

RELIABILITY ANALYSIS OF REPAIRABLE SYSTEM: SCREW PRESS MACHINES

Oleh:

Nelson Manurung¹, Nofirman Firdaus², Bambang Tegu Prasetyo³

¹ Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

² Teknik Mesin, Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN)

³ Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Abstract

In this paper, Reliability analysis is performed on screw press machines. The analysis starts with system reliability based on ten components and one-year failure data. To identify which component has a negative impact on system reliability and to what degree the impact is, reliability importance indices are performed based on Birnbaum and operational criticality index (OCI). By identifying the rank of component importances, maintenance could focus on the critical parts, and then improve system reliability. In addition, maintenance optimization for inspection and replacement schedule are also presented in this paper.

Keyword: screw press

1. PENDAHULUAN

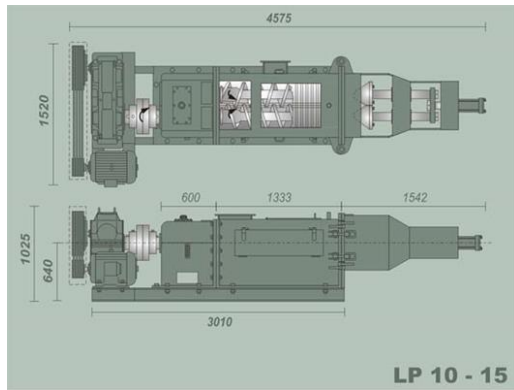
Pengolahan buah kelapa sawit menjadi minyak sawit dilakukan dengan menggunakan mesin-mesin produksi seperti *sterilizer, thresher, digester, screw press, vibrating screen, continuous clarifier, oil tank, oil purifier, vacuum drier, dan storage tank*. Proses produksi sangat dipengaruhi oleh sumber daya mesin dan peralatan yang berperan sebagai fasilitator terselenggaranya proses pengolahan. Oleh karena itu keandalan dari mesin dan peralatan harus terjaga dengan baik, hal ini tentunya dilakukan dengan memperhatikan pemeliharaan mesin dan peralatan yang ada. Salah satunya peralatan yang berperan penting untuk menghasilkan minyak kelapa sawit adalah *Screw Press*. Alat ini berfungsi untuk memeras daging buah kelapa sawit yang telah direbus dan menghasilkan minyak kelapa sawit yang masih kasar yang disebut crude oil (CO).

Penelitian ini dilaksanakan di pabrik kelapa sawit (PKS) di daerah Sumatera Utara dengan kapasitas olah tandan buah segar sebesar 60 Ton/Jam. Penelitian juga hanya terfokus pada mesin screw press yang rusak, dengan melakukan perankingan terhadap komponen-komponen yang selalu mengalami kerusakan sehingga akan diketahui komponen yang paling kritis yang harus segera dilakukan penjadwalan pemeliharaan secara intensif. Berdasarkan komponen-komponen mesin screw press yang

mengalami kegagalan akan dilakukan analisa keandalan, optimasi jadwal pemeliharaan dan inspeksi mesin screw press. Dengan dilakukan analisa-analisa tersebut diharapkan dapat menentukan komponen yang paling berpengaruh terhadap keandalan dan downtime (Reliability importance), dan mengurangi biaya pemeliharaan dengan optimasi jadwal inspeksi dan penggantian komponen mesin screw press.

1.1 Mesin Screw Press

Mesin screw press yang dijadikan objek penelitian adalah mesin yang memiliki kapasitas pengolahan maksimum 15 Ton/jam dengan jumlah 4 unit. Mesin ini beroperasi 24 jam sehari dan memiliki putaran mesin yang rendah (10-13 rpm). Untuk mengoperasikan mesin ini, membutuhkan energi listrik untuk menggerakkan motor listrik dengan kapasitas 22 kW. Disisi lain, mesin ini juga menggunakan sistem hidraulik dalam pengoperasiannya. Sistem hidraulik ini memiliki tekanan kerja sebesar 600-1200 Psi. Mesin screw press ini memiliki hampir 100 komponen. Dari 100 komponen ini terdapat 10 komponen yang mengalami kerusakan dan mengakibatkan mesin berhenti beroperasi untuk dilakukan pemeliharaan.



Gambar 1. Dimensi mesin screw press
Sumber: PTPN III Aek Nabara Selatan

2. METODE PENELITIAN

Data kegagalan yang di himpun berasal dari catatan data kegagalan dari pabrik untuk komponen-komponen mesin screw press yang menyebabkan mesin screw press berhenti bekerja jika terjadi kerusakan. Sepuluh jenis komponen mesin screw press yang mengalami kerusakan berdasarkan data histori adalah: oil seal, screw worm, thrust bearing, roller bearing, main shaft, press cage, strainer filter hydraulic, intermediate gear, cone, dan rubber coupling. Data kegagalan berisi mengenai tanggal dan jam terjadinya kegagalan untuk masing-masing komponen selama 1 tahun terakhir, dan lamanya waktu downtime. Data kegagalan tersebut kemudian disusun berdasarkan waktu operasi (Time to Event) mesin screw press (Tabel 1). Dari data kegagalan ini kemudian akan dilaksanakan uji laplace untuk mengetahui apakah data terdistribusi secara independen dan identik (iid). Selain uji laplace, juga akan dilakukan uji confidence interval untuk menentukan apakah data kegagalan yang ada terdistribusi secara independen dan identik.

Berdasarkan data waktu antara kegagalan untuk masing-masing komponen akan dilakukan analisa yaitu analisa keandalan komponen yang penting (Reliability importance). Komponen yang penting ini mempengaruhi keandalan sistem mesin screw press. Berdasarkan hasil analisa reliability importance, dapat diketahui komponen-komponen mesin mana yang memiliki pengaruh paling besar terhadap keandalan sistem. Kemudian dilakukan perankingan komponen berdasarkan hasil analisa reliability importance.

Sistim pemeliharaan yang dilakukan selama ini adalah pemeliharaan reaktif, dimana penggantian komponen dilakukan setelah mengalami kerusakan. Berdasarkan hal ini, maka perlu dilakukan optimasi jadwal inspeksi dan penggantian komponen mesin screw press. Optimasi dilakukan berdasarkan data *time to failure* bukan *time to event*.

Tabel 1. Waktu kegagalan berdasarkan hari operasi (*Time to event*)

| Peralatan | TTE | Peralatan | TTE | Peralatan | TTE |
|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| OS | 1 | OC | 111 | SF | 224 |
| SW | 8 | RB | 111 | PC | 228 |
| TB | 9 | SF | 118 | SW | 230 |
| RB | 13 | MS | 124 | OS | 234 |
| MS | 17 | TB | 129 | TB | 244 |
| PC | 19 | IG | 135 | C | 246 |
| RB | 34 | SW | 143 | MS | 270 |
| SW | 49 | OS | 143 | OS | 272 |
| MS | 52 | PC | 148 | SW | 278 |
| SF | 63 | RB | 152 | PC | 279 |
| OS | 70 | TB | 153 | IG | 280 |
| SW | 72 | C | 155 | RB | 292 |
| RB | 72 | RB | 181 | C | 295 |
| TB | 74 | PC | 185 | SF | 297 |
| PC | 77 | IG | 197 | TB | 309 |
| IG | 78 | OS | 197 | SW | 314 |
| RB | 80 | TB | 198 | PC | 323 |
| C | 99 | MS | 199 | MS | 326 |
| OS | 100 | SW | 203 | OS | 343 |
| RB | 107 | RC | 221 | TB | 346 |
| SW | 108 | RB | 222 | | |

- 1. OS : Oil Seal
- 2. SW : Screw worm
- 3. TB : Thrust bearing
- 4. RB : Roller bearing
- 5. MS : Main shaft
- 6. PC : Press cage
- 7. SF : Strainer filter hidraulik
- 8. IG : Intermediate gear
- 9. C : Cone
- 10. RC : Rubber coupling

TTE : Time to event

2.1 Pengujian Laplace (Laplace Trend Test)

Dalam analisa kegagalan sangat diperlukan melakukan perhitungan distribusi statistik seperti distribusi weibull, normal, eksponensial, gamma dan distribusi statistik lainnya. Dengan mengetahui distribusi statistik data kegagalan, analisa lebih lanjut seperti keandalan, laju kegagalan dapat kita peroleh. Akan tetapi terdapat syarat yang berlaku untuk mengolah data dengan distribusi statistik, yaitu bahwa data kegagalan yang diperoleh harus terdistribusi secara independen dan identik (independently and identically distributed,iid)[1]. Akan tetapi kenyataan dilapangan, data kegagalan yang diperoleh ada yang tidak terdistribusi secara independen dan identik (iid). Hal ini umumnya terjadi pada sistem yang mengalami perbaikan atau sistim kompleks yang mengalami penggantian komponen (Repairable system). Untuk kasus-kasus seperti ini, distribusi statistik tidak dapat digunakan dalam analisa pada system.

Untuk itu perlu dilakukan pengujian hipotesa. Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah data kegagalan dapat

digunakan dalam distribusi statistik berdasarkan acuan yang disebutkan diatas (terdistribusi secara independen dan identik). Terdapat dua bentuk uji yang efektif untuk menentukan hal ini yaitu uji Crow-AMSAA dan Laplace. Dalam penelitian ini, uji laplace yang akan digunakan. Persamaan yang digunakan dalam uji laplace adalah persamaan (1).

$$u = \sqrt{12N(t_n)} \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T \cdot N(t_n)} - 0.5 \right) \quad (1)$$

u = Parameter uji laplace

N = Jumlah data kegagalan atau kejadian

T = Total periode waktu

t_i = Data kegagalan pada waktu i sampai n

Dari hasil uji laplace (Nilai u) ini, dapat ditentukan apakah data yang ada dapat digunakan dalam distribusi statistik ataukah tidak dapat digunakan. Untuk menjawab hal ini, dari hasil nilai u yang diperoleh akan kita lihat apakah u jauh lebih besar dari 0 atau nilai u jauh lebih kecil dari 0. Kemudian hasilnya kita tentukan berdasarkan nilai kepentingan (significance level) 5% pada standard distribusi normal [2]. Nilai level kepentingan (significance level) pada 5% adalah 1,96.

2.2 Sistim yang Dapat Diperbaiki (Repairable Systems)

Sistim teknik diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sistim yang dapat diperbaiki (Repairable system) dan sistim yang tidak dapat diperbaiki (Non-repairable system). Sistim yang tidak dapat diperbaiki (Non-repairable system) adalah sistim yang jika terjadi kerusakan maka usia pakai telah habis dan tidak dapat diperbaiki atau digunakan kembali sehingga harus diganti dengan yang baru. Contoh sistim yang tidak dapat diperbaiki adalah lampu penerangan, rudal (missile), baterai dan lain sebagainya. Sedangkan sistim yang dapat diperbaiki adalah sistim yang jika mengalami kegagalan dapat dilakukan perbaikan dan kemudian dapat melakukan fungsingnya kembali. Pada umumnya peralatan industri dan permesinan masuk ke dalam kategori sistim yang dapat diperbaiki. Karena hal ini maka keandalan sistim yang dapat diperbaiki lebih tinggi dibandingkan sistim yang tidak dapat diperbaiki [10].

Untuk melakukan analisa keandalan atau pemeliharaan sistim yang dapat diperbaiki terdapat beberapa cara. Pada umumnya sistim yang dapat diperbaiki tidak menggunakan analisa distribusi statistik seperti distribusi normal, weibull, lognormal dan lain sebagainya dalam melakukan analisa. Akan tetapi terdapat beberapa persyaratan, penggunaan distribusi statistik ini dapat dilakukan jika memenuhi persyaratan yang berlaku. Pengujian yang banyak dilakukan adalah pengujian laplace. Uji laplace ini dilakukan untuk mengetahui apakah data-data kegagalan suatu sistim terdistribusi secara independen dan identik atau tidak [1]. Dengan kata lain, uji laplace ini guna mengetahui apakah data kegagalan memiliki trend meningkat (peningkatan keandalan) atau trend menurun (deteriorisasi keandalan). Akan tetapi perlu dilakukan uji confidence interval untuk memastikan apakah data kegagalan yang terdistribusi secara independen dan identik (iid).

Dalam hal jika data kegagalan yang ada tidak memenuhi syarat iid, terdapat dua alternatif analisa yang dapat dilakukan. Pertama adalah pemodelan proses stokastik pada level sistim [11], dan kedua adalah melakukan analisa pada level komponen dengan menggunakan *reliability block diagram* (RBD) [12]. Untuk analisa pada level komponen, analisa distribusi statistik dapat dilakukan.

2.3 Distribusi Statistik Komponen

Untuk menentukan bentuk distribusi statistik yang dilakukan beberapa tahapan pengujian untuk masing-masing bentuk distribusi statistik berdasarkan data kegagalan. Pertama, pengujian Kolmogorov-Smirnov (K-S). Selanjutnya dilakukan pengujian kuadrat terkecil (Least square). Ketiga adalah melakukan pengujian Likelihood Value (LKV). Setelah hasil ketiga uji diperoleh, masing-masing hasil nilai uji diberi bobot tertentu (Presentase), kemudian diambil nilai bobot rata-rata yang dijadikan acuan dalam menentukan distribusi statistik yang paling tepat. Dalam melakukan analisa pemilihan distribusi weibull yang tepat menggunakan softwares weibull++9.

2.4 Keandalan Sistem (System Reliability)

Keandalan sistem mesin screw press dipengaruhi oleh delapan komponen yang mengalami kegagalan. Untuk menghitung keandalan (Reliability) sistem, data parameter statistik akan kita gunakan untuk mencari keandalan masing-masing komponen. Untuk menghitung keandalan sistem ($R(t)_{sys}$), akan digunakan analisa reliability block diagram (RBD). Jika salah satu komponen mengalami kerusakan maka mesin screw press akan berhenti bekerja atau dihentikan operasinya untuk menghindari kerusakan yang lebih besar dan kemudian dilakukan perbaikan agar mesin dapat beroperasi kembali. Dengan demikian maka keandalan sistem akan memiliki hubungan seri karena salah satu dari delapan komponen rusak, mesin screw press akan berhenti beroperasi

2.5 Komponen yang Penting (Reliability Importance)

Salah satu tujuan analisa keandalan suatu sistem adalah untuk mengidentifikasi kelemahan pada suatu sistem dan kemudian menghitung dampak dari kegagalan suatu komponen [7]. Dalam hal ini digunakan metode yang disebut "Reliability Importance" untuk menghitung ranking komponen-komponen pada suatu sistem dan kemudian menentukan komponen mana yang berpengaruh terhadap perbaikan keandalan suatu sistem atau komponen mana yang sangat berpengaruh terhadap kegagalan sistem tersebut [7]. Indeks Reliability Importance ini bisa digunakan dalam hal meningkatkan keandalan suatu sistem pada tahap disain atau mengarahkan kepada cara yang paling efisien mengoperasikan dan memelihara suatu sistem [7].

Untuk meningkatkan keandalan sistem, perlu diketahui komponen mana yang paling mempengaruhi keandalan sistem. Komponen ini adalah komponen yang kritikal. Terdapat beberapa metode untuk menentukan komponen kritikal pada suatu sistem dengan menggunakan reliability importance [7]. Metode tersebut adalah [7] Birnbaum's component importance [8], failure criticality index (FCI), Downing Event Criticality Index (DECI) [9], restore criticality index (RCI) [7], operational criticality index (OCI) [7], Failure Reporting Evaluation and Display (FRED), dan *what if analysis*. Dalam tulisan

ini, metode Birnbaum's component importance dan OCI yang akan dipilih.

Indeks komponen Birnbaum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2):

$$I_r(t) = \frac{\partial R_s(t)}{\partial R_i(t)} \quad (2)$$

Dimana:

$I_r(t)$: Reliability importance komponen pada waktu t

$R_s(t)$: Keandalan sistem pada waktu t

$R_i(t)$: Keandalan komponen pada waktu t

Untuk menghitung Birnbaum importance untuk komponen 1, karena hubungan antara komponen adalah seri, maka persamaannya menjadi:

$$I_r(t) = \frac{\partial R_s(t)}{\partial R_i(t)} = R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 \cdot R_5 \cdot R_6 \cdot R_7 \cdot R_8 \cdot R_9 \cdot R_{10} \quad (3)$$

Metode reliability importance dengan cara *Operational Criticality Index* (OCI) menggambarkan presentase *downtime* suatu komponen terhadap *downtime* suatu sistem [7], persamaan digunakan adalah sebagai berikut:

$$I_k^{OCI} = \frac{\text{Total downtime komponen k ketika sistem down (0,t)}}{\text{Total downtime sistem pada waktu (0,t)}} \quad (4)$$

2.6 Optimasi Jadwal Penggantian Komponen

Optimasi penggantian komponen – komponen pada mesin screw press dilakukan dengan metode *age replacement policy* [1,3,4,5]. Optimasi ini dilakukan berdasarkan umur komponen yang dievaluasi. Optimasi ini dilakukan dengan memperhitungkan biaya pemeliharaan preventif (C_p) dan biaya pemeliharaan reaktif (C_f). Berdasarkan data kegagalan, dapat ditentukan parameter distribusi statistik untuk masing-masing komponen (Tabel 4).

Dalam pemodelan pemeliharaan berdasarkan umur komponen ini, masing-masing komponen harus memiliki failure rate yang meningkat, biasa dikenal sebagai Increasing Failure Rate (IFR). Biaya pemeliharaan reaktif (C_f) harus lebih besar dari biaya pemeliharaan preventif (C_p), $C_f > C_p$. Dua asumsi inilah yang harus diperhatikan dalam melakukan optimasi penggantian komponen dengan *age replacement policy*.

Untuk mencari biaya total persatuan waktu digunakan persamaan:

$$Cp(x) = \frac{E(\text{Biaya per siklus})}{E(\text{Panjang Siklus})} \quad (5)$$

Lamanya siklus operasi (Panjang siklus) dijabarkan sebagai berikut:

$$E(\text{Panjang Siklus}) = \int_0^x R(t)dt \quad (6)$$

Estimasi biaya dalam satu siklus adalah:

$$E(\text{Biaya per Siklus}) = Cp R(x) + Cf (1 - R(x)) \quad (7)$$

Kemudian berdasarkan dua persamaan diatas, dapat kita peroleh persamaan untuk optimasi pemeliharaan komponen (penggantian komponen) dengan memasukkan persamaan (6) dan (7) ke dalam persamaan (5) :

$$Cp(x) = \frac{Cp R(x) + Cf (1 - R(x))}{\int_0^x R(t)dt} \quad (8)$$

Dimana:

f(x) : probability density function pada waktu x

R(x): Keandalan pada waktu x

Cp : Estimasi biaya pemeliharaan preventif

Cf : Estimasi biaya pemeliharaan reaktif (ketika kegagalan sudah terjadi)

Cp(x) : Biaya per satuan waktu pada waktu x

Optimasi jadwal pemeliharaan dapat diperoleh dengan mencari total biaya yang minimum. Solusi dapat dilakukan secara grafik atau dengan langsung menurunkan persamaan (6) terhadap waktu dan sama dengan nol (Persamaan (9)):

$$\frac{\partial Cp(x)}{\partial t} = 0 \quad (9)$$

2.7 Optimasi Jadwal Inspeksi

Untuk melakukan optimasi jadwal inspeksi yang dilakukan, metode yang digunakan adalah dengan meminimumkan biaya jangka panjang [13]. Optimasi dilakukan untuk masing-masing komponen mesin screw press yang terdapat pada **Tabel 4**. Dalam optimasi ini, terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi [13]:

- Interval inspeksi berdasarkan umur sistem atau komponen, misal: km, jam operasi, hari operasi, bukan berdasarkan kalender.
- Waktu yang diperlukan untuk melakukan inspeksi dapat diabaikan.
- Kegagalan dapat dilihat langsung ketika terjadi

- Komponen diganti pada saat terjadi kegagalan atau ketika hasil inspeksi menunjukkan bahwa komponen tersebut harus diganti berdasarkan kriteria yang telah di tentukan.
- Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian komponen pada saat inspeksi dapat diabaikan.
- Inspeksi yang dilakukan tidak mempengaruhi umur sistem atau komponen.
- Inspeksi yang dilakukan tidak menyebabkan kegagalan.

Langkah pertama untuk optimasi jadwal inspeksi ini adalah dengan menghitung total biaya sepanjang siklus. Hal ini diformulasikan dalam persamaan (10).

$$\begin{aligned}
 E(\text{biaya per siklus}) &= \int_0^t Cf f(t)dt \\
 &+ \sum_{k=1}^M \left[\int_{\frac{kt}{p}}^{\frac{(k+1)t}{p}} [Cp + kCi]f(t)dt \right. \\
 &\quad \left. + \int_{\frac{kt}{p}}^{\frac{(k+1)t}{p}} [Cf + kCi]f(t)dt \right] \\
 &+ \int_{\frac{(M+1)t}{p}}^{\frac{(M+1)t}{p}} [Cp + (M + 1)Ci]f(t)dt \\
 &+ \sum_{k=M+1}^{\infty} \int_{\frac{kt}{p}}^{\frac{(k+1)t}{p}} [Cp \\
 &\quad + (k + 1)Ci]f(t)dt \quad (10)
 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya adalah dengan menghitung panjangnya siklus seperti yang terdapat pada persamaan (11).

$$E(\text{Panjang Siklus}) = \int_0^t f(t)dt + \sum_{k=1}^M \left[\int_{\frac{kt}{p}}^{\frac{(k+1)t}{p}} (kx)f(t)dt + \int_{\frac{kt}{p}}^{\frac{(k+1)t}{p}} f(t)dt \right] + \int_{\frac{(M+1)t}{p}}^{\frac{(M+1)t}{p}} [(M+1)x]f(t)dt + \sum_{k=M+1}^{\infty} \int_{\frac{kt}{p}}^{\frac{(k+1)t}{p}} [(k+1)f(t)dt$$

Kemudian pers (10) dan (11) dimasukkan ke dalam pers (12). Untuk mendapatkan nilai x bisa dengan cara numerik ataupun dengan cara menggambarkan grafik total biaya (CPUT) terhadap jumlah interval inspeksi. Dengan

cara grafik dapat dilihat pada Gambar 3 (Inspeksi dan penggantian komponen).

$$CPUT(x) = \frac{E(Total\ Biaya)}{E(Panjang\ Siklus)} \quad (12)$$

Dimana:

- M :Interval inspeksi terbesar
- x :Interval inspeksi
- p :Inspection factor, $0 < p < 1$
- Cp :Estimasi biaya pemeliharaan preventif
- Ci : iaya per sekali inspeksi (Rata-rata)
- CPUT : Total biaya persatuan waktu

Variabel yang tidak diketahui dalam persamaan (12) adalah interval inspeksi (x). Besarnya nilai x yang meminimukan biaya total (CPUT) dapat diperoleh secara numerik, atau grafik. Cara dengan menggunakan grafik dilakukan dengan menggambarkan grafik CPUT vs x. Nilai x yang optimal dapat ditentukan dari grafik didapatkan. Cara ini adalah cara yang paling sederhana.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Uji Laplace

Data dapat digunakan dalam analisa distribusi jika nilai u adalah $-1,96 < u < 1,96$. Jika nilai u lebih kecil dari -1,96 maka grafik data cenderung menurun (deteriorasi). Jika nilai u lebih besar dari 1,96 maka grafik data cenderung naik (peningkatan keandalan). Berdasarkan dua hal ini, analisa distribusi statistik tidak dapat digunakan [2][1]. Hasil nilai uji laplace untuk mesin screw press di tunjukkan dalam Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2 mesin screw press memiliki nilai uji diantara nilai batas atas dan nilai batas bawah uji laplace. Dengan kata lain, analisa distribusi statistik dapat dilakukan untuk mesin screw press, karena data terdistribusi secara independen dan identik (iid).

Tabel 2. Nilai uji laplace komponen-komponen mesin screw press

| | |
|---|--------|
| U | -0,823 |
|---|--------|

3.2 Hasil Perhitungan Keandalan Sistem yang Dapat Diperbaiki

Dari perhitungan sebelumnya, nilai uji laplace menunjukkan bahwa data kegagalan tidak menunjukkan trend, sehingga secara

teori dapat dilakukan analisa berdasarkan distribusi statistik yang sesuai. Akan tetapi hal ini tidak selamanya benar, sebagai contoh, berdasarkan data pada Tabel 2, hasil uji laplace menunjukkan bahwa tidak terjadi trend pada data yang ada. Hasil lain menunjukkan hal yang berbeda, jika kita lakukan analisa weibull pada data di Tabel 1 berdasarkan umur operasi (Time to event) mesin screw press, maka hasil yang kita peroleh sangat terbatas dan tidak dapat dilakukan analisa keandalan yang mendalam. Dari hasil perhitungan menggunakan weibull++, jenis distribusi yang paling sesuai adalah distribus G-Gamma (Generalized Gamma distribution). Jika kita hitung keandalan pada $t = 50$ hari, maka confidence intervalnya sangat melebar, dimana nilai lower bound pada 90% adalah 78% (Lihat Gambar 2). Dengan nilai confidence interval yang sangat melebar, analisa yang dapat kita lakukan juga terbatas. Hasil ini menunjukkan bahwa data kegagalan yang ada tidak terdistribusi secara independen dan identik. Dengan kata analisa distribusi statistik untuk mengevaluasi sistim mesin screw press tidak dapat dilakukan.



Gambar 2. Perhitungan keandalan pada t = 50 hari dengan menggunakan weibull++9.

Sistim mesin screw press ini termasuk kedalam sistim yang dapat diperbaiki (Repairable systems) walaupun komponen-komponen yang mengalami kerusakan diganti dengan komponen yang baru. Hal ini karena penggantian satu komponen mesin screw press dengan komponen yang baru tidak mencegah terjadinya kegagalan mesin, karena kegagalan dapat terjadi akibat kerusakan pada komponen yang lain.

3.3 Hasil Penentuan Distribusi Statistik Untuk Komponen Mesin Screw Press

Walau hasil uji laplace menunjukkan data kegagalan sistim mesin screw press terdistribusi secara independen dan identik, tapi hasil analisa confidence interval, data kegagalan sistem mesin screw press tidak

dapat dimodelkan menggunakan distribusi statistik. Dalam hal seperti ini, secara garis besar terdapat dua cara untuk melakukan analisa. Cara pertama adalah dengan menggunakan data kegagalan sistem dan menganalisa data tersebut dengan pemodelan proses stokastik seperti NHPP (a non-homogeneous Poisson process). Cara kedua, menggunakan data kegagalan pada level komponen, dan analisa dilakukan dengan menggunakan *reliability block diagram*, *reliability importance*. Cara kedua adalah yang akan kita gunakan.

Karena analisa kegagalan yang dilakukan adalah pada level komponen, maka perlu dilakukan analisa bentuk distribusi statistik apa yang tepat untuk masing-masing data kegagalan pada tiap-tiap komponen. Kemudian kita mencari parameter-parameter distribusi statistik dari masing-masing komponen ini. Cara ini dilakukan karena kegagalan yang terjadi adalah *competing failure modes* atau *multiple failure modes* dari suatu sistem, dalam hal ini adalah sistem *screw press*. Dan juga data kegagalan yang digunakan adalah data waktu kegagalan (Time to failure), bukan time to event. Perangkat lunak Weibull++ 9, dipakai untuk menentukan jenis distribusi statistik yang paling tepat dan mencari parameter untuk masing-masing distribusi pada tiap-tiap komponen (Tabel 3).

Tabel 3. Parameter distribusi komponen mesin screw

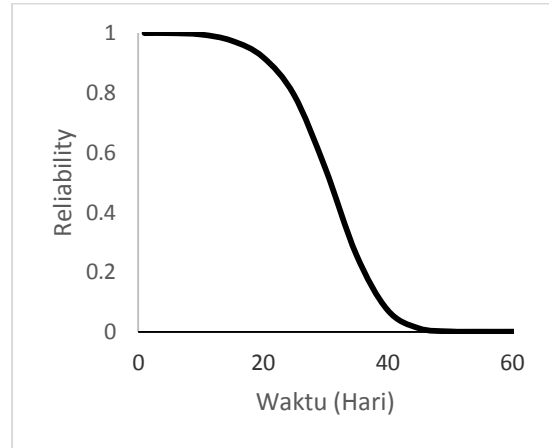
| No | Komponen | Parameter 1 | Parameter 2 | Distribusi | MTTF* |
|----|---------------------------|-------------|-------------|------------|-------|
| 1 | Cone | 73,125 | 17,0171 | Normal | 74 |
| 2 | Intermediate Gear | 4,262 | 0,2866 | Lognormal | 74 |
| 3 | Main shaft | 4,516 | 68,5845 | Weibull | 63 |
| 4 | Oil Seal | 5,066 | 50,9332 | Weibull | 47 |
| 5 | Press Cage | 3,745 | 0,1939 | Lognormal | 44 |
| 6 | Roller Bearing | 4,276 | 64,5733 | Weibull | 58 |
| 7 | Rubber coupling | 4,102 | 0,6574 | Lognormal | 75 |
| 8 | Screw worm | 3,617 | 0,2311 | Lognormal | 39 |
| 9 | Strainer filter hidraulik | 4,378 | 0,2523 | Lognormal | 83 |
| 10 | Thrust bearing | 4,563 | 52,5432 | Weibull | 48 |

*MTTF dalam hari

3.4 Analisa Keandalan Sistem (System Reliability)

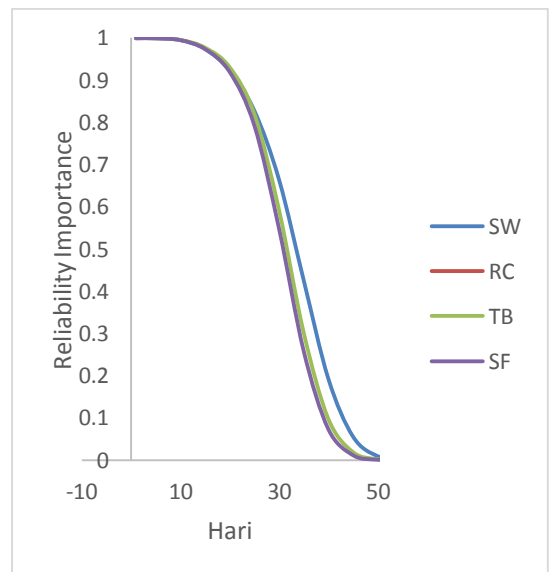
Dengan didapati parameter distribusi untuk masing-masing komponen maka keandalan tiap-tiap komponen dapat di hitung. Grafik 1 menggambarkan grafik keandalan sistem mesin screw press terhadap waktu. Perhitungan keandalan sistem menggunakan modul *reliability block*

diagram dengan hubungan antara komponen adalah secara seri. Keandalan sistem ini menjadi acuan dalam analisa menentukan komponen yang paling mempengaruhi keandalan sistem.



Grafik 1. Keandalan sistim mesin screw press

3.5 Hasil Analisa Komponen yang Penting (Reliability Importance Analysis)



Grafik 2. Kurva indeks Birnbaum

Jika ingin meningkatkan keandalan sistim, maka penentuan komponen yang kritikal menggunakan Birnbaum indeks, sedangkan jika ingin berdasarkan downtime, maka yang digunakan adalah OCI. Jika menggabungkan antara Birnbaum dan OCI, maka terdapat 4 komponen yang dalam masing-masing kategori masuk ke dalam 4 besar, yaitu *screw worm*, *press cage*, *thrust*

bearing, dan oil seal. Empat komponen inilah yang akan sangat mempengaruhi keandalan sistim dan sistim downtime. Jika merencanakan untuk meningkatkan keandalan dan mengurangi total downtime, maka sebaiknya fokus pemeliharaan kepada empat komponen tersebut.

| | | | |
|----|---------------------------|------|---------|
| 5 | Oil Seal | 1707 | 100,000 |
| 6 | Intermediate Gear | 46 | 300,000 |
| 7 | Roller Bearing | 31 | 200,000 |
| 8 | Cone | 98 | 100,000 |
| 9 | Rubber coupling | 512 | 100,000 |
| 10 | Strainer filter hidraulik | 55 | 200,000 |

Tabel 4. Ranking komponen yang kritikal (Reliability importance)

(a) Birnbaum's component index

(b) Operational criticality index

| Ranking | Komponen |
|---------|---------------------------|
| 1 | Screw worm |
| 2 | Rubber Coupling |
| 3 | Thrust bearing |
| 4 | Oil seal |
| 5 | Press cage |
| 6 | Roller bearing |
| 7 | Main shaft |
| 8 | Cone |
| 9 | Intermediate gear |
| 10 | Strainer filter hidraulik |

| Ranking | Komponen | OCI |
|---------|---------------------------|-----|
| 1 | Screw worm | 21% |
| 2 | Press Cage | 17% |
| 3 | Main shaft | 13% |
| 4 | Thrust bearing | 12% |
| 5 | Oil Seal | 9% |
| 6 | Intermediate Gear | 8% |
| 7 | Roller Bearing | 6% |
| 8 | Cone | 5% |
| 9 | Rubber coupling | 5% |
| 10 | Strainer filter hidraulik | 4% |

3.6 Data Input Optimasi Pemeliharaan

Biaya Cp adalah biaya pemeliharaan preventive. Biaya ini meliputi biaya suku cadang masing-masing komponen mesin screw press. Sedangkan biaya Cf adalah biaya penggantian komponen ketika kegagalan telah terjadi, biaya ini meliputi biaya suku cadang komponen, biaya kehilangan produksi karena mesin harus berhenti operasi (Downtime cost). Biaya kehilangan produksi dihitung berdasarkan kapasitas mesin 15 ton/jam dikalikan dengan harga CPO sebesar \$650/Ton. Sedangkan biaya inspeksi (Ci) meliputi biaya tenaga kerja yang bekerja khusus untuk melakukan inspeksi khususnya dalam hal non destructive test (NDT), biaya peralatan NDT test baik biaya investasi maupun biaya peralatan atau suku cadang yang habis dipakai (consumable). Tapi dalam penelitian ini, inspeksi yang dilakukan lebih banyak dalam bentuk inspeksi visual. Data input untuk melakukan optimasi jadwal inspeksi dan penggantian komponen dapat dilihat di Tabel berikut.

Tabel 5. Rasio biaya Cf/Cp dan biaya Ci

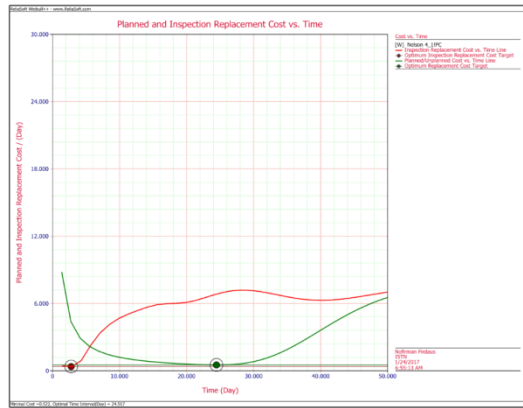
| No | Komponen | Cf/Cp | Ci |
|----|----------------|-------|---------|
| 1 | Screw worm | 42 | 300,000 |
| 2 | Press Cage | 28 | 200,000 |
| 3 | Main shaft | 59 | 200,000 |
| 4 | Thrust bearing | 27 | 200,000 |

3.7 Hasil Optimasi Jadwal Inspeksi dan Penggantian Komponen

Berdasarkan input data Cp, Cf, Ci, dan parameter distribusi statistik untuk masing-masing komponen, kita dapat menghitung optimasi jadwal inspeksi dan penggantian komponen mesin screw press dengan menggunakan persamaan (12) dan (8). Hasil jadwal interval pemeliharaan di tabulasi di Tabel 6. Berdasarkan Gambar 4, kita bisa menghitung estimasi penghematan antara pemeliharaan preventive dan pemeliharaan reaktif (Roof = Replace only on failure) untuk komponen press cage. Dari Gambar 4 biaya hasil optimasi adalah Rp.0.522 juta/hari, sedangkan pemeliharaan reaktif berdasar MTTF di Tabel 3 adalah 47 hari, berdasarkan Gambar 4, biaya pemeliharaan sebesar Rp. 6 juta/hari. Penghematan yang dihasilkan: $(6-0,55)/6 \times 100\% = 91\%$ untuk komponen press cage (Tabel 6). Sedangkan untuk jadwal inspeksi yg optimal adalah setiap 3 hari (Gambar 4 dan Tabel 6).

Tabel 6. Optimal interval untuk inspeksi dan penggantian komponen

| No | Komponen | Interval Inspeksi (Hari) | Interval Penggantian (Hari) | Penghematan (%) |
|----|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1 | Screw worm | 3 | 20 | 92% |
| 2 | Press Cage | 3 | 25 | 91% |
| 3 | Main shaft | 3 | 22 | 85% |
| 4 | Thrust bearing | 2 | 20 | 70% |
| 5 | Oil Seal | 2 | 9 | 100% |
| 6 | Intermediate Gear | 4 | 31 | 88% |
| 7 | Roller Bearing | 4 | 23 | 71% |
| 8 | Cone | 3 | 26 | 87% |
| 9 | Rubber coupling | 2 | 7 | 87% |
| 10 | Strainer filter hidraulik | 5 | 38 | 93% |



Gambar 4. Optimasi jadwal inspeksi dan penggantian komponen press cage

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa reliability importance dengan menggunakan Birnbaum dan OCI indeks, terdapat beberapa komponen yang sangat mempengaruhi keandalan sistem dan downtime. Komponen tersebut adalah screw worm, thrust bearing, dan press cage. Ketiga komponen ini akan mempengaruhi downtime mesin screw press sampai dengan 50%. Disisi lain, optimasi jadwal inspeksi dan penggantian komponen menunjukkan bahwa penggantian komponen-komponen ini terdapat penghematan biaya 71% sampai dengan 100%.

Daftar Pustaka

- [1] Jardine, AKS. Tsang, Albert HC. "Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications". CRC Press. 2006.
- [2] Bates, Grace E. "Joint Distributions of Time Intervals for the Occurrence of Successive Accidents in a Generalized Polya Scheme". Ann. Math. Statist. 26 , no. 4, 705—720. 1955
- [3] Barlow, Richard E. Proschan, Frank. "Mathematical Theory of Reliability". SIAM, 1996
- [4] Osaki, Shunji. Nakagawa, Toshio. "A note on age replacement". IEEE transacti on reliability. Vol R-24, No 1. April 1975
- [5] Pam, Hoang. "Handbook of reliability engineering". Springer Science & Business Media, 2006
- [6] Kumar, Uday. Ahmadi, Alireza. Verma, AK. Varde, Prabhakar. "Current Trends in Reliability, Availability, Maintainability and Safety: An Industry Perspective". pp 673. Springer. 2016.
- [7] Wang, W. Loman, J. Vassiliou, P. "Reliability importance of components in a complex system," in Reliability and Maintainability, 2004 Annual Symposium - RAMS , vol., no., pp.6-11, 2004
- [8] M. F. Fricks, K. S. Trivedi, "Importance Analysis with Markov Chains," Proceedings of the 49 th Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 89-95, 2003.
- [9] Manzini, R. and Regattieri, A. and Pham, H. and Ferrari, E. "Maintenance for Industrial Systems".Springer Science & Business Media. 2009
- [10] Naikan, VNA. "Reliability engineering and life testing". pp 6. PHI Learning Pvt. Ltd. 2008
- [11] Birolini, Alessandro. "Reliability Engineering: Theory and Practice".pp 169, Springer Science & Business Media. 2013
- [12] Smith, David J. "Reliability, Maintainability and Risk 8e: Practical Methods for Engineers including Reliability Centred Maintenance and Safety-Related Systems". pp 103, Elsevier. 2011
- [13]H. Guo, F. Szidarovszky, A. Gerokostopoulos and P. Niu, "On determining optimal inspection interval for minimizing maintenance cost," 2015 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), Palm Harbor, FL, 2015,