ANALISA KEGAGALAN FATIK PADA PLUNGER POMPA TORAK RECIPROCATING 5H3S

Oleh: Yose Rizal[1], Sepfitrah[2]

ABSTRAK

Pompa suplai air yang digunakan untuk *steam generator* di PT. CPI adalah tipe *reciprocating jenis IR 5H3S* yang dipakai dalam *steam generator* guna mensuplai air untuk diproses menjadi uap. Tekanan kompresi pompa *reciprocating* ini sangat besar mencapai 89,6 bar, digunakan untuk mendorong volume cairan yang akan dipindahkan melalui sistem *exhaust*. Tekanan ini dihasilkan oleh gerak plunger pompa pada kerja hisap dan tekan pompa untuk memampatkan fluida. Pada kenyataannya plunger mengalami kegagalan hingga patah pada tekanan operasional tersebut.

Penelitian ini dilaksanakan dengan prosedur sebagaimana mestinya. Melalui beberapa tahapan dengan kegiatan identifikasi dan ivestigasi kejadian, uji mekanis yang meliputi uji kekerasan, foto dokumentasi fraktografi (mikrofraktografi dan makrofraktografi) material ***batang torak*** yang patah. Sebagai pendekatan terhadap kejadian sebenarnya dilakukan simulasi untuk melihat distribusi gaya yang bekerja pada *batang torak (plunger rod).*

Patahnya plunger pompa hanya dimungkinkan ketika siklus kerja pompa pada tekanan maksimal, yaitu pada saat langkah pemompaan sebesar 89 bar. Pada saat itu tegangan maksimal hasil simulasi, terjadi pada bagian leher plunger sebesar 23,386 MPa untuk desain plunger dan 48,86 Mpa bila plunger dipengaruhi adanya konsentrasi tegangan/*notch*.

Kata Kunci: kegagalan, fatik, plunger, pompa torak

ABSTRACT

Pumps supply water used for steam generators in PT. CPI is a reciprocating type IR 5H3S used in the steam generators to be processed in order to supply water to steam. Compression pressure reciprocating pump is very large reaching 89.6 bars, is used to push the volume of liquid to be transferred through the exhaust system. The pressure generated by the movement of the pump plunger working pump suction and presses to compress the fluid. In fact plunger has fail until crack at the operational pressure.

This study was conducted with the procedure properly. Through several stages with both the identification and investing the incident, which includes mechanical test hardness test, photo documentation fraktografi (mikrofraktografi and makrofraktografi) the material shaft patah. As approach to the truth has simulation to see the distribution of the forces acting on the piston rod (plunger rod).

Fracture is possible only when the pump plunger pump working cycle at maximum pressure, which is when the pumping action of 89 bar. At that time the maximum voltage simulation results, occurs at the neck of the plunger 23.386 MPa to 48.86 MPa and the design of the plunger when the plunger influenced by the presence of stress concentration/notch.

Keywords*: failure, fatigue, plunger, piston pump*

1. PENDAHULUAN

PT. Chevron Pasific Indonesia (PT.CPI) telah menerapkan model eksploitasi injeksi uap sejak tahun 1999 dengan mengaplikasikan teknologi *light oil steam flood* (LOSF) untuk memaksimalkan jumlah minyak yang disedot dari sebuah sumur minyak. Teknologi LOSF adalah sebuah upaya untuk mengangkat minyak dari dalam tanah

[1,]Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian
[2] Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru

menggunakan uap. Lewat proses ini, suhu uap air yang tinggi dapat mengurangi kekentalan minyak dan tekanan yang tinggi mendorong minyak ke sumur-sumur produksi. Cara kerja LOSF sederhana yaitu dengan mengubah air menjadi uap yang dipanaskan pada generator uap,kemudian uap diinjeksikan ke sumur injeksi untuk mendesak minyak ke arah sumur produksi.

Dalam membentuk sistem suplai uap, maka peranan sistem pembangkit uap (*steam generator system*) sangatlah vital. Disana uap panas dihasilkan, dikumpulkan dalam sebuah pengumpul (*header*), lalu didistribusikan ke masing-masing *steam injector*. Dalam satu unit *steam generator* terdapat beberapa komponen penting seperti pompa untuk suplai air (*feed water pump*), *boiler, burner, blower* dan *pre-heater*. Masing-masing komponen bekerja secara simultan dan terkoneksi satu dengan yang lainnya.

Pompa suplai air yang digunakan untuk *steam generator* di PT. CPI adalah tipe *reciprocating jenis IR 5H3S* yang dipakai dalam *steam generator* guna mensuplai air untuk diproses menjadi uap. Tekanan kompresi pompa *reciprocating*ini sangat besarmencapai 89,6 bar.

Penyebab kegagalan patahnya plunger perlu diteliti, apakah dari gaya yang bekerja, aspek disain bentuk plunger, pemilihan material, maupun lingkungan operasionalnya.

Penelitian dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui penyebab patahnya plunger pada pompa*resiprocating* tipe*ingersol rand* 5H3S di PT. CPI.
2. Memberikan saran agar kegagalan serupa tidak terulang kembalisehingga proses penambangan minyak bumi yang dilakukan diPT.CPI, dapat berjalan dengan baik.

Banyak aspek yang dapat menyebabkan patahnya plunger, untuk itu perlu dilakukan identifikasi secara seksama agar ditemukan hal utama penyebabnya. Adapun ruang lingkup identifikasi meliputi:

1. Mengidentifikasi data spesifikasi pompa dan operasionalnya dari buku panduan operasional pompa tersebut dan catatan laporan monitoring maupun keterangan operator pompa.
2. Mengidentifikasi kondisi komponen plunger yang patah secara visual danmenggunakan mikroskop.
3. Identifikasi gaya-gaya yang bekerja pada plunger dengan bantuan simulasi komputer, menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*.
4. Identifikasi kesesuaian material plunger yang digunakan dengan spesifikasi standar material plunger yang telah ditentukan.

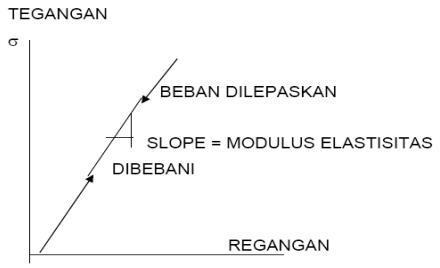
Root Cause Failure Analisys(Analisis Akar Penyebab Kegagalan) adalah tingkatan pada metode pemecahan suatu permasalahan yang secara tahap demi tahap mencari penyebab utama terjadinya kegagalan. Mungkin terdapat lebih dari satu penyebab kegagalan yang dapat dikenali, satu menyebabkan kegagalan lainnya secara berurutan. Urutan ini dapat dianalisis sampai ditemukan akar permasalahan yang sesungguhnya.

Kegagalan pada suatu elemen mesin dapat terjadi dalam berbagai wujud seperti misalnya yielding, retak, patah, pitting, korosi, aus, dan lain-lain. Penyebab kegagalan juga bermacam-macam seperti misalnya salah desain, beban operasional, cacat material, temperatur, lingkungan, waktu, dan lain-lain. Dalam penelitian ini akan dibahas kegagalan elemen mesin yang diakibatkan oleh beban mekanis. Beban mekanis yang dimaksud adalah beban dalam bentuk gaya, momen, tekanan, dan beban mekanis lainnya.

Sifat Fisik dan Mekanik Material

Material memiliki sifat-sifat tertentu, seperti: sifat fisik, sifat mekanik, sifat termal, sifat elektrik, sifat magnetik, dan lain-lain. Sifat termal, elektrik, dan magnetik juga digolongkan menjadi sifat fisik material. Sifat fisik merupakan karakteristik suatu material yang terjadi akibat faktor-faktor fisik, seperti: massa, massa jenis, berat, berat jenis, pengantar listrik, bentuk material, dan lain-lain.

Sifat mekanik material adalah sifat yang berhubungan dengan respons material akibat beban yang bekerja. Sifat mekanik berkaitan dengan kekuatan, kekerasan, keuletan, dan kekakuan.

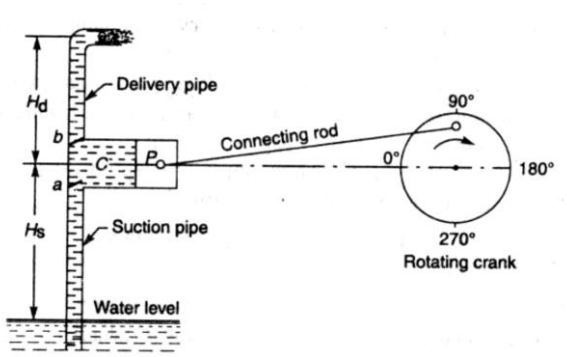


Gambar 1. Skema tegangan dan regangan yang menunjukkan hubungan elastis

Tinjauan Umum Komponen Yang Mengalami Kegagalan

Dalam penelitian ini akan dibahas sebuah kasus terjadinya kegagalan pada komponen utama pompa *reciprocating* yaitu batang torak yang mengalami patah. Pompa ini digunakan untuk mensuplai air dari unit pengolahan air (*water treating plant)*ke unit *steam generator*.

Bekerja dengan cara memerangkap volume tetap cairan pada saluran hisap, mengkompresinya hingga mencapai tekanan tertentu dalam ruang kompresi, dan mendorong keluar melewati saluran buang. Pompa torak dalam bentuknya yang sederhana, terdiri dari beberapabagian seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Komponen-komponen pompa torak.

Keterangan gambar:

- Silinder *C*, didalamnya ada torak *P*. Gerakan torak diperoleh dengan adanya batang penghubung yang menghubungkan torak dengan engkol berputar.
- Pipa hisap, menghubungkan sumber air dengan silinder.
- Pipa hantar untuk mengalirkan air keluar dari pompa.
- Katup (valve) *a*, mengatur aliran ke dalam silinder.
- Katup *b*, mengatur aliran keluar dari silinder.

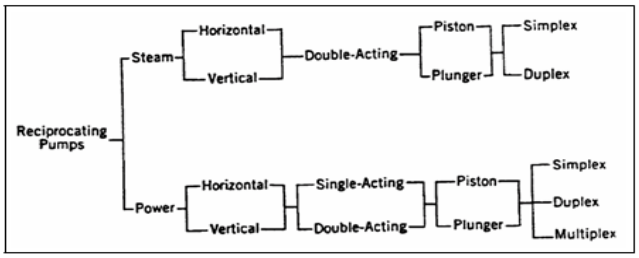
Bagian yang mengkompresi cairan pada pompa reciprocating biasanya disebut *fluid end*. *Fluid end* memiliki piston atau plunger yang memindahkan cairan yang dipompa; sebuah silinder di mana piston bergerak; dan katup penghisap dan buang untuk menyalurkan fluida yang dipompa.

Pompa *reciprocating* umumnya diklasifikasikan berdasarkan:

1. Jenis drive: Penggerak langsung(gas-*driven*) dan *Crank-driven* (pompa listrik)
2. *Cylin*der orientasi: Horisontal dan Vertikal
3. Akhir Cair pengaturan
   a. Plunger (kemasan luar)
   b. Piston (ring piston dalam dan pengemasan pada batang piston)
   c. Diafragma (plunger atau udara mendorong diafragma fleksibel)
4. Jumlah piston: Simplex, Duplex dan Quintuplex.

[1,]Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian
[2] Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru

5. Jenis tindakan: Single-acting dan Double-acting.



Gambar3.Sub-jenis Pompa Reciprocating yang ada.

Daya Penggerak Pompa Torak

Suatu pompa torak bila bekerja, mula-mula menghisap cairan melaluipipa hisap dan kemudian memompa cairan tersebut keluar melalui pipahantar.

Gaya pada torak pada langkah pemompaan/maju adalah:

$$F_d = w.Hd.A \quad \text{..... (1)}$$

dan gaya torak pada langkah penghisapan/mundur adalah:

$$F_s = w.Hs.A \quad \text{..... (2)}$$

Dimana:

F_d = Gaya hantar/buang pompa (kg)
F_s = Gaya hisap pompa (kg)
Hd = head hantar/buang pompa (m)
Hs = head hisap pompa dalam (m)
w = berat spesifik cairan (kg/m^3)

Konversi nilai head hantar/buang pompa dari satuan tekanan (bar) ke satuan panjang (m) adalah:

$$Hd = p\ 10.197 / w \quad \text{..... (3)}$$

Dimana:

Hd = head hantar (m)
p = tekanan pompa (bar)
w = berat spesifik cairan (g/ml)

Kerja yang dilakukan oleh pompa adalah:

$$W = w.Q\ (Hs + Hd) \quad \text{..... (4)}$$

Daya teoritik yang diperlukan untuk menggerakkan pompa adalah sebesar:

$$P = \frac{wQ\,(Hs + Hd)}{75} \quad \text{..... (5)}$$

Dimana:

Q = debit cairan (m^3/s)
W = Kerja pompa (kg.m)
P = Daya teoritik pompa (HP)

Aspek Metalurgis Pada Kelelahan Logam

Faktor-faktor yang mempengaruhi umur lelah:

1. Pembebanan: Jenis beban, Pola beban, Besar beban dan Frekwensi siklus beban.
2. Kondisi material: Ukuran butir, Kekuatan, Penguatan, regangan, Struktur mikro dan Kondisi permukaan.
3. Proses pengerjaan: Pengecoran, Pembentukan, Pengelasan, Pemesinan dan Perlakuan panas.
4. Temperatur operasi.
5. Kondisi lingkungan.

Faktor Keamanan

Faktor keamanan (FOS = *Factor Of Safety* atau SF = *Safety Factor*) adalah keadaan yang menggambarkan sebuah sistem pada pembebanan aktual. Faktor keamanan dalam desain harus mempertimbangkan hampir semua faktor yang mungkinterjadinya kegagalan. Dalam dunia modern faktor kemanan umumnya antara 1.2 – 3.

Dengan demikian faktor keamanan didefinisikan sebagai:

$$SF = \frac{\text{Kekuatan Signifikan Material}}{\text{Tegangan Kerja}} \text{.....} \quad (17)$$

Analisis Tegangan Menggunakan FEM (Simulasi)

Metode elemen hingga/ Finite Element Method (FEM) adalah prosedur numerik untuk memperoleh solusi permasalahan yang ditemukan dalam analisa teknik. Metode elemen hingga mengkombinasikan beberapa konsep matematika untuk menghasilkan persamaan sistem linier atau nonlinier.

Metode elemen hingga dalam penyelesaian masalah menggunakan

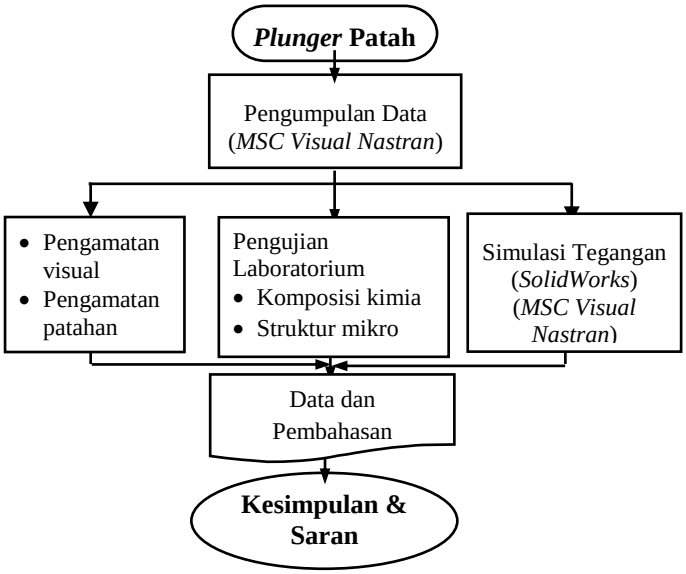
pendekatan diskretisasi elemen untuk menemukan perpindahan titik simpul/joint/grid dan gaya-gaya dari struktur. Pendekatan menggunakan elemen kontinum untuk menentukan pendekatan penyelesaian masalah yang lebih mendekati sebenarnya. Menurut Wirjosoedirdjo (1988), metode elemen hingga dapat digunakan dengan melakukan langkah- langkah sebagai berikut:

1. Diskritisasi dan memilih konfigurasi elemen. Langkah ini menyangkut pembagian benda menjadi sejumlah benda kecil yang sesuai yang disebut elemen-elemen hingga.
2. Memilih model atau fungsi pendekatan. Dalam langkah ini dipilih suatu pola atau bentuk untuk distribusi besaran yang tidak diketahui yang dapat berupa suatu perpindahan dan/atau tegangan untuk persoalan-persoalan tegangan-deformasi. Fungsi matematis yang biasa digunakan biasanya adalah polinomial.
3. Menentukan hubungan regangan – perpindahan dan tegangan-regangan.
4. Menurunkan persamaan-persamaan elemen. Penurunan persamaan elemen dapat menggunakan metode energi dan metode residu berbobot. Penggunaan salah satu dari metode tersebut menghasilkan persamaan yang menggambarkan perilaku suatu elemen, yang dinyatakan sebagai: [k] {q} = {Q} ; dengan [k] = matrik sifat elemen/kekakuan, {q} = vektor besaran yang tidak diketahui di simpul-simpul elemen/perpindahan simpul, dan {Q} = vektor parameter pemaksa simpul elemen/gaya simpul.
5. Perakitan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global atau persamaan rakitan dan mengenal syarat batas.
6. Memecahkan besaran-besaran primer yang tak diketahui.
7. Memecahkan besaran-besaran penurunan atau sekunder.
8. Interpretasi hasil-hasil

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakansimulasi untuk melihat distribusi gaya yang bekerja pada *batang torak (plunger rod).*

Langkah-langkah penelitian disusun dalam diagram alir penelitiansebagai berikut:



Gambar 4. Diagram alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian tentang penyebab kegagalan plunger pompa *ingersoll rand* 5H3S adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data operasional pompa ingersol rand 5H3S di lapangan, baik berupa manual pompa, standar operasional (SOP), sejarah dan rekaman kejadian kegagalan, serta keterangan dari operator yang mengetahui peristiwa kegagalan tersebut. Data-data yang didapat menjadi data awal penelitian.
2. Ciri-ciri patahan plunger akan memberikan banyak informasi bagaimana kejadian kegagalan tersebut.
3. Ketidaksesuaian disain awal manufaktur sering menjadi permasalahan yang dapat menyebabkan kegagalan komponen.

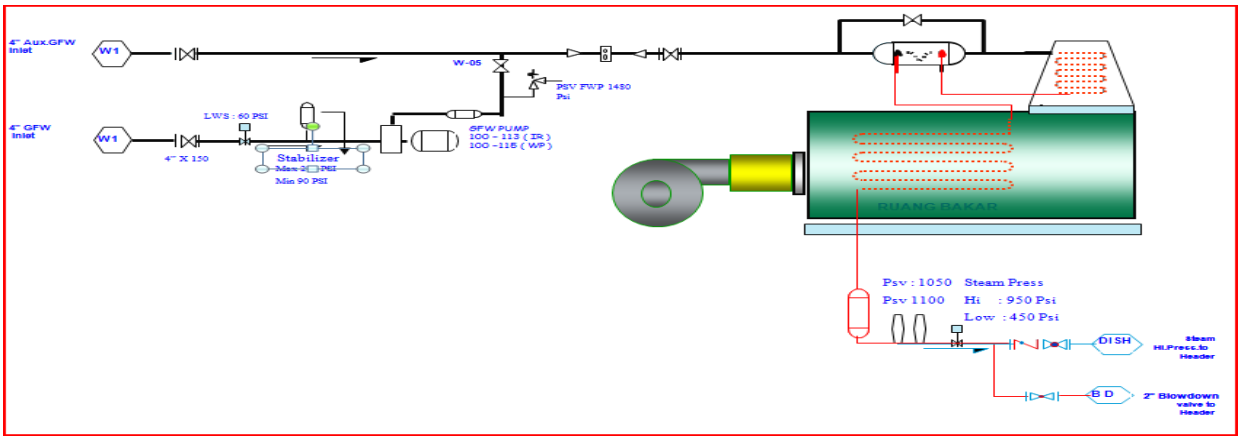
[1,]Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian
[2] Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru

Terkadang komponen standar yang telah tidak layak operasi digantikan oleh komponen yang tidak sesuai dengan standarnya, baik dalam segi disain bentuk maupun material yang digunakan.

4. Simulasi tegangan ataupun gaya-gaya yang bekerja pada plunger dapat diketahui melalui serangkaian simulasi dengan bantuan simulasi komputer.
5. Keseluruhan data yang terkumpul akan dianalisis dan menjadi landasan yang kuat dalam menyimpulkan penyebab patahnya plunger.

Objek Penelitian

Objek penelitian berupa torak pompa plunger berada pada unit pompa IR 5HS3 yang beroperasi di unit pengolahan air CGS (*Central Gathering Station*) ladang minyak.



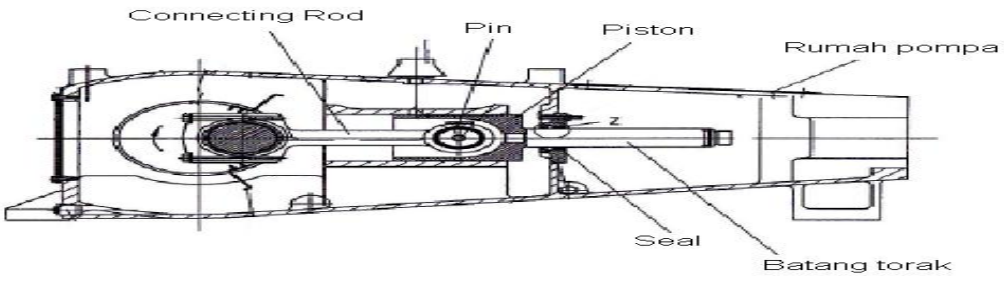
Gambar 5. Diagram aliran air pada sistem injeksi ladang minyak.

Spesifikasi pompa IR 5HS3 adalah sebagai berikut:

- Model : 2.25 x 5HS3
- Kapasitas : 120 gpm
- Differential head : 1535 psi
- NPSHR : 7 psi
- Cairan kerja: Air (Temperatur 48,9 – 121^{o}C)

Lokasi Kegagalan.

Komponen batang torak terpasang pada pompa reciprocating seperti pada gambar berikut ;



Gambar 6. Pompa plunger

Bahan penelitian adalah komponen batang torak pompa reciprocating IR5HS3sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 7, yang mengalami kegagalan.

Gambar 7. Foto batang torak yang mengalami kegagalan.

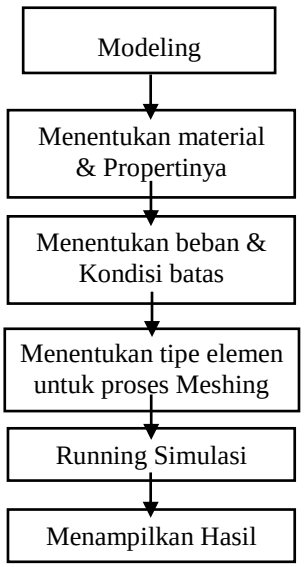
Langkah-langkah penelitian

Dalam analisis kegagalan, patahnya batang torak dilakukan beberapa prosedur analisa yaitu:

1. Deskripsi dari terjadinya kegagalan.
2. Pemeriksaan visual.
3. Analisis tegangan. (analisis tegangan diperlukan untuk mengetahui apakah tegangan yang bekerja berada dibawah sifat mekanik material).
4. Fraktografi.
5. Metalografi.
6. Sifat-sifat material.
7. Simulasi, digunakan untuk melihat distribusi tegangan yang terjadi pada komponen berdasarkan kondisi gaya yang bekerja.

SimulasiTegangan Kerja Batang Torak

Simulasi elemen hingga terhadap gaya-gaya yang bekerja pada komponen batang torak dilakukan menggunakan paket program SolidWorks Simulation Xpress. Terlebih dahulu dilakukan pembuatan model tiga dimensi menggunakan program CAD (*Computer Aided Design*) SolidWorks, untuk kemudian dilakukan simulasi linier statik, terhadap gaya-gaya yang bekerja pada batang torak. Secara garis besar ada 6 tahap dalam proses simulasi elemen hingga, seperti terlihat pada Gambar 8 berikut:



Gambar 8. Prosedur analisis Elemen Hingga

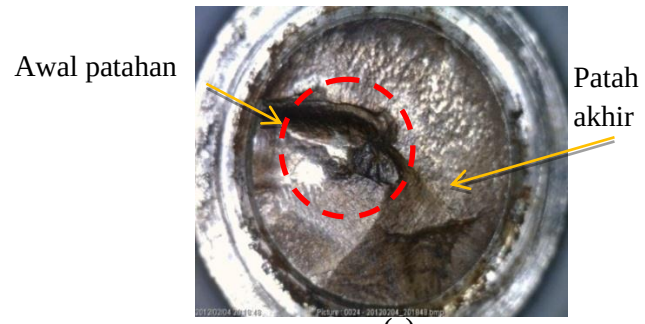
3. ANALISA & PEMBAHASAN

Permukaan patahan plunger merupakan informasi awal yang sangat penting dalam mendapatkan informasi modus terjadinya kegagalan. Gambar berikut adalah hasil pengamatan patahan plunger menggunakan mikroskop image;

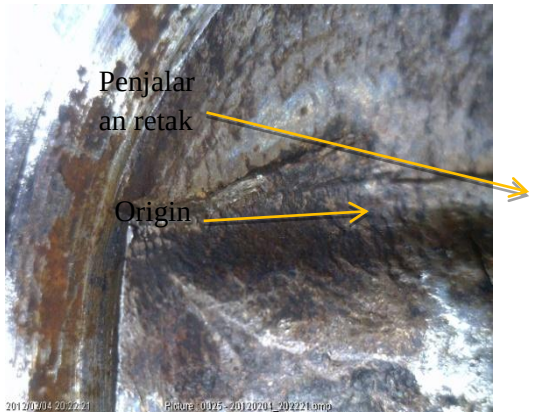
Gambar 9. Patahan pada *head plunger*

Gambar 9 memperlihatkan kondisi penampang patahan sisi kepala plunger yang bila dilihat dari atas tampak cenderung rata. Posisi patahan terjadi pada pangkal kepala plunger pompa.

[1,]Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian
[2] Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru



(a)

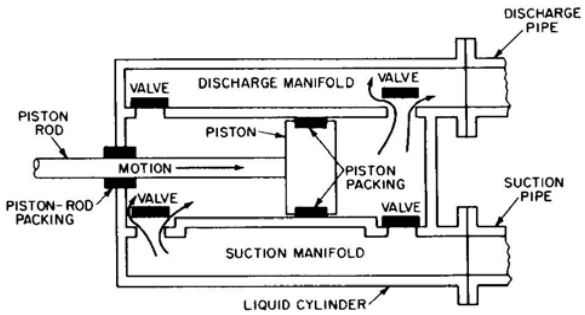


(b)

Gambar 10. Fraktografi patahan plunger:(a) Permukaan patahan plunger, (b) Detail awal patahan plunger

Hasil Uji Kekerasan Material Plunger

Hasil pengujian kekerasan ini dilakukan untuk memandingkan nilai kekerasan material yang digunakan pada plunger yaitu SS 316L dengan standar kekerasan material tersebut. Hasil pengujian kekerasan sebagai berikut:



Gambar 11. Langkah buang/pemompaan pompa plunger

Tabel 1. Data uji kekerasan Rockwell

Posisi Pengujian	Nilai Kekerasan		Nilai Kekerasan Standar (HRB)
	(HRA)	Konversi (HRB)	
1	50	81	79
2	48	77	
3	47.5	76,2	

Pada dasarnya nilai kekerasan material plunger pada tabel 1 di atas mendekati sama dengan material standar untuk SS 316L.

Tegangan Pada Batang Torak

Pada dasarnya ada dua langkah kerja utama pompa plunger, yaitu langkah kerja hisap dan langkah kerja buang:

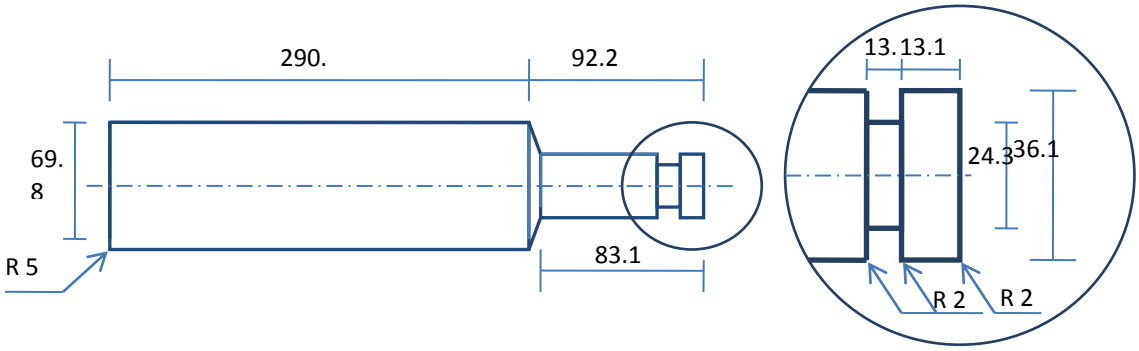
1. Langkah hisap
   Ketika *plunger* bergerak menjauh dari ujung kepala silinder, katup searah pada saluran buang ditutup oleh tekanan yang lebih tinggi dalam pipa pembuangan dari tekanan yang lebih rendah pada silinder.
2. Langkah buang
   Langkah buang pompa plunger terjadi ketika *plunger* bergerak ke ujung silinder, peningkatan tekanan di dalam silinder menyebabkan katup hisap menutup.

Berdasarkan tekanan pompa tersebut maka tekanan pada langkah buang merupakan tekanan maksimal yang juga bekerja pada batang torak, sedangkan tekanan hisap adalah tekanan minimal pada batang torak.

Tabel 2. Tekanan operasional pompa

Langkah kerja	**Tekanan (bar)**
Hisap	2,7
Buang	89,6

Dengan diketahuinya tekanan kerja pompa maka dapat dihitung gaya pada batang torak sebagai berikut:



Gambar 12. Dimensi batang torak pompa IR 5H3S

- Gaya maksimal yang bekerja pada batang torak pada langkah pemompaan adalah:

$F_d = w.Hd.A$ ..... (1)

Dimana:

p = 89,6 bar

w = 1g/ml

$Hd = p\ 10.197 / w$ ..... (3)

$Hd = (89{,}6 \times 10{,}197)/1$

$= 913{,}65$ m

Spesific gravity air (w) yang digunakan = 975 kg/m^3

$$A = \frac{3{,}14 \times 36{,}1^2}{4}$$

$= 1023\ \text{mm}^2 = 1{,}023 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$

maka:

$F_d = 975 \times 913{,}65 \times (1{,}023 \times 10^{-3})$

$= 911{,}3$ kg

- Gaya minimal yang bekerja pada batang torak pada langkah hisap adalah:

$F_s = w.Hs.A$ ..... (2)

Dimana:

p = 2,7 bar

$Hs = p\ 10.197 / w$ ..... (3)

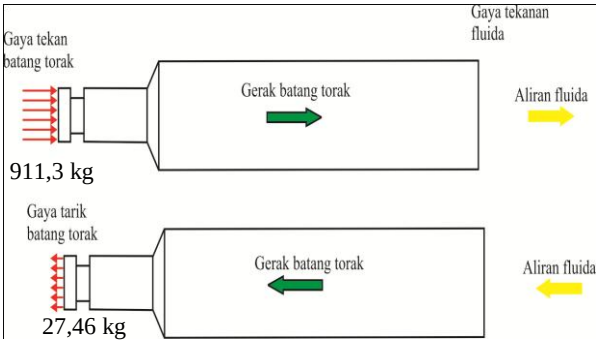
$Hs = (2{,}7 \times 10{,}197)/1$

$= 27{,}53$ m

maka:

$F_s = 975 \times 27{,}53 \times (1{,}023 \times 10^{-3})$

$= 27{,}46$ kg



Gambar 13. Gaya pada batang torak

Analisis Tegangan Menggunakan FEM

Untuk melihat detail distribusi tegangan tersebut maka digunakan metode elemen hingga atau simulasi menggunakan perangkatlunak program SolidWorks SimulationXpress.

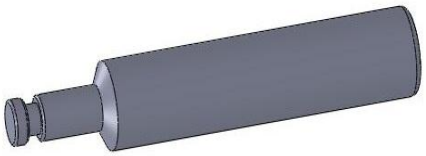
Berdasarkan hasil pengamatan pada plunger terdapat beberapa goresan yang cukup dalam maupun takikan. Kondisi cacat gores, takikan maupun retak pada komponen berpotensi sebagai tempat terjadinya konsentrasi tegangan. Untuk itu perlu dilakukan simulasi dengan kondisi adanya cacat pada plunger.

Tahapan analis menggunakan simulasi ini adalah sebagai berikut:

1. Modeling (Permodelan)

   Permodelan merupakan langkah awal tahapan simulasi, yaitu membuat gambar dalam bentuk tiga dimensi sesuai dengan dimensi batang torak

sebenarnya. Bentuk permodelan batang torak adalah sebagai berikut:



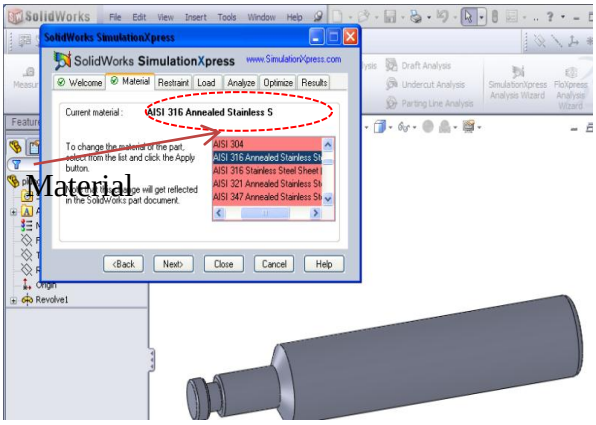
Gambar 14. Model batang torak

2. Penentuan material model
   Material batang torak adalah AISI 316L (*Stainless Steel*), adapun sifat mekanik material tercantum pada tabel 3. berikut ;

Tabel 3. Sifat mekanik material AISI 316L

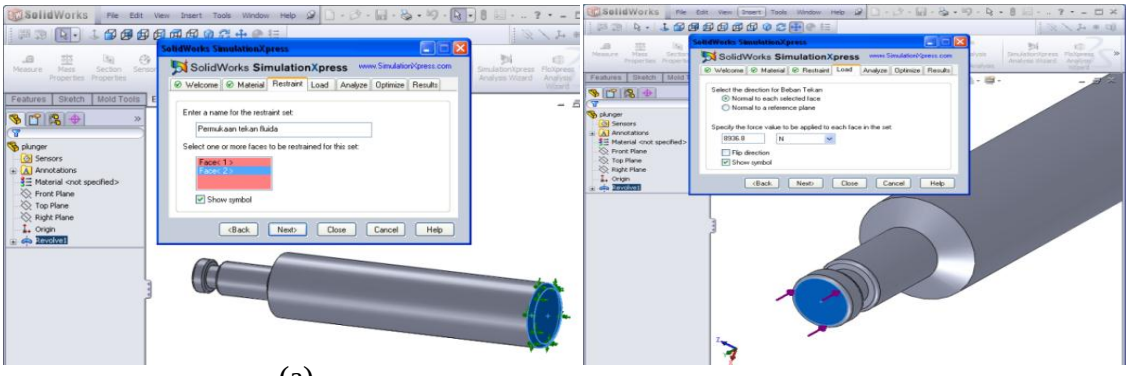
Sifat Mekanik AISI 316L	Besaran (Metrik)
Kekerasan, Rockwell B	79
Kekuatan tarik, Ultimate	560 MPa
Kekuatan tarik, Yield	138 MPa
Elongasi putus	50%
Modulus elastisitas	193 GPa
Endurance (fatigue) limit	260 MPa

Di dalam software yang digunakan, telah tersedia data beberapa material termasuk AISI 316. Jadi data material yang telah ada di *software* dapat langsung diaplikasikan pada model plunger.



Gambar 15. Penentuan material model *plunger*

3. Menentukan gaya-gaya pada batang torak.



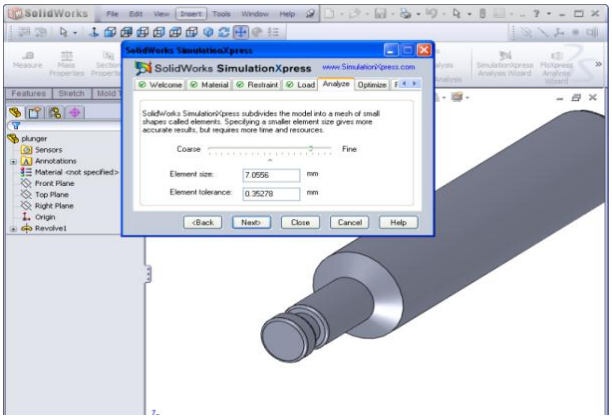
(a) (b)

Gambar 16. Penentuan gaya-gaya pada*plunger:* (a) Tahanan (*retstrain*), (b) tekanan plunger (8936,8 N = 911,3 kg)

Penerapan gaya pada model dilakukan sedapat mungkin mendekati kondisi operasi *plunger* sebenarnya. Ketika langkah pemompaan *plunger* akan mendapat gaya dorong/ tekan dari *connecting rod* yang bergerak akibat terkoneksi pada poros engkol. Poros engkol sendiri digerakkan oleh putaran poros motor listrik.

4. Meshing.
   Pada software SolidWorks SimulationXpress ini bentuk elemen sudah ditentukan secara otomatis,

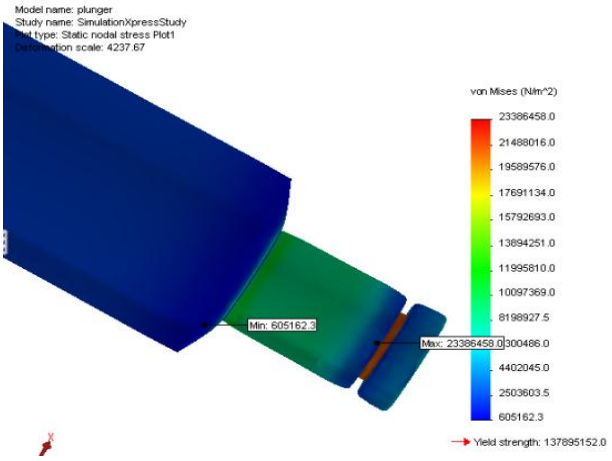
sedangkan ukurannya dapat ditentukan sendiri. Ukuran mesh yang digunakan adalah 7,0556 mm, dengan toleransi 0,35278 mm.



Gambar 17. *Meshing* objek.

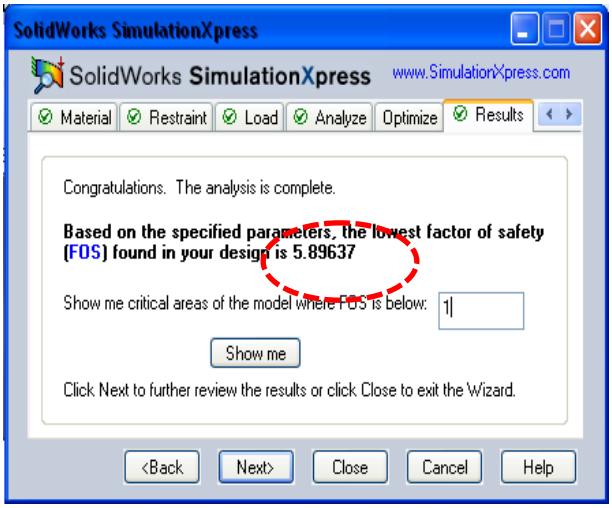
5. Run simulasi dan tampilan hasil

   Selanjutnya adalah menjalankan (*run*) simulasi. Komputer akan menghitung secara otomatis persamaan matematika yang telah diprogram didalam *software SolidWorks SimulationXpress* dengan metoda iterasi.



Gambar 18. Distribusi gaya pada plunger

Hasil simulasi pada gambar 18 menunjukkan distibusi tegangan yang terjadi pada plunger. Perbedaan warna menggambarkan tingkat tegangan pada batang plunger, warna merah merupakan tegangan maksimal sedangkan warna biru menunjukkan tegangan minimum yang terjadi. Tegangan maksimum (σ_{max}) terjadi pada bagian leher kepala (*head*) plunger, sebesar 23386458 N/m^2 (= 23,386 MPa), sedangkan tegangan minimum (σ_{min}) terjadi pada batang plunger sebesar 605162,3 N/m^2 (= 0,605 MPa).



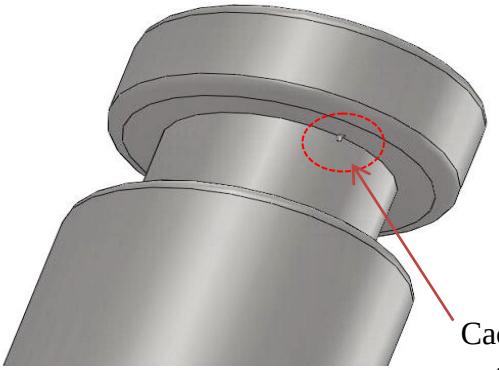
Gambar 19. Nilai FOS (*Faktor of Safety*) desain plunger

Nilai faktor kemanan (FOS) terendah desain plunger untuk beban statik hasil simulasi sebesar 5,896. Nilai FOS ini tergolong aman bagi plunger dengan beban maksimal yang bekerja.

Tegangan pada Plunger Akibat Pengaruh Cacat

Gambar 20. Model plunger dengan konsentrasi tegangan (*notch*)

[1,]Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian
[2] Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru

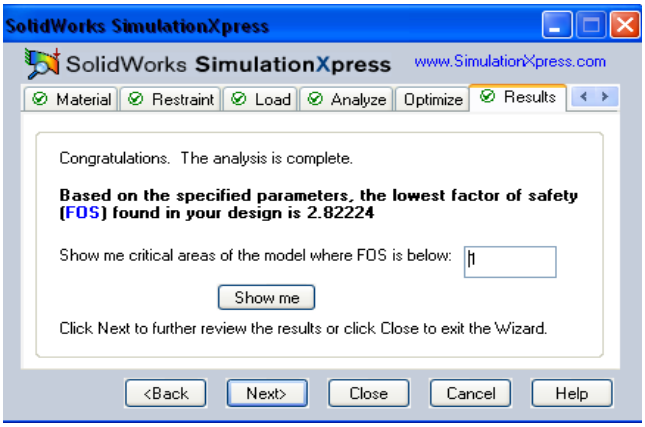


Gambar 21. Model plunger dengan konsentrasi tegangan (*notch*)

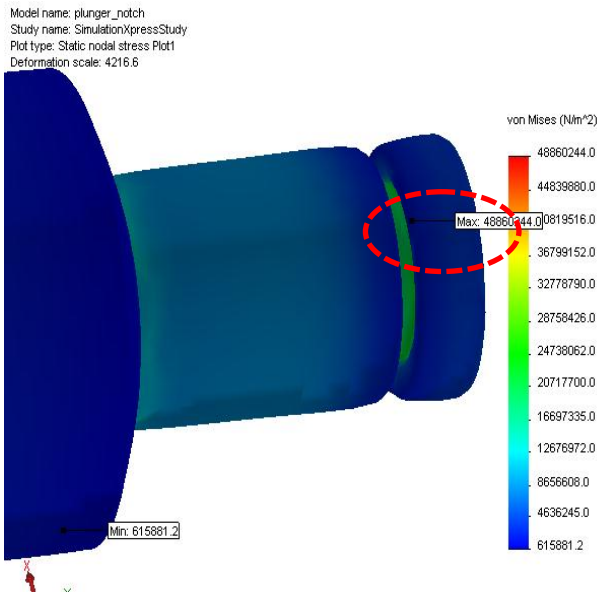
Dengan langkah-langkah yang sama dengan simulasi sebelumnya diatas didapat hasil sebagai berikut:

1. Nilasi faktor keamanan FOS

   Nilai faktor keamanan akibat beban statik yang dialami plunger terutama pada bagian head plunger turun hingga 2,82224. Walaupun nilai faktor keamanan turun tetapi masih dalam kategori aman bagi plunger pada pembebanan statik.



2. Distribusi tegangan pada plunger



Gambar 22. Distribusi teg. pada plunger pengaruh adanya *notch*

Konsentrasi tegangan berupa takikan (notch) yang disimulasikan mengakibatkan tegangan maksimum (σ_{max}) yang bekerja pada head plunger naik menjadi 48860244 N/m^2 (= 48,86 MPa). Sedangkan tegangan minimum (σ_{min}) relatif sama sebesar 615861,2 N/m^2 (= 0,616 MPa).

Tinjauan Kelelahan Logam Plunger

Kondisi pembebanan plunger adalah beban siklik atau pembebanan berulang sehingga perlu dikaji dari segi aspek kelelahan logam aspek. Jumlah siklus kerja pompa adalah 295 – 306 rotasi/menit.

- Tegangan amplitudo (σ_a)

  $Sa = \sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})$..... (2)

  Dimana:

  - σ_{max} Tanpa cacat = 23,386 MPa
  - σ_{max} Pengaruh *notch* = 48, 86 MPa
  - σ_{min} Tanpa cacat = 0,605 MPa
  - σ_{min} Pengaruh *notch* = 0,616 MPa

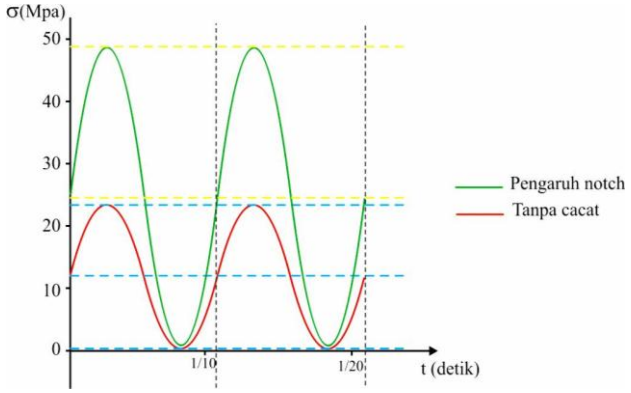
Maka:

- σ_a tanpa cacat = (23,368 – 0,605) /2
  = 11,382 MPa
- σ_a pengaruh notch = (48,86 – 0,616) /2
  = 24,122 MPa

- Tegangan rata-rata (σ_m)

$Sm = \sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2$..... (3)

- σ_m tanpa cacat = (23,368 + 0,605) /2
  = 11,987 MPa
- σ_m pengaruh notch = (48,86 + 0,616) /2
  = 24,738 MPa



Gambar 23. Grafik siklus pembebanan plunger

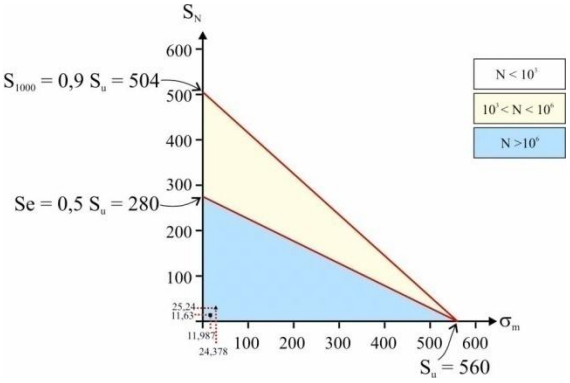
Dari persamaan Goodman

$\sigma_a / S_e + \sigma_m / S_u = 1$..... (6)

atau:$\sigma_a / S_N + \sigma_m / S_u = 1$

- Tanpa cacat: $11,382/S_N + 11,987/560 = 1$
  $S_N = 11,63$ MPa
- Pengaruh notch:$24,122/S_N + 24,738/560 = 1$
  $S_N = 25,24$ MPa

- Nilai S_{1000} dan S_e
  $S_{1000} = 0,9\ S_u = 0,9 \times 560 = 504$ MPa
  Artinya bahwa plunger akan patah pada 1000 kali siklus pembebanan, bila mendapat tegangan siklus lebih besar atau sama dengan 504 Mpa.
  $S_e = 0,5\ S_u = 0,5 \times 560 = 280$ MPa
- Plot terhadap diagram Haigh



Gambar 24.Teg. lelah terhadapTeg. rata-rata (Kriteria Goodman)

- Estimasi siklus terjadinya patah

Berdasarkan digram Haigh diatas (gambar 24), material plunger mengalami siklus patah lebih dari 10^6 siklus.

4. KESIMPULAN

1. Hasil pemeriksaan makro patahan plunger dan kondisi siklus pembebanan, jenis kegagalan yang terjadi adalah kegagalan patah akibat lelah (kegagalan fatik).

2. Desain plunger memiliki diameter bertingkat dari diameter yang terbesar 69,8 mm pada bagian tekan fluida kerja, sedangkan diameter terkecil 24,3 mm pada bagian leher (*neck*) kepala plunger berhubungan dengan piston pompa yang merupakan bagian paling rentan terhadap patah akibat pembebanan.

3. Patahnya plunger pompa hanya dimungkinkan ketika siklus kerja pompa pada tekanan maksimal, yaitu pada saat langkah pemompaan sebesar 89 bar. Pada saat itu tegangan maksimal hasil simulasi, terjadi pada bagian leher plunger sebesar 23,386 MPa untuk desain plunger dan 48,86 Mpa bila plunger dipengaruhi adanya konsentrasi tegangan/ *notch*.

4. Secara umum desain plunger (dimensi maupun pemilihan material) sudah baik, karena memiliki nilai FoS pada kondisi aman yaitu 5,89, untuk kondisi pembebaan statik. Pada kondisi adanya notch plunger juga

[1,]Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian
[2] Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru

masih dalam keadaan aman dengan nilai FoS sebesar 2,82.

5. Plot batas *endurance limit* plunger terhadap tegangan rata-rata menurut kriteria Goodman, memperlihatkan umur siklus berada diatas 10^6 siklus, atau tergolong aman terhadap kondisi pembebanannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Flowserve, "*Manual Horizontal Plunger Pump Type 5HS3*" Flowserve Humburg GMBH, Germany, 2010.
2. Joe Evans,Ph.D, "Positive Displacement Pumps", http://www.pumped101.com
3. Neville W. Sachs, P.E, "*Practical Plant Failure Analysis*", CRC Press, USA 2007.
4. UNEP (*United Nations Environment Programme)*, " Pompa dan Sistem Pemompaan", www.energyefficiencyenergiasia.org, UNEP, 2006.