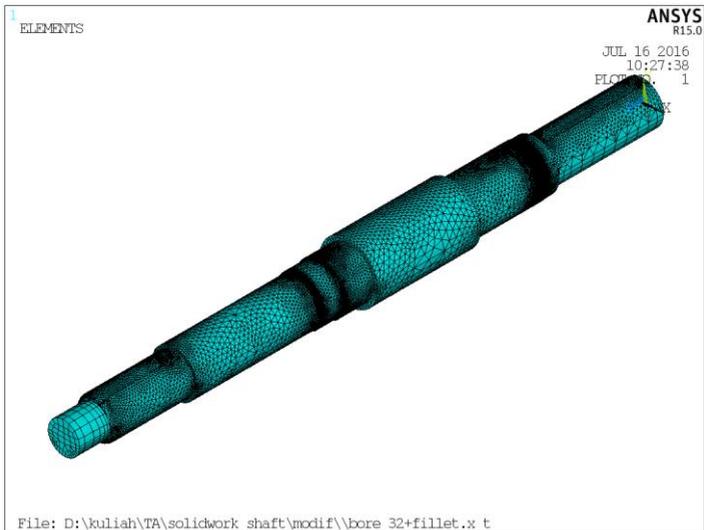
Pada penelitian ini dilakukan input data material nitronic 50 sebagai gahan penyusun poros LP BFP, data sifat mekanik material pada tabel sebelumnya dimasukkan kedalam data linear isotropik. Pengujian *fatigue* dilakukan dengan pembebanan didaerah elastik, dimana tegangan yang diberikan tidak boleh melampaui tegangan luluh dari material. Sedangkan data kurva tegangan regangan sebenarnya dari Nitronic 50 dimasukkan kedalam data non linear isotropik. Hubungan kelelahan pada logam juga dapat diketahui berdasarkan kurva SN (*stress – number of cycle*), dari data tersebut dapat diketahui nilai tegangan dengan batas siklus yang dapat dicapai.

### 3.3.3 Meshing

Metode meshing yang digunakan pada desain poros adalah metode free mesh dengan ukuran 6, berikut merupakan gambar hasil meshing model dari komponen poros dengan geometri awal (tanpa modifikasi), terlihat pada gambar 3.6



**Gambar 3. 6** Hasil Meshing poros LP BFP desain awal



**Gambar 3. 7** Hasil Meshing poros LP BFP desain modifikasi



---

### 3.3.4 Analisis Statis

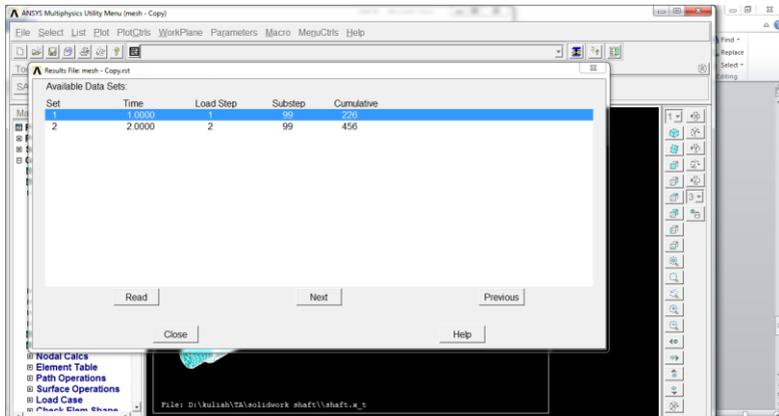
Analisis statis bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan pada poros ketika diberikan gaya. Prosedur analisis statis yaitu dengan memberikan pembebanan pada poros dimana pembebanan berupa gaya. Besaran gaya yang diberikan berasal dari torsi yang terjadi akibat adanya putaran motor dan kemudian torsi yang didapatkan tersebut dirubah menjadi gaya tangensial dengan cara dibagi dengan jari-jari poros, kemudian dilakukan solve dan plot tegangan von mises pada hasil simulasi sehingga bisa dilihat distribusi tegangan yang terjadi pada desain.

### 3.3.5 Analisis *Fatigue*

Setelah benda dilakukan meshing, tahapan awal dalam analisis *fatigue* adalah pengaturan tipe analisis transient pada *sol and control* dimana pada tab tersebut di masukkan nilai waktu pada pembebanan pembagian substep. Pada setiap waktu diberikan kondisi batas dan pembebanan kemudian dilakukan *solve*. Dari hasil solve diperoleh data waktu pembebanan sesuai pada gambar 3.8 *Pick* data 1 kemudian plot tegangan von mises berfungsi untuk mengetahui node yang memiliki tegangan kritis paling tinggi pada desain poros, diambil 3 node kritis kemudian dimasukkan pada tab *stress location*. Input data tabel 3.4 kurva SN Nitronic 50 dimasukkan kedalam tab *fatigue* kurva SN pada ANSYS. Pada bagian *Store stress* dimasukkan data 3 node kritis, nomor event dan pembebanan. Kemudian dilakukan kembali *pick* data 2, pada *store stress* dimasukkan nomor pembebanan 2 dengan nomor *node* dan *event* yang sama dengan *pick* data 1 kemudian setelah semua data dimasukkan, masuk pada tab *assign event* dimana di-inputkan jumlah siklus yang di uji yaitu 100.000. Dari *input* data kurva SN, ANSYS akan mencocokkan data tegangan *alternating* pada node kritis yang telah dimasukkan



dengan data kurva SN. Dari pencocokan tersebut diketahui apakah pembebanan tersebut membuat benda uji mengalami kegagalan atau tidak.



**Gambar 3. 8** Data waktu pembebanan

### 3.4 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan analisis distribusi tegangan pada masing-masing desain sehingga pada akhir penelitian dapat dilihat nilai tegangan terendah dan tertinggi dari desain tersebut dan juga dapat diketahui titik-titik kritis dari komponen tersebut. Desain yang di analisis adalah sebagai berikut:

1. Desain asli, yaitu desain dengan geometri yang sama dengan geometri yang telah ada tanpa dilakukan modifikasi
2. Desain dengan modifikasi bore diameter (diameter poros pada ujung poros yang dekat dengan impeller) dan radius fillet ( $r$ ), yaitu pada daerah yang sering mengalami kerusakan bore diameter diperbesar dan diberi penambahan radius fillet dengan demikian diharapkan konsentrasi tegangan pada fillet akan lebih



kecil dibandingkan dengan perubahan diameter yang membentuk siku.

**Tabel 3. 5** Detail perubahan geometri poros desain awal dan desain modifikasi

	Ukuran bore diameter (mm)	Ukuran fillet (mm)
Desain awal	28	0
Desain modifikasi	32	2

Secara garis besar rancangan penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini bisa dilihat pada tabel 3.6

**Tabel 3. 6** Tabel Rancangan Penelitian

	<b>Tegangan Terendah</b>	<b>Tegangan Tertinggi</b>	<b>Lokasi Kritis</b>	<b>Tegangan pada Lokasi Kritis</b>
<b>Desain Asli</b>				
<b>Desain Modifikasi</b>				

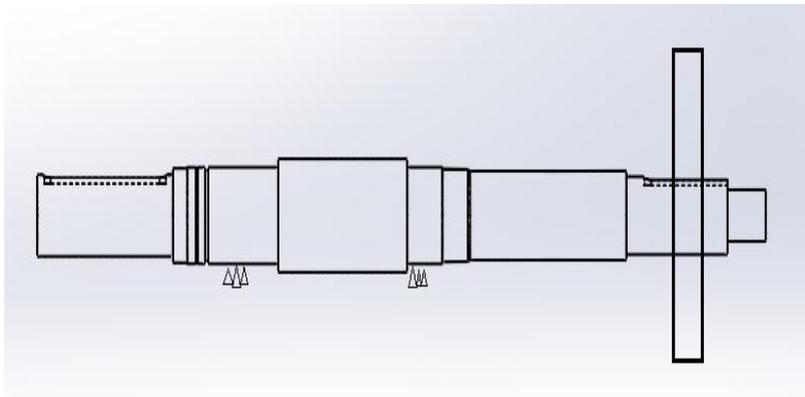
## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Statis

Sebelum dilakukan simulasi *fatigue* , perlu dilakukan simulasi statis pada desain. Simulasi statis adalah proses analisis untuk dapat mengetahui respon material dengan memberikan beban berupa distribusi tegangan yang terjadi pada komponen. Dari analisis statis ini didapatkan nilai beban minimum dan maksimum serta lokasi kritis yang harus diwaspadai . Pada material yang ulet akan patah jika tegangan akibat beban statik diatas kekuatan tarik ultimatanya. Lebih jauh, kegagalan pada komponen mesin terjadi bila tegangan akibat beban statik diatas kekuatan yieldnya.

#### 4.1.1 Analisa Statis Desain Awal

Simulasi statis pada desain yang dilakukan dalam software ANSYS. bisa dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini :



**Gambar 4. 1** Desain Poros Low Pressure Boiler Feed Pump

Dari gambar 4.1 kemudian dirubah menjadi bentuk 3D dengan menggunakan software solidwork sehingga nanti nya bisa

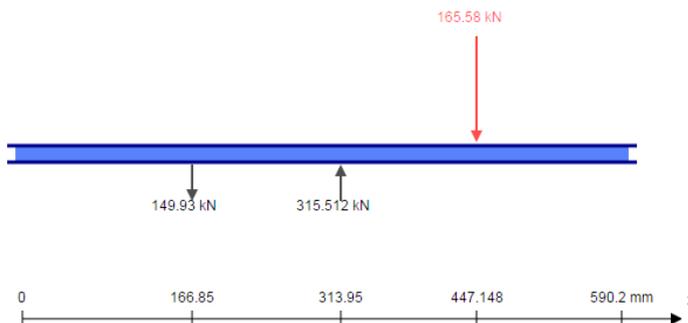


disimulasikan dalam software ANSYS. Gambar 3D yang telah dibuat di solidwork kemudian di ekspor ke software ANSYS dan dapat dilakukan simulasi pada desain tersebut. Hasil gambar 3D dari software solidwork dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini



**Gambar 4. 2** gambar 3D Poros Low Pressure Boiler Feed Pump

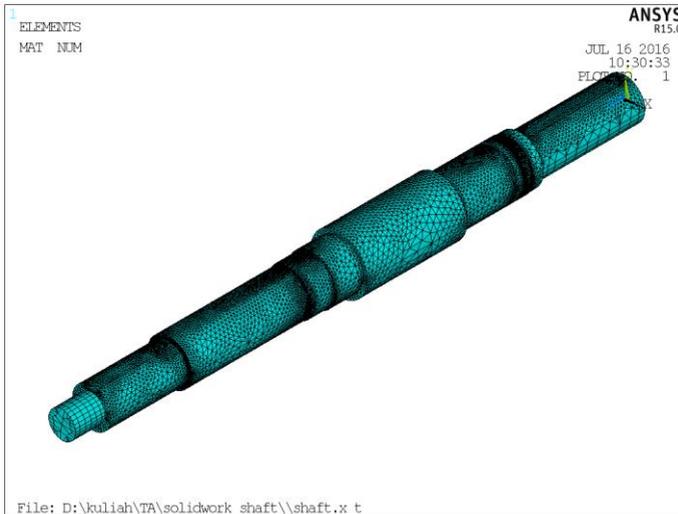
Low Pressure Boiler Feed Pump ini merupakan pompa horizontal sehingga gaya-gaya yang bekerja pada poros pompa berasal dari berat poros pompa itu sendiri dan juga berat impeller yang diberikan pada titik berat benda, bisa dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini



**Gambar 4. 3** Gaya yang bekerja pada Poros LP BFP



Setelah desain telah siap, selanjutnya dilakukan simulasi statis menggunakan software ANSYS 15.0. desain yang telah dibuat di solidwork di-*import* ke ANSYS untuk kemudian diproses dan dilakukan *meshing* untuk membagi komponen menjadi elemen-elemen kecil yang dihubungkan oleh node. Tampilan desain setelah dilakukan mesh dalam ANSYS ditunjukkan oleh gambar 4.4 dibawah ini



**Gambar 4. 4** Hasil meshing Desain Poros Awal

Setelah dilakukan meshing, dimasukkan gaya-gaya yang bekerja pada poros , pompa bekerja dengan daya dan putaran yang dihasilkan motor dan disalurkan melalui poros hingga menggerakkan *impeller*. Dengan demikian, setiap komponen yang ada pada pompa mengalami beban torsi. Dimana, torsi yang bekerja pada poros dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini

$$T = \frac{P \times 60}{2\pi n}$$

Daya mesin (P) = 75 kW = 75000 W

Putaran (n) = 2970 rpm



$$T = \frac{75000 \times 60}{2 \times 3.14 \times 2970}$$

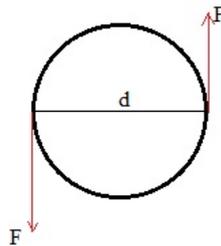
$$T = 241.267 \text{ Nm}$$

Pada simulasi statis dalam software ANSYS ini pemberian beban torsi yang diberikan pada poros dapat dilakukan dilakukan dengan memberikan gaya sentrifugal yang terjadi akibat adanya torsi pada poros dalam bentuk gaya kopel (gaya berpasangan) dimana salah satunya bernilai positif dan yang lain bernilai negative yang ditempatkan tegak lurus terhadap sumbu horizontal poros seperti yang terlihat pada gambar 4.5 sampai 4.6, gaya sentrifugal ini diberikan pada 8 titik pada poros yang memiliki diameter yang berbeda-beda dimana besar gaya sentrifugal yang diberikan ini bervariasi bergantung pada besar diameter poros. Perhitungan gaya sentrifugal yang diberikan pada poros dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini

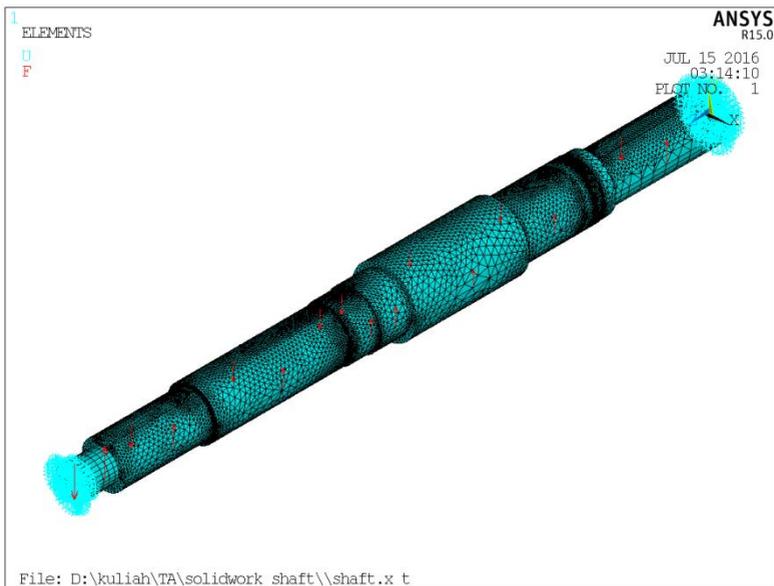
$$F = \frac{T (\text{Momen Torsi pada poros})}{r (\text{jari} - \text{jari poros})}$$

**Tabel 4. 1** Distribusi gaya sentrifugal sepanjang poros

<b>T (Nm)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>F (N)</b>
241.267	42	11488.9
241.267	50	9650.68
241.267	59	8178.542
241.267	48	10052.79
241.267	46	10489.87
241.267	40	12063.35
241.267	28	17233.36



**Gambar 4. 5** Ilustrasi Pemberian Gaya Pada Poros



**Gambar 4. 6** Pemberian Beban Pada Desain Poros



Setelah simulasi telah dilakukan pada software ANSYS, kemudian dilakukan plot tegangan Von Mises untuk mengetahui daerah yang kritis dan besarnya gaya yang terjadi pada poros. Gambar 4.7 sampai 4.9 merupakan gambar hasil simulasi statis dari desain asli dari poros dan dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa nilai tegangan terbesar terletak pada ujung dari poros yang terletak berdekatan dengan impeller yaitu bernilai sebesar 425.80 MPa, sedangkan pada daerah rumah pasak tegangan yang terbentuk sebesar 114.81 MPa dan pada ujung poros yang terhubung dengan mesin yang juga terdapat rumah pasak tegangan yang terbentuk sebesar 409.98 MPa.

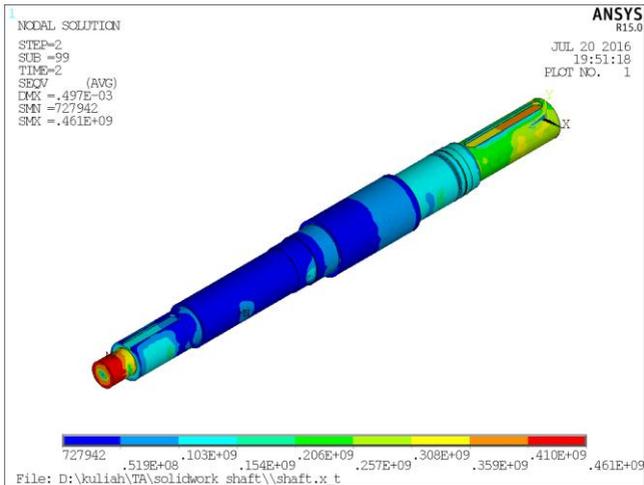
**Tabel 4. 2** Distribusi tegangan pada poros desain asli

	<b>Tegangan Terendah (MPa)</b>	<b>Tegangan Tertinggi (MPa)</b>	<b>Lokasi Kritis</b>	<b>Tegangan pada Lokasi Kritis (MPa)</b>
<b>Desain Asli</b>	1.37	461.00	Ujung poros (dekat impeller)	425.80
			Rumah pasak impeller	114.81
			Rumah pasak motor	409.98

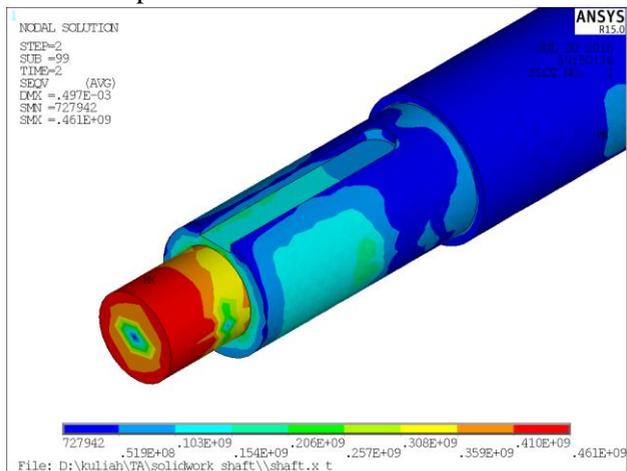
Mengacu pada kriteria kegagalan, pada elemen mesin besar tegangan maksimum yang diperbolehkan untuk material Nitronic50 dengan pembebanan statis harus  $\leq$  kekuatan luluh nya agar tidak terjadi kerusakan, dan kekuatan luluh material sebesar 397 MPa, sehingga bisa dikatakan komponen akan mengalami



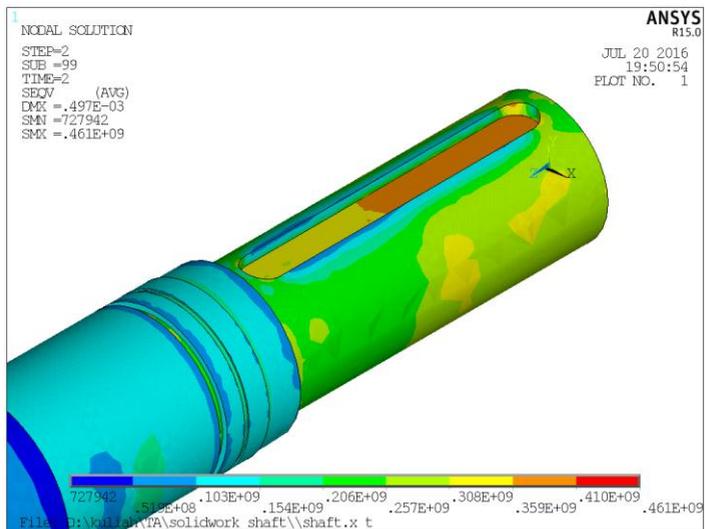
kerusakan karena tegangan terbesar yang terjadi adalah sebesar 425.80 MPa dan sudah lebih besar dari kekuatan luluh material.



**Gambar 4. 7** Distribusi tegangan Von misses satuan Pa pembebanan statis desain awal



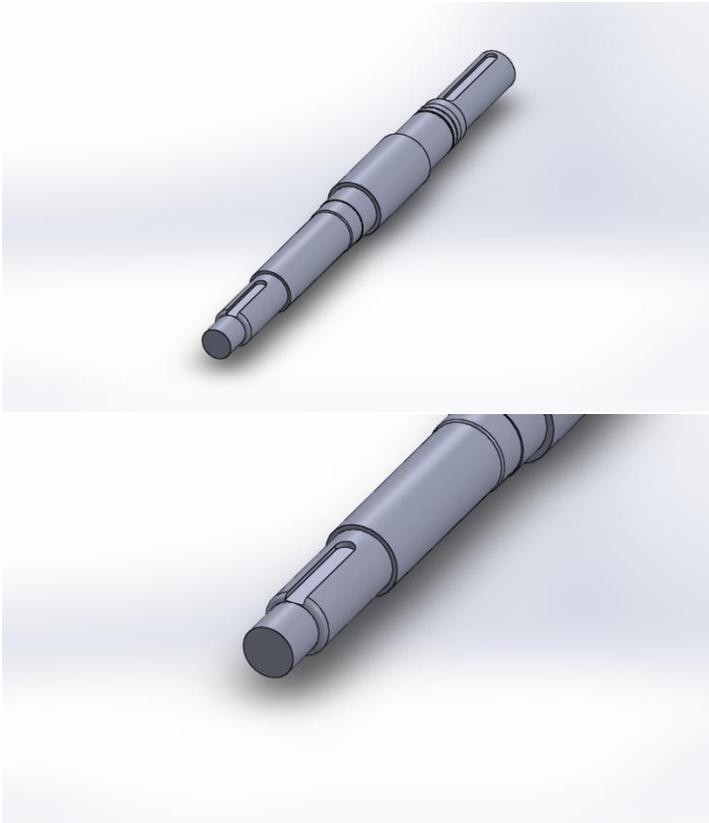
**Gambar 4. 8** Perbesaran daerah kritis (ujung dekat impeller) pada desain awal



**Gambar 4.9** Perbesaran daerah kritis (ujung dekat motor) pada desain awal

#### 4.1.2 Analisa Statis Desain Modifikasi

Pada desain modifikasi, modifikasi geometri poros dilakukan dengan menambahkan fillet dan memperbesar bore diameter dengan menggunakan software solidwork seperti terlihat pada gambar 4.10, detail perubahan geometri komponen yang mengalami modifikasi dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini



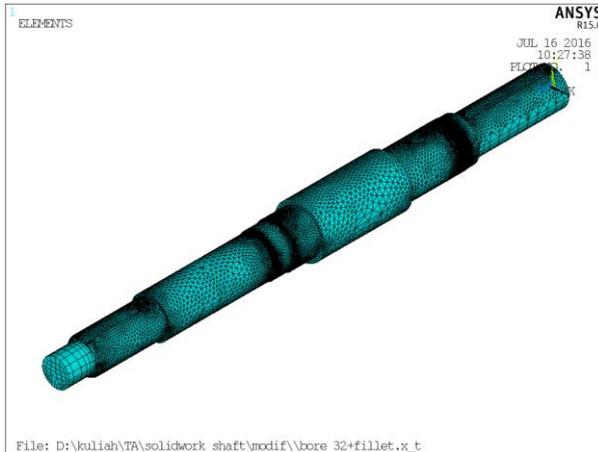
**Gambar 4. 10** Desain Modifikasi Poros LP BFP

**Tabel 4. 3** Geometri poros desain awal dan desain modifikasi

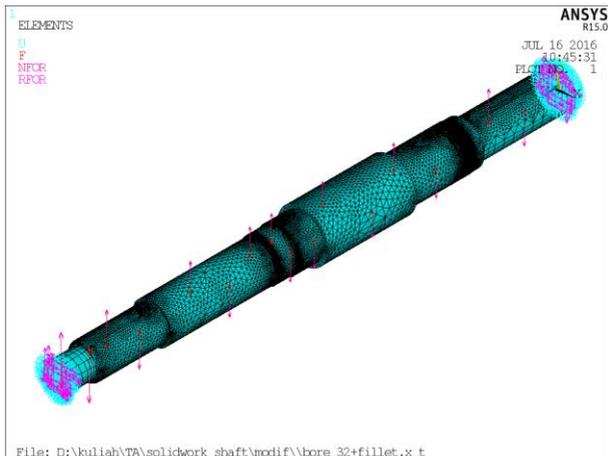
	Ukuran bore diameter (mm)	Ukuran fillet (mm)
Desain awal	28	0
Desain modifikasi	32	2



Setelah desain siap kemudian dilakukan langkah-langkah yang sama di software ANSYS untuk proses simulasi seperti halnya yang dilakukan pada desain awal yaitu meshing dan pemberian beban yang bisa dilihat pada gambar 4.11 dan 4.12



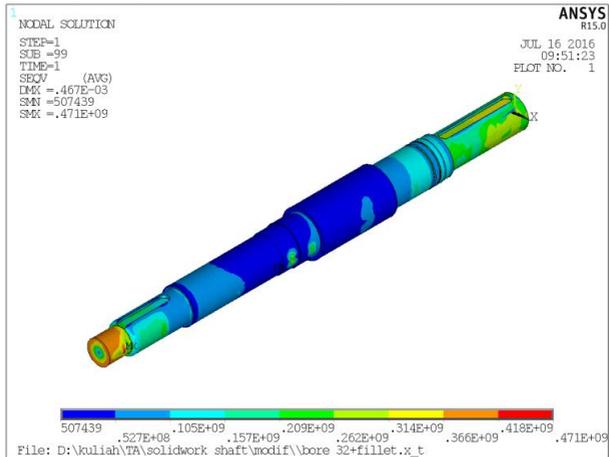
**Gambar 4. 11** Hasil meshing desain modifikasi



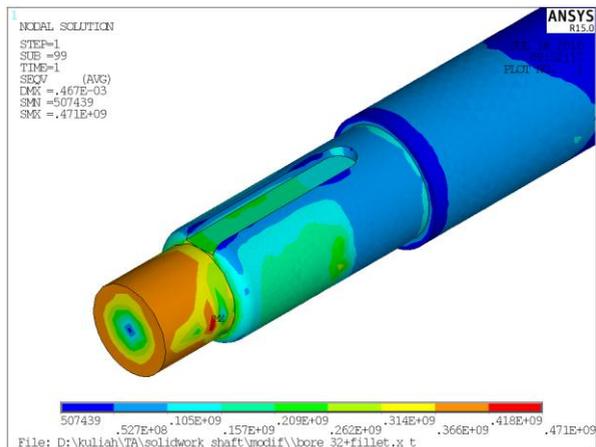
**Gambar 4. 12** Pemberian beban pada poros



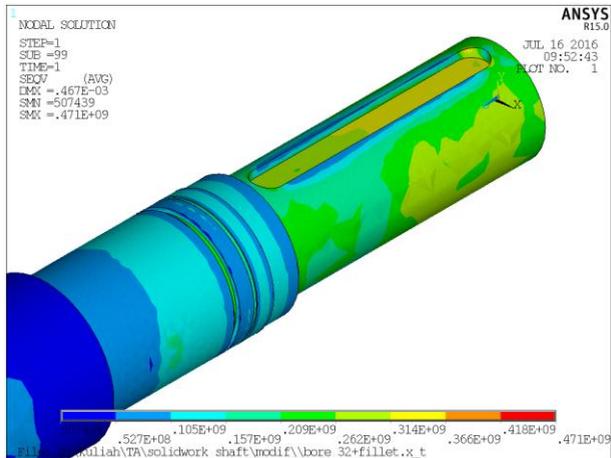
Hasil simulasi statis yang telah dilakukan pada poros modifikasi dapat dilihat pada gambar 4.13 sampai gambar 4.15



**Gambar 4. 13** Distribusi tegangan Von mises satuan Pa pembebanan statis desain modifikasi



**Gambar 4. 14** Perbesaran daerah kritis (ujung dekat impeller) pada desain modifikasi



**Gambar 4. 15** Perbesaran daerah kritis (ujung dekat motor) pada desain modifikasi

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa nilai tegangan terbesar terletak pada ujung dari poros yang dekat dengan impeller dimana bernilai sebesar 398.37 MPa. Sedangkan pada daerah rumah pasak tegangan yang terbentuk sebesar 114.4 MPa dan pada ujung poros yang lain yang juga terdapat rumah pasak tegangan yang terbentuk sebesar 359.31 MPa. Besar tegangan maksimum yang diperbolehkan pada komponen adalah sebesar 379 MPa sehingga dapat dikatakan bahwa komponen dapat mengalami kerusakan.

**Tabel 4. 4** Distribusi tegangan pada poros desain modifikasi

	Tegangan Terendah (MPa)	Tegangan Tertinggi (MPa)	Lokasi Kritis	Tegangan pada Lokasi Kritis (MPa)
<b>Desain Asli</b>	0.507	471.00	Ujung poros (dekat impeller)	398.37
			Rumah pasak impeller	114.40
			Rumah pasak motor	359.31

## 4.2 Analisa Fatigue

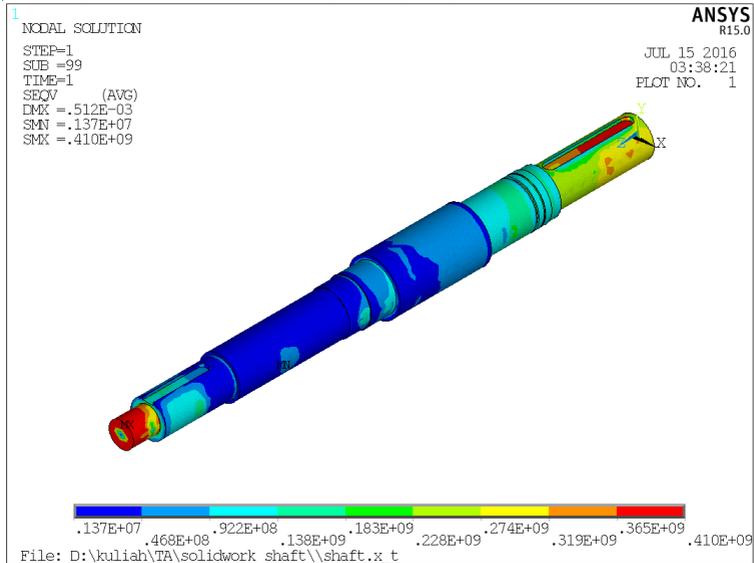
### 4.2.1 Analisa Fatigue Pada Desain Awal

Pada simulasi *fatigue* desain akan menerima beban berulang secara kontinyu hingga mencapai jumlah siklus tertentu. Pada analisis fatigue dilakukan langkah-langkah yang sama seperti pada analisa statis namun setelah didapatkan hasil simulasi statis dilanjutkan dengan modul fatigue dengan memasukkan data dari kurva S-N material Nitronic50 yang ada pada bab 3. Dari tegangan kritis tertinggi dapat diketahui jumlah siklus minimum yang dihasilkan harus melebihi 100.000 siklus agar bisa dikatakan aman. Dengan *miner rule* dapat dihitung rasio antara siklus yang ingin dicapai (100.000 siklus) dengan jumlah siklus yang dihasilkan pada node kritis tertinggi ataupun node yang ingin dilihat. Jika nilai yang dihasilkan kurang dari 1 maka dari tegangan tersebut dikatakan aman. Namun jika nilai yang dihasilkan lebih dari 1 maka tegangan tersebut telah melampaui batas siklus yang diizinkan. Sehingga tegangan tersebut tidak aman, karena desain telah mengalami kegagalan. Pada analisis



fatigue ini dilakukan pengamatan pada 3 titik yang yaitu pada ujung dari poros yang dekat dengan impeller, pada daerah rumah pasak dan pada ujung poros yang lain (dekat dengan motor) yang juga terdapat rumah pasak

Gambar 4.16 Dibawah ini merupakan hasil simulasi fatigue pada desain awal, di-plot tegangan von mises.



**Gambar 4. 16** Distribusi tegangan Von mises satuan Pa desain awal dalam 1 kali siklus

**Tabel 4. 5** Data hasil simulasi fatigue pada desain awal

Lokasi	Nomor Node	Alternating Stress (MPa)	Jumlah Siklus	Allowed Cycle	Partial Usage
Ujung poros (dekat impeller)	429	425.80	$1 \times 10^5$	$1.07 \times 10^5$	0.927
Rumah Pasak	3209	114.81	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^8$	0.001
Ujung poros (dekat motor)	61323	409.98	$1 \times 10^5$	$7.18 \times 10^5$	0.139

Berdasarkan data pada tabel 4.3 diatas, diketahui bahwa alternating stress terbesar yang dihasilkan node kritis pada desain adalah sebesar 425.80 MPa. Sedangkan besar tegangan maksimum yang diperbolehkan untuk material Nitronic50 diketahui dari persamaan tegangan von mises untuk gaya dua dimensi, yaitu:

$$\tau_{max} = 0.577 \sigma_y$$

Tegangan yield untuk material Nitronic50  $\sigma_y = 397 \text{ MPa}$ , sehingga didapatkan hasil:

$$\tau_{max} = 0.577 \times 397 \text{ MPa} = 229 \text{ MPa}$$

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa alternating stress yang dihasilkan jauh lebih besar dari yang diizinkan namun jumlah siklus yang diizinkan masih lebih besar dari  $10^5$  yaitu sebesar  $1.07 \times 10^5$  dan dari tabel tersebut jika dihitung dengan *miner's rule* untuk mendapatkan nilai *partial usage*

$$\begin{aligned} \text{Partial usage} &= \sum \frac{n_j}{N_j} \\ &= \frac{100.000}{107.000} \end{aligned}$$

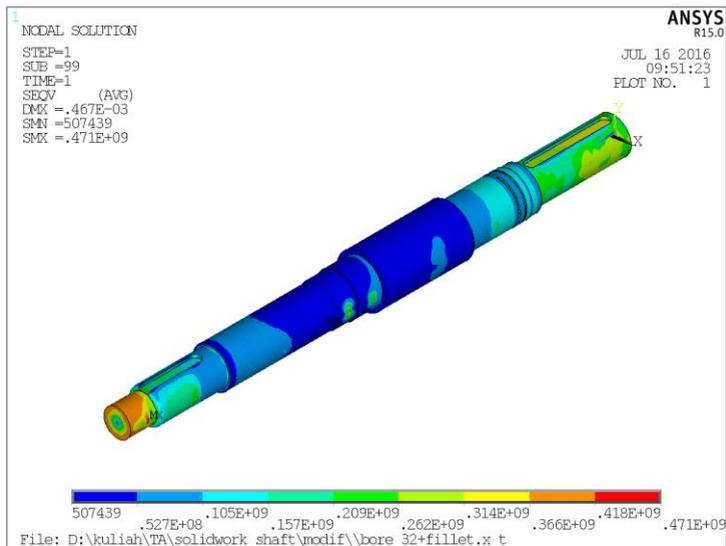


$$= 0.927$$

Dimana  $n_j$  adalah jumlah siklus yang diaplikasikan pada komponen dan  $N_j$  adalah jumlah siklus maksimal (*lifetime*) komponen. kurang dari 1 yaitu sebesar 0.927 sehingga dapat dikatakan bahwa pada lokasi tersebut harus diwaspadai terjadi kerusakan karena *partial usage* sudah mendekati 1.

#### 4.2.2 Analisa Fatigue Pada Desain Modifikasi

Analisa fatigue pada desain modifikasi dilakukan langkah-langkah yang sama dengan desain sebelumnya, gambar 4.17 dibawah ini merupakan hasil simulasi fatigue pada desain modifikasi, di-plot tegangan von mises.



**Gambar 4. 17** Distribusi tegangan Von mises satuan Pa desain modifikasi dalam 1 kali gelombang



Pada analisis fatigue ini juga dilakukan pengamatan pada 3 titik yang yaitu pada ujung dari poros yang dekat dengan impeller, pada daerah rumah pasak dan pada ujung poros yang lain (dekat dengan motor) yang juga terdapat rumah pasak

**Tabel 4. 6** Data hasil simulasi fatigue pada desain modifikasi

Lokasi	Nomor Node	Alternating Stress (MPa)	Jumlah Siklus	Allowed Cycle	Partial Usage
Ujung poros (dekat impeller)	429	398.37	$1 \times 10^5$	$1.96 \times 10^5$	0.51
Rumah Pasak	3209	114.4	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^8$	0.001
Ujung poros (dekat motor)	61323	359.31	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^8$	0.001

Berdasarkan data pada tabel 4.4 diatas, diketahui bahwa alternating stress terbesar yang dihasilkan node kritis pada desain adalah sebesar 398.37 MPa. Sedangkan besar tegangan maksimum yang diperbolehkan untuk material Nitronic50 adalah sebesar 229 MPa. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa alternating stress yang dihasilkan jauh lebih besar dari yang diizinkan namun jumlah siklus yang diizinkan masih lebih besar dari  $10^5$  yaitu sebesar  $1.07 \times 10^5$  dengan *partial usage* kurang dari 1 yaitu sebesar 0.51 sehingga dapat dikatakan bahwa pada lokasi tersebut dapat masih belum mengalami kerusakan.



### 4.3 Pembahasan

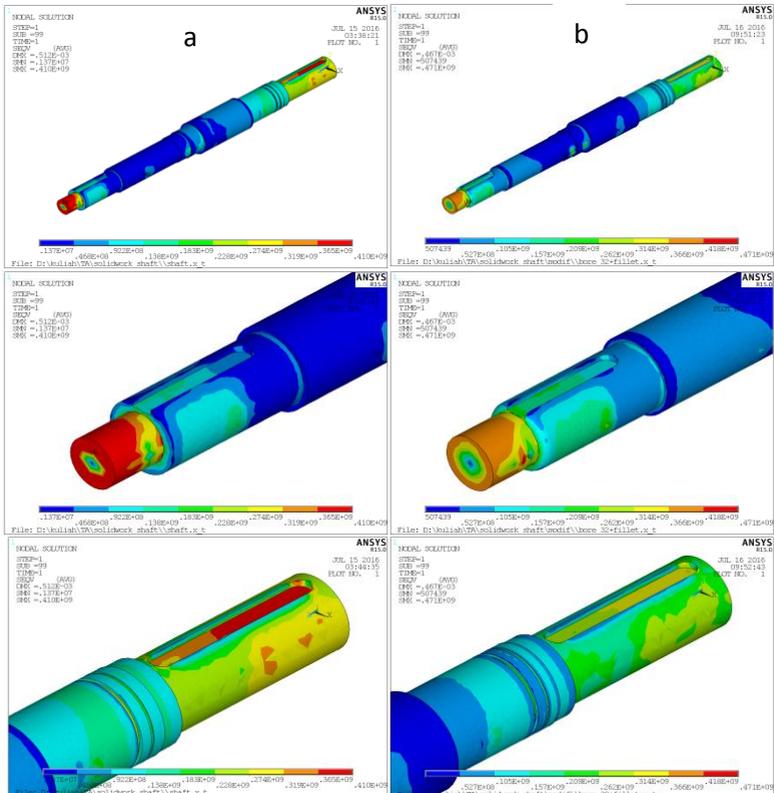
Hasil simulasi statis dari desain poros asli maupun poros modifikasi yang di dapat dapat dilihat pada tabel 4.7 , dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa tegangan yang di plot pada titik yang sama pada poros dengan desain awal menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan tegangan yang dihasilkan oleh poros yang telah dimodifikasi. Pada poros yang telah dimodifikasi dengan memperbesar bore diameter ( $d$ ) dan penambahan diameter fillet ( $r$ ) maka perbandingan  $D/d$  dan perbandingan  $d/r$  juga menjadi lebih kecil dan jika dilihat pada gambar 2.19 maka dari gambar tersebut dapat dilihat dengan semakin kecil nya perbandingan  $D/d$  maupun  $d/r$  akan membuat konsentrasi tegangan yang terjadi pada daerah tersebut menjadi lebih kecil sehingga tegangan yang dihasilkan akan semakin menurun dan lebih merata. Pada desain awal konsentrasi tegangan sebesar 2 dan pada desain modifikasi sebesar 1.6 (terjadi penurunan 20%), sedangkan pada hasil simulasi juga terdapat penurunan dari 425.80 MPa menjadi 398.37 MPa (terjadi penurunan 6.44%)

**Tabel 4. 7** Perbandingan tegangan pada desain awal dan desain modifikasi

	<b>Tegangan di ujung poros (dekat impeller)</b>	<b>Tegangan di rumah pasak (dekat impeller)</b>	<b>Tegangan di ujung poros (dekat motor)</b>
<b>Desain Awal</b>	425.80 MPa	114.81 MPa	409.98 MPa
<b>Desain Modifikasi</b>	398.37 MPa	114.4 MPa	359.31 MPa



dengan pada demikian juga dapat dilihat pada gambar 4.18 bahwa persebaran beban pada desain poros modifikasi lebih merata daripada persebaran beban pada desain poros asli.



**Gambar 4. 18** persebaran beban pada desain poros (a) desain awal , (b) desain modifikasi



Sedangkan pada simulasi fatigue didapatkan data seperti pada tabel 4. 8 sebagai berikut:

**Tabel 4. 8** Hasil simulasi fatigue desain awal dan desain modifikasi dalam  $10^5$  cycle

<b>Ujung poros (dekat impeller)</b>			
	<b>Alternating Stress (MPa)</b>	<b>Allowed Cycle</b>	<b>Partial Usage</b>
<b>Desain awal</b>	425.80	$1.07 \times 10^5$	0.927
<b>Desain modifikasi</b>	398.37	$1.96 \times 10^5$	0.51
<b>Rumah Pasak impeller</b>			
	<b>Alternating Stress (MPa)</b>	<b>Allowed Cycle</b>	<b>Partial Usage</b>
<b>Desain awal</b>	114.81	$1 \times 10^8$	0.001
<b>Desain modifikasi</b>	114.4	$1 \times 10^8$	0.001
<b>Rumah Pasak motor</b>			
	<b>Alternating Stress (MPa)</b>	<b>Allowed Cycle</b>	<b>Partial Usage</b>
<b>Desain awal</b>	425.8	$7.18 \times 10^5$	0.139
<b>Desain modifikasi</b>	409.98	$1 \times 10^8$	0.001

Dari hasil tersebut dapat dilihat pada daerah yang memiliki tegangan tinggi (ujung poros yang berada dekat dengan impeller) bahwa partial usage dari desain awal sudah mendekati 1 sedangkan pada desain modifikasi masih bernilai 0.51 hal ini menunjukkan bahwa umur dari komponen dengan desain baru akan lebih lama 44.9% jika dibandingkan dengan umur pakai dari desain awal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, Agus Dwi. 2010. “*Analisa Kegagalan Poros Boiler Feed Pump, Suatu Tinjauan Makro Dan Mikro Fraktografi*”. Surabaya : ITS.
- Berndt, F., dan A. van Bennekom. 2001. “*Pump shaft failures, a compendium of case studies*”. Pergamon, Engineering Failure Analysis 8 (2001) 135 -144
- Brook, C. R. & Choudhury, A., 2002. Failure Analysis of Engineering Materials. New York: McGraw Hills.
- Budynas Richard G. dan Nisbett J. Keith . 2011. *Shigley’s Mechanical Engineering Design, Ninth Edition*. USA : McGraw-Hill Inc.
- Callister, D William. dan David G Rethwisch Jr. 2009. *Material Science And Engineering An Introduction*. USA : John Wiley & Sons Inc.
- Chandra, Devi. 2009. “*Kaji Eksperimen Peningkatan Umur Lelah Poros Beralur Dengan Penambahan Alur Bantu*”. Jurnal TeknikA Universitas Andalas No.32 Vol.1 Thn. XVI
- Caplan, I. L . 1967. “*Mechanical Properties And Seawater Behaviour Of Nitronic 50 (22 Cr-13 Ni-5 Mn) Plate*”. Naval Ship Research And Development Centre.
- Dieter, George. 1993. *Metalurgi Mekanik*. USA : McGraw-Hill Inc.
- Fauzi, Helmi. 2013. “*Analisis Tegangan Pada Frame Mobil Listrik Sinosi Menggunakan Metode Elemen Hingga*”. Jember : Universitas Negeri Jember.



- 
- Guo, Wei-Guo dan Sia Nemat-Nasser. 2004. *“Flow stress of Nitronic-50 stainless steel over a wide range of strain rates and temperatures”*. China : School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University
- Gusniar , Iwan Nugraha. 2014 . *“Optimalisasi Sistem Perawatan Pompa Sentrifugal Di Unit Utility PT.ABC”*. Jurnal Ilmiah Solusi Vol. 1 No.1.
- Hutton, David V. 2004. *Fundamental of Finite Element Analysis*. USA : McGraw-Hill Inc.
- Khurmi, R.S. dan J.K. Gupta. 2005. *Textbook of Machine Design*. India : Eurasia Publishing House.
- Nurhadyan, Galih . 2011. *“Analisa Kegagalan Shaft Stainless Steel 17-4 Ph Pada Pompa Sentrifugal 107-Jc di Pabrik 1 Plant Ammonia PT. Petrokimia Gresik”*. Surabaya : ITS.
- Nusyirwan. 2010. *“Analisis Untuk Menentukan Faktor Konsentrasi Tegangan Dengan Eksperimental Dan Metode Elemen Hingga”*. Jurnal TeknikA Universitas Andalas No.33 Vol.1 Thn.XVII.
- Rosyid. 2010. *“Perencanaan Pompa Sentrifugal Pengisi Ketel di PT. Indah Kiat Serang”*. Solo : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Supriyono dan Bintang Adjiantoro. 2010. *“Analisa Kegagalan Poros Pompa Air Laut Pada Unit PLTU”*. Jurnal ilmiah teknologi dan rekayasa volume 15 nomor 3
- Wahyudi, Ilham . 2013. *“Analisis Perancangan Pompa Guna Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih PDAM Kota Probolinggo”*. Jember : Universitas Negeri Jember.
-



---

Yudiono, H . 2009. “*Karakterisasi Ketahanan Lelah Ulir Metris Akibat Pembebanan Puntir Lentur Pada Material Baja Karbon Rendah*”. Jurnal Momentum Universitas Negeri Semarang, Vol. 5, No. 2.

Zangeneh, Sh., M. Ketabchi, A. Kalaki. 2013. “*Fracture Failure Analysis Of AISI 304L Stainless Steel Shaft*”. Engineering Failure Analysis 36 (2014) 155–165



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## **BIODATA PENULIS**

Penulis bernama lengkap Lisa Diah Rahayu dilahirkan di Jombang pada tanggal 13 Oktober 1994. Penulis merupakan anak tunggal dari Bapak M. Paldi dan Ibu Masrurroh, dan telah menempuh pendidikan formal yaitu MI Al- Urwatul Wutsqo , SMPN 2 Jombang, SMAN 2 Jombang, dan penulis mengikuti tes SNMPTN dan diterima sebagai Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2012. Penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS dengan nomor registrasi pokok 2712 100 049.

Semasa kuliah, penulis terdaftar aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan di lingkup fakultas (BEM FTI-ITS) sebagai staff departemen PILTEK 2013-2014 dan sebagai sekretaris I 2014-2015.

Selesainya tugas akhir ini mengantarkan penulis memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi sepuluh Nopember Surabaya.

Email : [lisadiahrahayu@gmail.com](mailto:lisadiahrahayu@gmail.com)

Hp : 085648790910