

ANALISA KERUSAKAN DAN OPTIMASI PEMELIHARAAN PIN RANTAI PADA MESIN FILLER LINIER

Ahmad Zayadi

*) Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional
HP 0812-18269990 E-mail : azay_114@yahoo.com

ABSTRAK

Sebuah pabrik industri minuman ringan di Jakarta yang memiliki beberapa *line* mesin pengisi botol, pada tahun 2013 telah terjadi *down time* selama 3 jam yang disebabkan oleh patahnya pin rantai pada mesin *filler linier*. Untuk mendapatkan penyebab dari permasalahan tersebut maka dilakukan analisis dan pengujian terhadap material pin. Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah uji kekerasan, uji komposisi kimia, dan uji metalografi. Dari hasil analisa terhadap material yang patah diketahui jenis material yang digunakan adalah SS 431, dilihat dari komposisi kimia pin tidak mengalami perubahan masih sesuai dengan material standar, titik patahan terdapat pada bagian tengah pin rantai. Uji metalografi menunjukkan pada daerah pin terdapat struktur martensit temper dan butiran yang kasar sehingga bersifat keras dan getas (*brittle*) sehingga mudah mengalami kegagalan. Kekuatan pin memenuhi kriteria desain, torsi yang terjadi sebesar 7987 Nm, dilihat dari tegangan geser yang terjadi sebesar 158.98 N/mm² sedangkan gaya *yield* yang diijinkan sebesar 490 N/mm². Reliability 90% tercapai jika dilakukan pemeriksaan pin dan rantai pada hari ke 73 (tujuh puluh tiga) setelah penggantian dan pemasangan pin rantai yang baru dengan tipe yang sama.

Kata Kunci: pin patah, torsi, fatik, pengujian logam.

ABSTRACT

A manufacturer of soft drinks industry in Jakarta, which has some line series machine of bottles filler, in 2013 there has been happened a down time of machine for 3 hours which cause of chain pin broken on linier filler machine, For getting the cause of that problem so that is done analysis and testing for the pin material. The Tests which has been done, they are hardness test, chemical composition test, and metallographic test. From the analysis result of broken material is seen that the type of material that is used is SS 431. It's seen from pin chemical composition doesn't change everything, it is suitable with standard material, the broken point at middle of chain pin. Metallographic test shows on the pin area can be found temper martensite structure and rough grain so become hard and brittle, finally is easy to happen fault. The strength of pin meet the design criteria, the torque happened as big as 7987 Nm, it is seen from shear stress that happened as big as 490 N/mm². The reliability of 90% is achieved if is checked of chain and pin at the seventy three of day after changing and replacement of the new chain pin with the same type.

Keywords : pin broken, torque, fatigue, metal testing.

1. PENDAHULUAN

Pada bulan Mei sampai dengan Nopember 2013, telah terjadi kerusakan atau kegagalan pada pin rantai mesin *filler linier* pada sebuah pabrik industri minuman ringan di Jakarta. Gambar 1.1. Memperlihatkan Pin rantai dari mesin *filler linier* daerah masuknya botol untuk proses pengisian produk.



Gambar 1.1. Mesin *filler linier*

Patahnya pin terjadi pada bagian tengah, dimana pin tersebut berfungsi sebagai dudukan *hanger* dan *cell bar*. Dari informasi yang diperoleh bahwa pin rantai ini telah mengalami kegagalan atau patah sebanyak 5 kali selama digunakan dalam 1 (satu) tahun, patah pertama kali terjadi pada Mei tahun 2013, pin yang patah dilakukan penggantian dengan pin yang baru. Setiap kali terjadi kegagalan pada pin rantai mesin *filler linier* ini dibutuhkan waktu 3 jam untuk proses penggantian dan instalasi pin tersebut.

Tujuan Penelitian

- a) Menentukan jenis kerusakan dan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya kegagalan pin rantai mesin *filler linier*. Untuk itu, dalam penelitian ini dilakukan pengujian dan analisis sebagai berikut: pengukuran dimensi, pengujian kekerasan, pengujian metalografi, dan analisa komposisi kimia dari material pin.
- b) Dengan diketahuinya jenis dan penyebab kerusakan pada pin rantai mesin *filler linier*, maka dapat memberikan petunjuk untuk melakukan perbaikan dan tindakan pemeliharaan terhadap pin rantai sesuai dengan jenis dan penyebab kerusakan agar kerusakan serupa tidak terulang kembali.

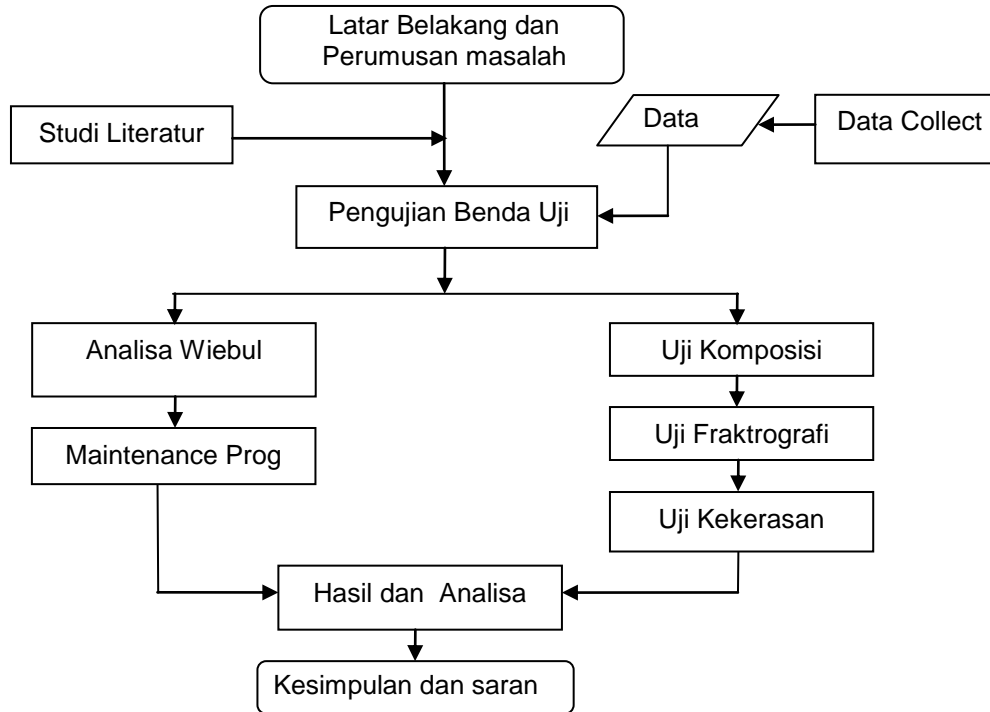
Pengambilan data dan pengujian material dalam proses penelitian ini dilakukan dalam periode Mei - Nopember 2013 dari sebuah pabrik industri minuman ringan di Jakarta.

Sistematika Penulisan ini dibagi dalam beberapa bagian yaitu : pendahuluan, metoda penelitian, hasil dan pembahasan serta kesimpulan.

2. METODE PENELITIAN

Agar dapat diketahui analisa dari hasil penelitian yang dilakukan ini, maka pada bab ini maka akan dibahas mengenai metode penelitian yang digunakan, proses pelaksanaan penelitian serta prosedur dari penelitian yang dilakukan, dimana pelaksanaan analisa kerusakan pin rantai, dilakukan di laboratorium metalurgi

B2TKS Puspitek BPPT Serpong, dimulai dari persiapan material atau bahan uji berupa bahan *pin rantai* yang menjadi objek penelitian sampai proses pengujian material pin tersebut. Untuk mendapatkan karakteristik dan sifat-sifat dari material pin rantai, diperlukan langkah-langkah penelitian sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram proses penelitian

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisa secara visual, maka penyebab kerusakan dan kegagalan pin rantai karena beban fatigue, dan untuk mendapatkan evaluasi kerusakan dan kegagalan pin rantai tersebut, diperlukan beberapa metoda pengujian diantaranya adalah :

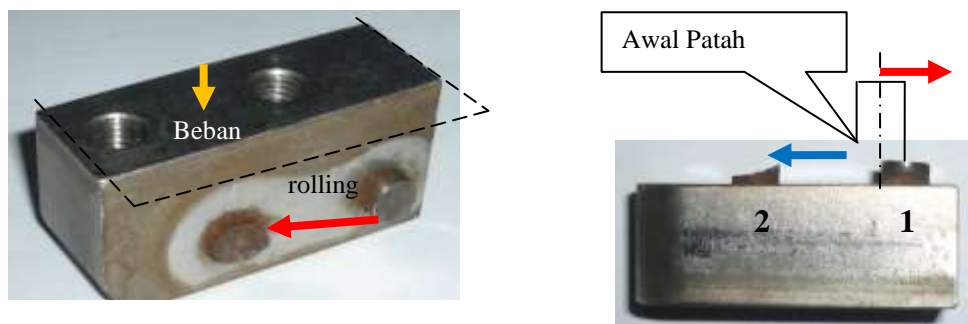
1. Pengukuran fisik material pin, berupa :
 - Pengukuran pin dan kerusakan fisik yang terjadi pada pin rantai,
2. Pengujian kekerasan pin,
3. Pengujian *metallografi*,
4. Pengujian *fraktografi*,
5. Pengujian komposisi kimia pin,

Dengan metoda penelitian diatas diharapkan didapatkan hasil penelitian yang dapat memberikan gambaran penyebab kerusakan atau kegagalan pada pin rantai mesin *filler linier* secara komprehensif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, ada beberapa hal penting yang dapat menggambarkan alasan kerusakan pin rantai yang diteliti.

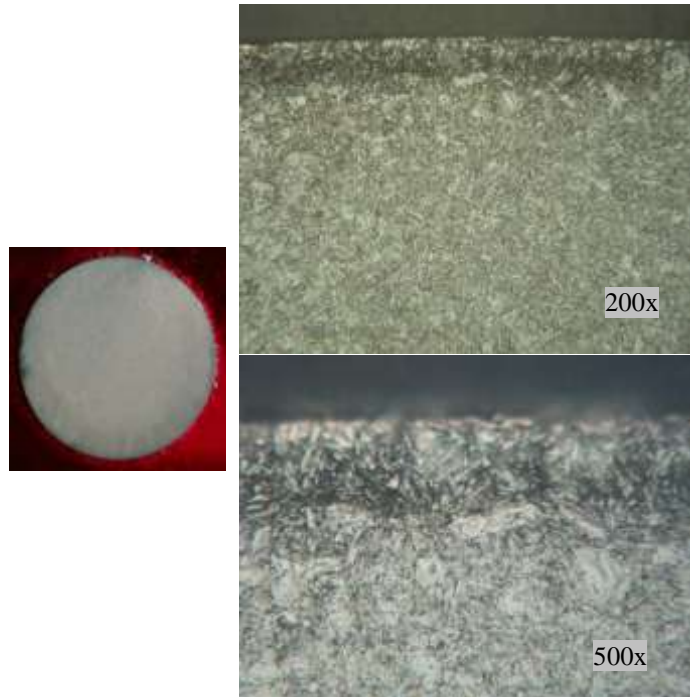
1. Hasil Pengujian makrofraktografi dilakukan pada daerah patahan untuk melihat permukaan patahan, pemeriksaan ini dilakukan dengan alat stereo mikroskop, dari foto makro tersebut dapat dilihat indikasi terjadinya patahan. Dari pemeriksaan makrofraktografi ini diketahui dalam satu hanger pin terdiri dari dua bagian, seperti terlihat pada gambar 3. Hasil foto makro ini juga terlihat adanya patahan yang terjadi pada pin



Gambar 3.

Foto makro Pin penghubung rantai dengan dudukan tempat hanger untuk beban kerja. Pada pin yang patah dapat diilustrasikan; pin 1 merupakan penerima beban tarik terberat dibandingkan pin 2, sehingga bentuk patahan bersifat rata (adanya patah fatik) yang merupakan patah pertama, sedangkan pin 2 merupakan patah kedua yang mempunyai patahan separuhnya membentuk sudut 45°

- Makrofraktografi terhadap pin rantai adalah sebagai berikut :
Dari hasil pengamatan secara visual dan makrofraktografi terhadap permukaan patahan pin rantai mesin *filler* antara lain;
 - Permukaan patahan pin 1 mempunyai bidang rata dan halus 3/4 bagian, sedangkan 1/3 dari luas patahan merupakan patah sisa.
 - Permukaan patahan pin 2 (satu rangkaian *Cellbar* dengan pin 1) mempunyai bidang patah rata separuh dan separuhnya merupakan patah sisa (patah statik) dan mempunyai sudut patah 45° .
 - Pada Pin kondisi tidak patah sebagai pembanding, ditemukan adanya keausan akibat gesekan dengan rantai tetapi tidak berpengaruh terhadap operasi.
- Metallografi
Hasil pemeriksaan metallografi terhadap pin yang patah dengan pin kondisi normal antara lain:
 - Struktur mikro pin 1 dan pin 2 pada daerah awal patah berupa martensit temper dengan bentuk patahan melewati batas butir dan pada daerah tepi ditemukan adanya serangan korosi celah.
 - Pada pin kondisi normal struktur mikro berupa martensit temper dengan karbida krome menyebar merata pada butiran.



Gambar 4.

Struktur mikro potongan memanjang daerah tengah berupa martensit temper dengan butir karbida menyebar merata. Etsa; *kalling reagent*.

- Uji Kekerasan.

Pengujian kekerasan material pin dilakukan dengan alat uji kekerasan skala *vickers* dengan 3 *sample* pengujian. Hasil pengujian. *Sample 1* pengujian kekerasan dilakukan pada pin 1 patah, kekerasan material berkisar antara 328 s/d 271 HV, *sample 2* pengujian kekerasan pada pin 2 patah dengan nilai kekerasan material berkisar antara 391 s/d 407 HV serta *sample 3* pengujian dilakukan pada pin yang tidak mengalami patah (normal), kekerasan material berkisar antara 336 s/d 386 HV.

- Uji Komposisi Kimia

Pada pengujian kimia material pin seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah. untuk pin rantai tergolong jenis baja tahan karat (SS 431) dengan jumlah persentase karbon 0.125%.

Material pin ini mendekati material standar untuk *stainless steel* yang memiliki ketahanan korosi dan kekuatan *fatigue* yang baik sehingga pemilihan bahan sudah sesuai untuk pemakaiannya sebagai pin rantai seperti terlihat pada perbandingan komposisi kimia tabel berikut.

Tabel. Perbandingan komposisi kimia pin rantai dengan material standar.

Unsur Kimia	Hasil Pengukuran Pin (% berat)	Standar Material SS 431
Fe	80.8	-
C	0.125	0.20 max
Si	0.567	1.00 max
Mn	0.696	1.00 max
P	0.005	0.040 max
S	0.0030	0.030 max
Cr	16	17.00 max
Mo	0.0197	-
Ni	1.51	2.50 max
Al	0.0079	-
Co	0.0427	-
Cu	0.125	-
Nb	0.0037	-
Ti	0.0029	-
V	0.0238	-
W	0.0812	-
Pb	0.0150	-

-Hasil Perhitungan Kekuatan Pin Rantai

Hasil pengukuran dimensi material pin yang mengalami patah menjelaskan bahwa, tidak terjadi perubahan dari ukuran pin sebelum dan sesudah terjadinya patah.

Dari data operasi yang ada, pin rantai berputar dari 4100 rpm menjadi 48 rpm daya dari motor sebesar 32 Nm dan panjang rantai 17 m sedangkan jarak *center* antar *sprocket* 7,75 m dan kecepatan rantai adalah 39 m/menit.

Perhitungan kekuatan pin pada rantai.

Perhitungan gaya (*tension*) yang bekerja pada pin berdasarkan daya dari motor yang digunakan, maka dapat dihitung torsi yang terjadi pada masing-masing *sprocket* dengan persamaan sebagai berikut :

Torsi pada drive penggerak (T_1)

$$T_{mean} = \frac{32 \times 60.000}{2 \times 3.14 \times 48}$$

$$= 6390 \text{ Nm}$$

$$T_{max} = 1.25 \times T_{mean}$$

$$= 1.25 \times 6390 = 7987.22 \text{ Nm}$$

Torsi pada *drive* yang digerakkan (T_2)

$$T_2 = \frac{D_2}{D_1} \times T_{max}$$

$$= 0.75 \times 7978.22 = 5990.42 \text{ Nm}$$

Gaya maksimum yang diijinkan adalah

$$\sum P = 0 \text{ Hukum Newton II } P_1 = P_2$$

$$T_2 = P \frac{D}{2}$$

$$P_2 = \frac{2T_2}{D_2}$$

$$P_2 = \frac{2 \times 5990.42 \text{ Nm}}{0.75 \text{ m}} = 15975 \text{ N}$$

Sehingga beban yang terjadi adalah sebesar :

$$P_2 = \frac{15795 \text{ N}}{9.81 \text{ m/det}} = 1628 \text{ kg}$$

Karena rantai terbagi menjadi 2 (dua) bagian yaitu : kiri dan kanan maka gaya yang bekerja diasumsikan terbagi 2 yaitu :

$$P_2 = \frac{15795 \text{ N}}{2} = 7987 \text{ N}$$

Tegangan geser didefinisikan sebagai intensitas geser (*shearing force*) yang bekerja pada suatu titik pada permukaan suatu bidang. Huruf (τ) dalam abjad Yunani digunakan untuk menandakan tegangan geser.

$$\tau_{nom} = \frac{P}{A}$$

$$\tau_{nom} = \frac{P}{A}$$

$$\tau_{nom} = \frac{P}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

$$\tau_{nom} = \frac{7987}{\frac{\pi}{4} 8^2}$$

$$= 158.98 \text{ N/mm}^2$$

Bearing stress atau tegangan yang terjadi antara dua bagian/*part* yang saling kontak, namun bergantung pada area dan gaya kontak. Salah satu indikator dari *bearing stress* adalah intensitas gaya yang dibagi dengan luas penampang dari komponen tersebut.

Bearing stress yang terjadi dirumuskan dengan persamaan dibawah ini :

$$\tau_b = \frac{P}{A}$$

Dimana :

P = *Bearing force*

A = Luas *cross section*, = A = t x d

Dimana : t adalah tebal plat, dan d adalah diameter *hole*

Dengan P = 7987 N, t = 3 mm, d= 8.5 mm, maka *bearing stress* yang terjadi adalah :

$$\tau_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{t \cdot d}$$

$$\tau_b = \frac{15975 \text{ N}}{(3 \text{ mm} \times 8.5 \text{ mm})}$$

$$\tau_b = \frac{15975 \text{ N}}{25.5 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_b = 626.47 \text{ Nmm}^2$$

Bending Stress

$$\tau_{bending} = \frac{M \cdot y}{I}$$

$$\tau_{bending} = \frac{M}{Z}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$\frac{1}{2} R_A \times l = \frac{1}{2} R_A$$

$$M_B = \frac{1}{2} \times P \times L$$

$$M_B = \frac{1}{2} \times 7987 \text{ N} \times 50$$

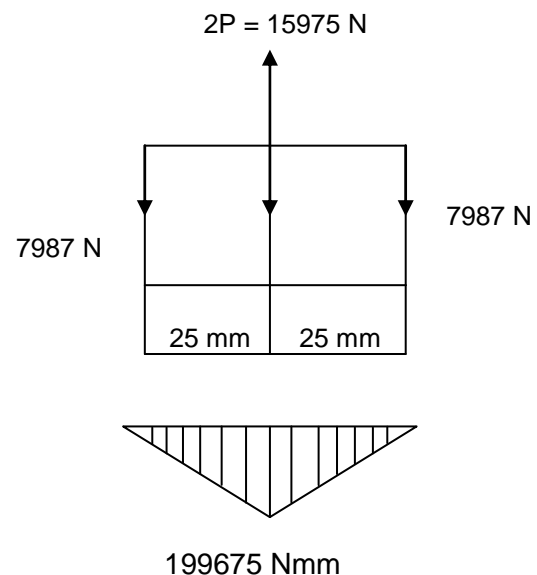
$$M_B = 199675 \text{ Nmm}$$

$$Z = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$Z = \frac{\pi (8.5^3)}{32}$$

$$Z = \frac{\pi (614.125) \text{ mm}^3}{32}$$

$$Z = 6.26 \text{ mm}^3$$



Maka Momen bending :

$$\tau_{bending} = \frac{M}{Z}$$

$$\tau_{bending} = \frac{199675 \text{ N}}{60.26 \text{ mm}^3}$$

$$\tau_{bending} = 3313 \text{ Nmm}^2$$

Dari hasil perhitungan pin rantai, didapatkan nilai tegangan geser sebesar 158.98 N/mm². maka dapat dilihat bahwa gaya yang terjadi masih dibawah tegangan *yield* yang diijinkan, sehingga secara perhitungan kekuatan pin rantai masih mampu menahan beban yang terjadi selama proses berlangsung.

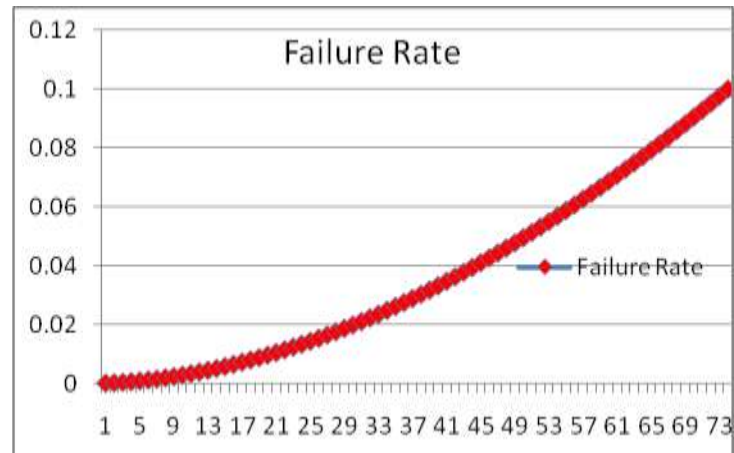
- Hasil Perhitungan *Reliability*

Data riwayat mesin *filler linier* menunjukkan waktu terjadinya pin rantai mengalami patah. Dari data tersebut dapat dibuatkan tabel untuk menghitung *reliability* seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel Data *Failure Rate*

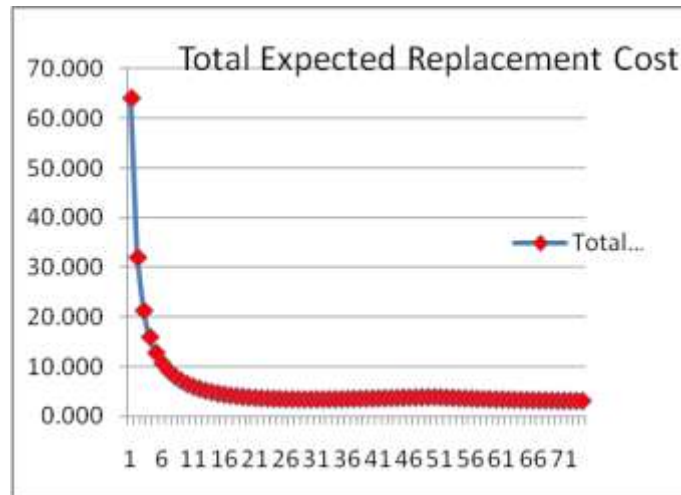
Failure range (Hari)	Rank	Median Ranks	1/(1-Median Rank)	ln(ln(1/(1-Median Rank)))	ln(Failure)
28	1	0,130	1,149	-1,974	3,332
35	2	0,315	1,459	-0,973	3,555
42	3	0,5	2	-0,367	3,738
56	4	0,685	3,176	0,145	4,025
70	5	0,870	7,714	0,714	4,248

Dari data diatas, didapatkan nilai *mean* dan standar deviasi sebesar 46.20 dan 16.86. Data tersebut kemudian diregresikan untuk mendapatkan nilai beta dan etha seperti terlihat pada lampiran 3. Hasil betha dan etha yang diperoleh kemudian dimasukkan dalam perhitungan *failure rate* kemudian dibuatkan grafik seperti pada gambar 5. berikut.



Gambar 5. Failure rate

Grafik 5. Diatas menunjukkan kurva yang semakin meningkat sesuai dengan nilai betha yang didapatkan yaitu $\beta > 1$. Artinya potensi kerusakan semakin lama akan semakin besar sehingga diperlukan jadwal pemeliharaan terhadap pin agar kejadian patahnya pin ditengah proses dapat dihindari atau dikurangi sehingga tidak menimbulkan *down time* yang berakibat pada penurunan produktivitas dan biaya operasi yang tinggi. Dalam perhitungan *total expected replacement cost* seperti ditunjukkan pada gambar 6. untuk mendapatkan *reliability* sebesar 90% maka pemeriksaan berkala terhadap pin rantai harus dilakukan pada hari ke 73 (tujuh puluh tiga) setelah penggantian dan pemasangan pin dan rantai yang baru. Pemeriksaan dapat dilakukan dengan *dye penetrant* untuk mengetahui ada atau tidaknya retak pada pin. Selain itu pemeriksaan terhadap sistem pada mesin *filler linier* secara operasional juga harus dilakukan seperti ada atau tidaknya indikasi rantai tidak simetris terhadap *cell bar*, pemeriksaan dilakukan pada hari ke 73 (tujuh puluh tiga). *Cell bar* berfungsi sebagai dudukan beban (botol) sehingga menimbulkan gaya tarik-tekuk pada pin. Dan beban pergerakan rantai tidak stabil dalam arti ada hentakan atau beban kejut sehingga dapat menimbulkan terjadinya patah pada pin rantai.



Gambar 6. Grafik biaya vs interval pemeriksaan

Berdasarkan grafik 6. dapat dijelaskan bahwa waktu yang optimum untuk melakukan pemeriksaan terhadap pin dan rantai adalah pada hari ke 73 setelah penggantian dan pemasangan pin yang baru, Hasil Mean dan Standar Deviasi kemudian dimasukkan dalam perhitungan *total Expected replacement cost*

- Tindakan Pencegahan Kegagalan

Tindakan perbaikan yang dapat dilakukan dalam melakukan pemeliharaan terhadap mesin *filler linier* lebih khusus terhadap pin rantai dapat dilakukan dengan pemeriksaan berikut:

- Pemeriksaan NDT dengan *dye penetrant* untuk mengetahui apakah telah terjadi tanda-tanda adanya retak pada pin, karena *penetrant* mampu memberikan informasi apabila pada benda uji mengalami retak dengan menampilkan warna merah yang telah disemprotkan sebelumnya diatas warna putih.
- Pemeriksaan dengan *vibration analyzer*, dengan alat ini mampu mendeteksi secara dini terjadinya kerusakan pada suatu elemen mesin secara menyeluruh dalam sebuah sistem kerja. "Bagian-bagian tersebut akan dihasilkan berupa minuman dan harus higienis disarankan untuk mengganti material pin rantai agar tidak terjadi korosi pada bagian pin rantai. Jika diperlukan solusi maka sebaiknya material pin yang lama diganti dengan material yang lebih baik yaitu material yang tahan terhadap korosi yaitu berupa *cobalt alloy steel*."
- Secara operasional dipastikan bahwa tidak ada botol yang jatuh ataupun botol tersangkut yang dapat menjadi penyebab adanya beban kejut dari rantai pin dengan menempatkan *operator sighter*

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelusuran terhadap sampel dan pengujian yang dilakukan maka dapat diambil suatu kesimpulan yang menjelaskan sebab terjadinya patahnya pin rantai mesin *filler linier* sebagai berikut :

1. Penyebab patahnya pin rantai mesin *filler linier* lebih disebabkan oleh adanya beban *fatigue* yang terjadi pada pin rantai tersebut yang awalnya pada bagian yang mengalami korosi, selain itu pada bagian tersebut memiliki tingkat kekerasan material paling tinggi.
2. Besarnya beban torsi yang bekerja pada pin rantai sebesar 7987 N.m, tegangan geser maksimal yang terjadi adalah 158.98 N/mm² sedangkan gaya yield yang ijin adalah sebesar 490 N/mm². Tegangan geser yang terjadi masih dibawah gaya yield ijin sehingga material masih cukup aman menerima beban statis, namun serangan korosi terjadi pada permukaan pin maka area korosi tersebut daerah awal *fatigue* karena kelelahan pin rantai beroperasi.
3. Saat ini pemeliharaan yang dilakukan adalah dengan pemberian oli pada rantai, sedangkan pin tidak dilakukan tindakan pemeriksaan kondisi.

- Saran

Berdasarkan kasus yang terjadi pada *pin* rantai mesin *filler linier* ini, maka beberapa langkah yang dapat diambil, guna mencegah terjadinya kejadian serupa sebagai berikut :

1. Pemeriksaan *preventive maintenance* terhadap pin dapat dilakukan dengan *non destruktif test* seperti *dye penetrant* untuk mengetahui ada atau tidaknya retak. Dengan *vibration analysis* alat ini mampu mendeteksi secara dini terjadinya kerusakan pada suatu elemen mesin
2. Frekuensi pemeriksaan *pin* dengan kondisi desain saat ini sebaiknya dilakukan pada hari ke 73 (tujuh puluh tiga) agar kejadian pin rantai patah ditengah proses dapat dihindari sehingga *performance* dari keseluruhan *line* tidak terganggu. Selain mempertimbangkan nilai kerugian yang cukup besar akibat dari kegagalan pin rantai mesin *filler linier*.
3. Jika diperlukan solusi maka sebaiknya material pin rantai yang lama diganti dengan material lebih baik yaitu : berupa *cobalt alloy steel* yang tahan terhadap serangan korosi karena pada saat proses berlangsung terdapat H₂O₂ yang dapat menyebabkan material pin terkena serangan korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D.N. Adnyana, *Klasifikasi Kerusakan Secara Umum*, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta, 2009.
- [2] Andrew K.S. Jardine, Albert H.C. Tsang, *Maintenance, Replacement and Reliability Theory and Applications*, CRC Tailor and Francis, 2006.
- [3] American Society of Material, Handbook Vol 11, *Failure Analysis and Prevention*, 2002.
- [4] American Society of Material, Handbook vol 9, *Fatigue and Fracture*, 1997.
- [5] Budynas-Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design 8th Edition*, The MacGraw Hills, 2008.
- [6] John Moubray, *Reliability Centered Maintenance 2nd edition*, Industrial Press, 1997.
- [7] Khurmi, R.S., *A text book of machine design*. S.I. Units. New Delhi : Eurasia Publishing House (Pvt) LTD., 2004.
- [8] GP. Sullivan, *Operation and Maintenance Best Practice*, Pacific Northwest, 2007.
- [9] Heriy Sonawan, *Perancangan Elemen Mesin*, Alfabeta, Bandung, 2010.
- [10] www.atlas.com, 2014.
- [11] www.corrosionsource.com.2014.
- [12] *Operating instructions Linear machine* , version 9, Jerman, 2012.