

Identifikasi Pola Kerusakan Komponen Kritis pada Mesin EAF dengan Simulasi Monte Carlo

Ratri Wijayanti Anindita¹, Faula Arina², Putro Ferro Ferdinant³

^{1, 2, 3}Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
ratri.anindita@yahoo.com¹, faulaarina@yahoo.com², putro_ferro@ft-untirta.ac.id³

ABSTRAK

PT XYZ merupakan industri baja terbesar di Asia Tenggara yang memiliki 6 (enam) buah fasilitas produksi yang membuat perusahaan ini menjadi satu-satunya industri baja terpadu di Indonesia. Proses produksi baja di PT XYZ dimulai dari pabrik besi spons (Direct Reduction Plant). Pabrik ini mengolah bijih besi pellet menjadi besi dengan menggunakan air dan gas alam yaitu besi spons. Besi yang dihasilkan kemudian diproses lebih lanjut pada mesin EAF (Electric Arc Furnace) di pabrik slab baja dan di pabrik billet baja. Mesin EAF merupakan tempat peleburan besi spons yang dicampur dengan scrap, hot bricket iron dan material tambahan lainnya untuk menghasilkan jenis baja yang disebut baja slab dan baja billet. Tingginya permasalahan downtime pada pabrik billet baja dibandingkan dengan pabrik slab baja menjadi fokus dalam penelitian. Pabrik baja billet memiliki tiga mesin EAF dengan sistem berurutan, apabila mesin EAF yang pertama dan kedua sedang melakukan peleburan maka mesin EAF yang ketiga bersiap-siap untuk melakukan peleburan selanjutnya. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan komponen yang tergolong kritis pada mesin EAF, menentukan nilai fungsi distribusi kerusakan setiap komponen kritis pada mesin EAF, dan mengidentifikasi pola kerusakan komponen kritis pada mesin EAF. Penelitian ini menggunakan simulasi monte carlo untuk mengidentifikasi interval terjadinya kerusakan komponen pada sistem nyata dan hasil simulasi. Hasil penelitian diperoleh komponen yang tergolong kritis adalah komponen motor clutch dengan 17 kali kerusakan dalam 1 tahun selama 3.561 menit 59,35 jam, semakin lama komponen motor clutch beroperasi maka semakin kecil reliability. Dan semakin lama komponen motor clutch beroperasi maka semakin besar fungsi laju kerusakan. Serta berdasarkan random number generator, diperoleh t optimal yang tidak berbeda secara signifikan antara sistem nyata dan hasil simulasi. Sehingga pola kerusakan komponen kritis pada mesin EAF dapat menggunakan simulasi monte carlo.

Kata kunci: Simulasi Monte Carlo, Electric Arc Furnace, distribusi kerusakan

PENDAHULUAN

Menurut sebuah studi, kegiatan *maintenance* di pabrik masuk ke dalam 15 sampai 40 persen dari total biaya barang jadi. (Blanchard, 1997). Besarnya persentase *maintenance* pada suatu perusahaan menjadi sangat penting karena akan berdampak pula pada laju kerusakan mesin, besarnya waktu henti mesin, besarnya nilai efektifitas mesin, besarnya efektifitas ketersediaan mesin, besarnya efektifitas tingkat kualitas, dan efektifitas keseluruhan mesin. *Maintenance* merupakan salah satu cara efektif untuk meningkatkan kehandalan suatu sistem (Djunaidi dan Sufa, 2007). *Maintenance* seringkali dihubungkan sebagai akar dari suatu kehandalan (*reliability*). Oleh karena itu, perlu adanya strategi *maintenance* yang baik untuk meningkatkan *reliability* dari suatu sistem produksi.

PT XYZ merupakan industri baja terbesar di Asia Tenggara yang memiliki 6 (enam) buah fasilitas produksi yang membuat perusahaan ini menjadi satu-satunya industri baja terpadu di Indonesia. Keenam buah fasilitas produksi tersebut menghasilkan berbagai

jenis produk baja dari bahan mentah. Proses produksi baja di PT XYZ dimulai dari pabrik besi spons (*Direct Reduction Plant*). Pabrik ini mengolah bijih besi *pellet* menjadi besi dengan menggunakan air dan gas alam yaitu besi spons. Besi yang dihasilkan kemudian diproses lebih lanjut pada mesin *Electric Arc Furnace* (EAF) di pabrik *slab* baja dan di pabrik *billet* baja. Mesin *Electric Arc Furnace* (EAF) merupakan tempat peleburan besi spons yang dicampur dengan *scrap*, *hot bricket iron* dan material tambahan lainnya untuk menghasilkan jenis baja yang disebut baja *slab* dan baja *billet*. Tanpa menggunakan mesin EAF ini, maka perusahaan tidak dapat memproduksi baja setengah jadi yang akan diolah lagi pada fasilitas produksi selanjutnya.

Tingginya permasalahan *downtime* pada pabrik *billet* baja dibandingkan dengan pabrik *slab* baja menjadi fokus dalam penelitian. Pabrik baja *billet* memiliki tiga mesin EAF dengan sistem berurutan, apabila mesin EAF yang pertama dan kedua sedang melakukan peleburan maka mesin EAF yang ketiga bersiap-siap untuk melakukan peleburan selanjutnya.

Penerapan *preventive maintenance* dalam pemeliharaan mesin dan peralatan masih belum efektif karena *downtime* yang cukup tinggi mengakibatkan lamanya mesin produksi tidak berfungsi. Sedangkan proses produksi pada pabrik *billet* baja bersifat *continuous*, jika salah satu mesin/komponen mengalami kerusakan maka akan menyebabkan terhentinya keseluruhan fungsi sistem yang dapat menurunkan *performance* perusahaan dalam menghasilkan produk.

Untuk memperbaiki kondisi perusahaan tersebut dan mengevaluasinya digunakan metode simulasi. Menurut Hasan (2002), simulasi merupakan suatu model pengambilan keputusan dengan mencontoh atau mempergunakan gambaran sebenarnya dari suatu sistem kehidupan dunia nyata tanpa harus mengalaminya pada keadaan yang sesungguhnya. Metode ini dilakukan karena memungkinkan untuk studi jangka panjang dalam waktu yang relatif singkat. Dalam penyelesaiannya, simulasi dibagi menjadi 3 dimensi yaitu simulasi statis-dinamis, simulasi deterministik-stokastik, dan simulasi kontinu-diskrit. Masing-masing dimensi menggunakan inputan yang jelas dan hanya simulasi statis yang memiliki ketidakpastian karena menggunakan bilangan acak atau sering disebut simulasi Monte Carlo. Seperti pada penelitian ini yang menggunakan data *downtime*, *output* yang akan dihasilkan hanya bergantung pada saat ini saja dan tidak bergantung pada inputan sebelumnya. Menurut Feldman, dkk (1995), simulasi Monte Carlo adalah jenis simulasi yang diterapkan tanpa melibatkan berlalunya waktu, melainkan mempergunakan angka-angka random untuk memicu suatu hasil statistik. Diharapkan metode ini dapat mengidentifikasi interval terjadinya kerusakan mesin pada kondisi eksisting dan pada kondisi setelah simulasi.

Penelitian ini melanjutkan penelitian dari Anindita (2012) yaitu menggunakan data *downtime* mesin EAF (*Electric Arc Furnace*) kemudian mencari komponen kritis dan menghitung TTF. Setelah itu, menghitung nilai fungsi distribusi kerusakan dari komponen kritis tersebut yaitu komponen *roof* dan WCP (*Water Cooling Panel*). Dengan menggunakan data yang berbeda dan terfokus pada komponen *replacement*, maka penelitian ini melakukan pengolahan data yang sama pada penelitian sebelumnya.

Adapun penelitian yang berkaitan diantaranya adalah Thomas, dkk (2011) yang dilakukan pada perusahaan baja besar, memiliki masalah pada bantalan di sekitar akumulator. Untuk mengusulkan strategi penggantian bantalan dilakukan simulasi dengan menggunakan Monte Carlo. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan objek yang berbeda yaitu komponen kritis pada mesin EAF yang memiliki *downtime* paling tinggi. Dalam penelitian ini diharapkan dapat menurunkan waktu *downtime* sehingga perusahaan mengeluarkan sedikit biaya dan melakukan penggantian komponen yang cocok.

METODE PENELITIAN

Data yang dibutuhkan meliputi data primer dan data sekunder berupa data waktu kerusakan (*downtime*) dan data kejadian sebab akibat kegagalan pada komponen mesin EAF (*Electric Arc Furnace*). Tahapan penelitian yang akan dilakukan untuk mengidentifikasi pola kerusakan dengan simulasi monte carlo adalah sebagai berikut :

Tahapan pertama adalah menentukan komponen kritis pada mesin EAF berdasarkan data *downtime* paling besar yang berasal dari data historis perusahaan dengan menggunakan diagram pareto.

Tahapan kedua adalah menentukan nilai fungsi distribusi kerusakan setiap komponen kritis pada mesin EAF. Dari data *downtime* pada komponen kritis dibuat TTF (*Time To Failure*), waktu dimana komponen sedang beroperasi (menuju kerusakan) didapatkan dari waktu antar kerusakan pertama dengan kerusakan kedua begitupun seterusnya. Setelah itu, menghitung *index of fit* terhadap distribusi weibull, eksponensial, normal, dan lognormal. Dalam menentukan nilai x dan y , masing-masing distribusi memiliki persamaan yang berbeda. Kemudian dari masing-masing distribusi tersebut didapatkan nilai *index of fit* (r), *index of fit* (r) yang memiliki nilai terbesar maka distribusi tersebut yang digunakan pada proses berikutnya. Setelah didapatkan distribusi yang sesuai, kemudian menghitung parameter. Dari distribusi yang telah diperoleh, kemudian dilakukan uji *goodness of fit*. Untuk distribusi weibull menggunakan uji *mann's*, untuk distribusi eksponensial menggunakan uji *bartlett* dan untuk distribusi normal dan lognormal menggunakan uji *kolmogorov smirnov*. Jika H_0 ditolak maka menggunakan nilai *index of fit* terbesar kedua dan seterusnya. Kemudian menentukan nilai distribusi kerusakan yaitu fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*), fungsi distribusi kumulatif (*cummulative distribution function*), fungsi kehandalan (*reliability function*), fungsi laju kerusakan (*failure rate function*) dengan persamaan sesuai distribusi yang telah terpilih. Dan setelah itu, menghitung MTTF (*Mean Time To Failure*) untuk mengetahui selang waktu menuju kerusakan.

Tahapan ketiga adalah mengidentifikasi pola kerusakan komponen kritis pada mesin EAF berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo. Dengan membuat transformasi invers (t) sebagai variabel acak dari distribusi tertentu (terpilih) menggunakan fungsi distribusi kumulatif (*cummulative distribution function*). Setelah itu membangkitkan bilangan random menggunakan *microsoft excel* dengan rumus =rand(). Hasil dari bilangan random tersebut merupakan fungsi distribusi kumulatif usulan yang kemudian dimasukkan ke dalam persamaan transformasi invers dan menghitung MTTF (*Mean Time To Failure*) untuk mengetahui selang waktu menuju kerusakan hasil simulasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data kerusakan pada mesin EAF (*Electric Arc Furnace*) bertujuan untuk mengetahui bagian komponen mesin EAF (*Electric Arc Furnace*) yang memiliki *downtime* paling besar selama satu tahun, yaitu dari bulan Januari sampai Desember 2012. Berikut ini merupakan pengumpulan data *downtime* pada mesin EAF (*Electric Arc Furnace*) :

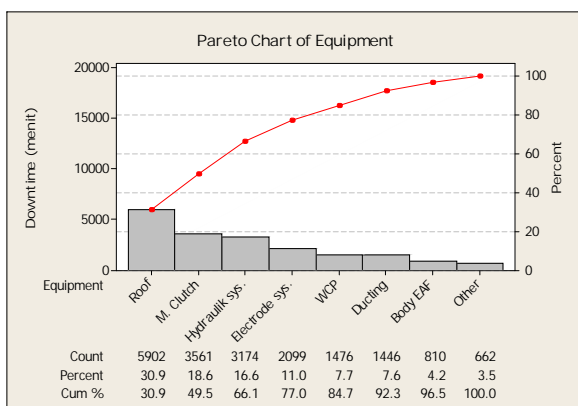
Tabel 1. Data *downtime* mesin EAF (*Electric Arc Furnace*)

No.	Area	Equipment	Tanggal	Downtime (menit)
1	FC 4	Body	02/09/2012	205
2	FC 4	Body EAF	10/02/2012	810
3	FC 3	Bucket scrap	17/11/2012	11
4	FC 4	Center piece	11/11/2012	22
5	FC 4	Center piece	11/11/2012	32
6	FC 2	Conveyor	02/10/2012	10
7	FC 4	Conveyor	26/08/2012	12
...
214	FC 3	WCP	14/11/2012	15

Tahapan pertama adalah penentuan komponen kritis, hal yang dilakukan adalah menghitung lamanya *downtime* dari tiap-tiap komponen pada mesin EAF (*Electric Arc Furnace*) selama satu tahun. Berikut ini merupakan jumlah *downtime* komponen pada mesin EAF (*Electric Arc Furnace*) :

Tabel 2. Lama *downtime* mesin EAF (*Electric Arc Furnace*)

No.	Equipment	Downtime (menit)	%	% Kumulatif
1	Body	205	1,072	1,072
2	Body EAF	810	4,234	5,306
3	Bucket scrap	11	0,058	5,363
4	Center piece	54	0,282	5,646
5	Conveyor	27	0,141	5,787
6	Cooling spray	15	0,078	5,865
7	Cooling sys.	30	0,157	6,022
8	Ducting	1.446	7,559	13,581
9	Electrode arm	30	0,157	13,738
10	Electrode sys.	2.099	10,972	24,710
11	Hydraulik sys.	3.174	16,592	41,302
12	Motor clutch	3.561	18,615	59,916
13	Roof	5.902	30,852	90,768
14	S. Structure	78	0,408	91,176
15	Slag door	212	1,108	92,284
16	WCP	1.476	7,716	100
Jumlah		19.130	100	



Gambar 1. Diagram pareto *downtime* komponen mesin EAF

Dari hasil pengolahan data dengan menggunakan *software* Minitab 16, menunjukkan bahwa komponen yang memiliki lama *downtime* paling besar mendekati 80% yaitu komponen *roof* dengan lama *downtime* 5.902 menit 98,37 jam. *Roof* merupakan komponen yang berfungsi untuk menutup *body* EAF supaya pada saat peleburan letupan dari baja cair tidak keluar. Komponen ini sering mengalami kebocoran akibat suhu yang terlalu tinggi dan pemakaian *furnace* selama 24 jam membuat lapisan *roof* terkikis dan berlubang sehingga perbaikan yang dilakukan hanya dengan proses pengelasan.

Pada komponen *hydraulik sys* dengan lama *downtime* 3.174 menit 52,90 jam yang berfungsi untuk menggerakkan *roof* sering mengalami macet sehingga tidak bisa melakukan *swing back*. Biasanya hal tersebut terjadi karena *human error* dan perbaikan pun langsung dilakukan dengan *mensetting* ulang *hydraulik sys*. Sedangkan pada komponen *electrode sys* dengan lama *downtime* 2.099 menit 34,98 jam yang berfungsi pengantar material menggunakan listrik sering mengalami macet karena terlalu banyak debu sehingga hanya perlu melakukan pembersihan pada komponen *electrode sys*. Dari ketiga komponen tersebut tidak sesuai dengan batasan yang diangkat oleh peneliti karena memiliki sifat *repair* sedangkan penelitian ini berfokus pada komponen yang diganti (*replacement*). Maka komponen yang memiliki *downtime* paling besar selanjutnya adalah *motor clutch* selama 3.561 menit 59,35 jam. *Motor clutch* berfungsi menghubungkan dan memutuskan putaran motor yang sering mengalami aus, jika komponen ini mengalami kerusakan akan memberhentikan komponen *hydraulik sys* dan berakibat pada komponen yang lainnya karena posisinya yang berada di tengah-tengah sehingga komponen *motor clutch* perlu dilakukan penggantian.

Tahapan kedua adalah identifikasi distribusi kerusakan ditentukan berdasarkan *index of fit* yang terbesar terhadap distribusi weibull, eksponensial, dan normal dengan menggunakan metode *least square* (kuadrat terkecil) secara manual. Data yang digunakan dalam menghitung *index of fit* yaitu data selang waktu menuju kerusakan (TTF). Berikut merupakan perhitungan selang waktu menuju kerusakan (TTF) pada komponen kritis *motor clutch* area FC 2, area FC 3, dan area FC 4 :

Tabel 3. Data selang waktu menuju kerusakan (TTF) area FC 2

No.	Area	Equipment	Tanggal	Downtime (menit)	TTF (menit)
1.	FC 2	Motor Clutch	10/03/2012	545	
2.	FC 2	Motor Clutch	22/04/2012	35	61.885
3.	FC 2	Motor Clutch	07/07/2012	315	109.125
4.	FC 2	Motor Clutch	19/11/2012	160	194.240
Jumlah				1.055	365.250

Tabel 4. Data selang waktu menuju kerusakan (TTF) area FC 3

No.	Area	Equipment	Tanggal	Downtime (menit)	TTF (menit)
1.	FC 3	Motor Clutch	09/03/2012	240	
2.	FC 3	Motor Clutch	15/05/2012	240	96.240
3.	FC 3	Motor Clutch	30/06/2012	15	66.225
4.	FC 3	Motor Clutch	05/07/2012	48	7.152
5.	FC 3	Motor Clutch	02/08/2012	240	40.080
6.	FC 3	Motor Clutch	05/08/2012	37	4.283
7.	FC 3	Motor Clutch	07/08/2012	240	2.640
8.	FC 3	Motor Clutch	01/09/2012	240	35.760
9.	FC 3	Motor Clutch	09/09/2012	240	11.280
10.	FC 3	Motor Clutch	02/10/2012	10	33.110
11.	FC 3	Motor Clutch	26/11/2012	117	79.083
Jumlah				1.667	375.853

Tabel 5. Data selang waktu menuju kerusakan (TTF) area FC 4

No.	Area	Equipment	Tanggal	Downtime (menit)	TTF (menit)
1.	FC 4	Motor Clutch	11/07/2012	60	
2.	FC 4	Motor Clutch	20/07/2012	330	12.630
3.	FC 4	Motor Clutch	10/11/2012	201	30.039
4.	FC 4	Motor Clutch	11/11/2012	8	1.432
5.	FC 4	Motor Clutch	14/11/2012	240	4.080
Jumlah				839	48.181

Dari hasil perhitungan selang waktu menuju kerusakan (TTF), kemudian menghitung *index of fit* terhadap distribusi weibull, eksponensial, dan normal. Berikut ini merupakan hasil perhitungan *index of fit* komponen motor *clutch* :

Tabel 6. Hasil perhitungan index of fit motor clutch

No.	Area	Distribusi		
		Weibull	Eksponensial	Normal
1.	FC 2	0,99617	0,96977	0,98663
2.	FC 3	0,97710	0,90726	0,95801
3.	FC 4	0,99441	0,90270	0,94394

Setelah menghitung *index of fit*, kemudian mengestimasi parameter distribusi weibull yaitu λ dan θ . Perhitungan ini dilakukan dengan metode *least square* dimana metode ini menghasilkan estimasi yang tidak bias. Berikut merupakan contoh hasil estimasi parameter pada komponen kritis motor *clutch* :

Tabel 7. Hasil estimasi parameter motor clutch

No.	Area	Parameter	
		λ	θ
1.	FC 2	1,682	143781,608
2.	FC 3	0,853	39820,958
3.	FC 4	0,756	12913,911

Parameter yang digunakan distribusi weibull adalah λ dan θ . sebagai parameter bentuk yang dapat mempengaruhi fungsi laju kerusakan (*Failure Rate*). Jika $0 < \lambda < 1$ maka distribusi weibull mempunyai fungsi kerusakan menurun (*decreasing failure rate/DFR*). Bila $\lambda = 1$, maka distribusi weibull mempunyai fungsi kerusakan konstan atau ekuivalen dengan distribusi eksponensial. Jika $1 < \lambda < 2$, maka distribusi weibull mempunyai fungsi kerusakan meningkat (*increasing failure rate/IFR*) yang bersifat konkaf. Jika $\lambda = 2$, maka distribusi weibull mempunyai fungsi kerusakan linier. Jika $\lambda > 2$, maka distribusi weibull mempunyai fungsi kerusakan meningkat (*increasing failure rate/IFR*) yang bersifat konveks. Dan jika $3 < \lambda < 4$, maka distribusi weibull mempunyai fungsi kerusakan yang menyerupai distribusi normal dan simetris. Sedangkan θ sebagai parameter skala yang dapat mempengaruhi penyebaran fungsi kepadatan probabilitas (*Probability Density Function*) terhadap waktu. (Ebeling, 1997)

Setelah itu dilakukan pengujian *goodness of fit* dilakukan untuk mengetahui apakah suatu data termasuk ke dalam pola distribusi tertentu atau tidak. Dari hasil perhitungan *index of fit* terpilih distribusi weibull di semua area. Oleh karena itu, dilakukan menggunakan uji *mann's* untuk distribusi weibull. Jika H_0 ditolak maka lakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan nilai *index of fit* terbesar kedua dan seterusnya. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa data waktu menuju kerusakan (TTF) komponen *motor clutch* area FC 2, FC 3, dan FC 4 berdistribusi weibull yaitu terima H_0 .

Setelah itu, menentukan nilai distribusi kerusakan yaitu fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*), fungsi distribusi kumulatif (*cummulative distribution function*), fungsi kehandalan (*reliability function*), fungsi laju kerusakan (*failure rate function*). Berikut ini merupakan hasil perhitungan distribusi kerusakan berdasarkan parameter λ dan θ komponen *motor clutch* area FC 2, FC 3, dan FC 4 :

Tabel 8. Hasil perhitungan distribusi kerusakan komponen motor clutc are FC 2

ti	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
61.885	5,167E-06	0,215	0,785	6,583E-06
109.125	5,169E-06	0,467	0,533	9,694E-06
194.240	2,735E-06	0,810	0,190	1,437E-05

Tabel 9. Hasil perhitungan distribusi kerusakan komponen motor clutc are FC 3

ti	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
2640	2,891E-05	0,094	0,906	3,190E-05
4283	2,560E-05	0,139	0,861	2,972E-05
7152	2,188E-05	0,206	0,794	2,757E-05
11280	1,834E-05	0,289	0,711	2,578E-05
33110	9,370E-06	0,574	0,426	2,202E-05
35760	8,743E-06	0,598	0,402	2,177E-05
40080	7,832E-06	0,634	0,366	2,141E-05
66225	4,249E-06	0,786	0,214	1,989E-05
79083	3,216E-06	0,834	0,166	1,938E-05
96240	2,252E-06	0,880	0,120	1,883E-05

Tabel 10. Hasil perhitungan distribusi kerusakan komponen motor clute are FC 4

ti	f(t)	F(t)	R(t)	h(t)
1432	0,0001001	0,0004	0,9996	0,0001001609
4080	7,735E-05	0,0025	0,9975	0,0000775398
12630	5,785E-05	0,0166	0,9834	0,0000588224
30039	4,429E-05	0,0693	0,9307	0,0000475933

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 8, 9, dan 10, untuk komponen *motor clutch* diperoleh nilai *Probability Density Function* (PDF) yaitu probabilitas komponen kritis motor *clutch* mengalami kerusakan sampai saat t. Semakin lama komponen beroperasi maka semakin kecil nilai PDF. Untuk nilai *Cummulative Distribution Function* (CDF) yaitu jumlah probabilitas komponen kritis motor *clutch* akan beroperasi sesuai dengan fungsinya. Semakin lama komponen beroperasi maka semakin besar nilai CDF. Untuk *reliability* yaitu probabilitas komponen *motor clutch* akan beroperasi sesuai dengan fungsinya. Semakin lama komponen beroperasi maka semakin kecil *reliability*. Sedangkan fungsi laju kerusakan menunjukkan bahwa distribusi weibull mempunyai fungsi kerusakan meningkat (*increasing failure rate/IFR*) yang bersifat konkaf dari t = 0 sampai t = 143781,608 menit. Untuk komponen *motor clutch* area FC 3 sebesar 0,853 dan 39820,958 menit, hal tersebut menunjukkan bahwa distribusi weibull mempunyai fungsi kerusakan menurun (*decreasing failure rate/DFR*) dari t = 0 sampai t = 39820,958 menit. Sedangkan untuk komponen *motor clutch* area FC 4 sebesar 0,756 dan 12913,911 menit, hal tersebut menunjukkan bahwa distribusi weibull mempunyai fungsi kerusakan menurun (*decreasing failure rate/DFR*) dari t = 0 sampai t = 12913,911 menit.

Dari perhitungan nilai MTTF didapatkan kondisi komponen dalam keadaan baik sampai t = 128393,24 menit 12,74 minggu. Sehingga komponen motor *clutch* FC 2 akan mengalami penggantian selambat-lambatnya setiap t = 128393,24 menit 12,74 minggu. Jika penggantian dilakukan kurang dari t = 128393,24 menit 12,74 minggu akan menambah biaya perawatan komponen dan jika melebihi t = 128393,24 menit 12,74 minggu akan mengakibatkan peluang kerusakan lebih besar. Untuk komponen *motor clutch* area FC 3, didapatkan nilai MTTF yaitu kondisi komponen dalam keadaan baik sampai t = 42766,394 menit 4,24 minggu. Sehingga komponen motor *clutch* FC 3 akan mengalami penggantian selambat-lambatnya setiap t = 42766,394 menit 4,24 minggu. Jika penggantian dilakukan kurang dari t = 42766,394 menit 4,24 minggu akan menambah biaya perawatan komponen dan jika melebihi t = 42766,394 menit 4,24 minggu akan mengakibatkan peluang kerusakan lebih besar. Untuk komponen *motor clutch* area FC 4, didapatkan nilai MTTF yaitu kondisi komponen dalam keadaan baik sampai t = 15546,151 menit 1,54 minggu. Sehingga komponen motor *clutch* FC 4 akan mengalami penggantian selambat-lambatnya setiap t = 15546,151 menit 1,54 minggu. Jika penggantian dilakukan kurang dari t = 15546,151 menit 1,54 minggu akan

menambah biaya perawatan komponen dan jika melebihi t = 15546,151 menit 1,54 minggu akan mengakibatkan peluang kerusakan lebih besar.

Tahapan ketiga adalah mengidentifikasi pola kerusakan komponen kritis pada mesin EAF berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo karena menggunakan data *downtime*, *output* yang akan dihasilkan hanya bergantung pada saat ini saja dan tidak bergantung pada inputan sebelumnya yaitu dengan membangkitkan bilangan random.

Simulasi Monte Carlo terdiri dari sebuah model matematis yang di set oleh program komputer dan dengan menggunakan *random sampling* dari distribusi kerusakan dari masing-masing komponen yang ada di dalam sistem, sehingga *reliability* dan *availability* dari sistem tersebut dapat diprediksi. *Random sampling* merupakan hasil dari *random number generator*. *Random sampling* ini kemudian dimanfaatkan untuk melakukan penilaian *reliability* dan *availability* atau parameter lain yang dikehendaki. Hasil dari simulasi tergantung dari *random number generator* yang dipakai dan jumlah simulasi yang dilakukan.

Hal yang dilakukan adalah membuat transformasi invers (t) sebagai variabel acak. Dari hasil perhitungan sebelumnya didapatkan pola distribusi pada komponen motor *clutch* di semua area adalah distribusi weibull. Maka transformasi invers (t) dilakukan menggunakan fungsi distribusi kumulatif (*cummulative distribution function*). Setelah itu membangkitkan bilangan random menggunakan *microsoft excel*. Berikut ini merupakan hasil pembangkitan bilangan random sebagai simulasi dari sistem riil *motor clutch* :

Tabel 11. Hasil pembangkitan bilangan random komponen motor clutch area FC 2

Bilangan Random	Transformasi Invers
0,59656	135741,285
0,77310	181749,382
0,63014	143322,226

Tabel 12. Hasil pembangkitan bilangan random komponen motor clutch area FC 3

Bilangan Random	Transformasi Invers
0,10049	2867,179
0,21359	7488,513
0,23596	8553,013
0,64466	41444,067
0,54054	29659,337
0,87003	91847,283
0,71052	51221,539
0,59761	35669,794
0,50971	26778,188
0,19975	6855,408

Tabel 13. Hasil pembangkitan bilangan random komponen motor clutch area FC 4

Bilangan Random	Transformasi Invers
0,09398	602,409
0,36380	4517,560
0,47523	7224,483
0,71571	17493,895

Untuk melihat apakah hasil simulasi yang dibuat sudah mewakili sistem nyata yang ada maka dilakukan uji validitas. Berikut perhitungan uji validitas menggunakan *Paired Sample T-Test* :

Paired Samples Test									
Pair	T	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
1	eksisting-simulasi	7346,86790	10439,59011	3301,28626	-121,15498	14814,90078	2,225	9	,053

Gambar 2. Hasil perhitungan paired sample T-test komponen motor clutch area FC 2

Keputusan :

Terima H_0 , $t_{hitung} < t_{tabel}$; $-1,277 < 4,303$ maka waktu menuju kerusakan (TTF) komponen motor *clutch* area FC 2 = waktu menuju kerusakan (TTF) komponen motor *clutch* area FC 2

Paired Samples Test									
Pair	T	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
1	eksisting-simulasi	7346,86790	10439,59011	3301,28626	-121,15498	14814,90078	2,225	9	,053

Gambar 3. Hasil perhitungan paired sample T-test komponen motor clutch area FC 3

Keputusan :

Terima H_0 , $t_{hitung} < t_{tabel}$; $2,225 < 2,262$ maka waktu menuju kerusakan (TTF) komponen motor *clutch* area FC 3 = waktu menuju kerusakan (TTF) komponen motor *clutch* area FC 3.

Paired Samples Test									
Pair	T	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
1	eksisting-simulasi	4585,60325	9868,69371	2934,52935	-4754,59183	13925,91838	1,562	9	,216

Gambar 4. Hasil perhitungan paired sample T-test komponen motor clutch area FC 4

Keputusan :

Terima H_0 , $t_{hitung} < t_{tabel}$; $1,562 < 3,182$ maka waktu menuju kerusakan (TTF) komponen motor *clutch* area FC 4 = waktu menuju kerusakan (TTF) komponen motor *clutch* area FC 4.

Setelah dilakukan simulasi, didapatkan perhitungan nilai MTTF sebesar 182203,705 menit 18,08 minggu. Sehingga komponen motor *clutch* FC 2 akan mengalami penggantian selambat-lambatnya setiap $t = 182203,705$ menit 18,08 minggu. Jika penggantian dilakukan kurang dari 182203,705 menit 18,08 minggu akan menambah biaya perawatan komponen dan jika melebihi 182203,705 menit 18,08 minggu akan mengakibatkan peluang kerusakan lebih besar. Untuk komponen motor *clutch* area FC 3, didapatkan perhitungan nilai MTTF sebesar 90417,743 menit 8,97 minggu. Sehingga komponen motor *clutch* FC 3 akan mengalami penggantian selambat-lambatnya setiap $t = 90417,743$ menit 8,97 minggu. Jika

penggantian dilakukan kurang dari $t = 90417,743$ menit 8,97 minggu akan menambah biaya perawatan komponen dan jika melebihi $t = 90417,743$ menit 8,97 minggu akan mengakibatkan peluang kerusakan lebih besar. Untuk komponen motor *clutch* area FC 4, didapatkan perhitungan nilai MTTF sebesar 10889,061 menit 1,08 minggu. Sehingga komponen motor *clutch* FC 4 akan mengalami penggantian selambat-lambatnya setiap $t = 10889,061$ menit 1,08 minggu. Jika penggantian dilakukan kurang dari $t = 10889,061$ menit 1,08 minggu akan menambah biaya perawatan komponen dan jika melebihi $t = 10889,061$ menit 1,08 minggu akan mengakibatkan peluang kerusakan lebih besar.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengolahan data dan hasil pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa komponen yang tergolong kritis pada mesin EAF (*Electric Arc Furnace*) adalah komponen motor *clutch* dengan 17 kali kerusakan dalam 1 tahun selama 3.561 menit 59,35 jam. Semakin lama komponen motor *clutch* beroperasi maka semakin kecil *reliability*. Dan semakin lama komponen motor *clutch* beroperasi maka semakin besar fungsi laju kerusakan. Dan berdasarkan *random number generator*, diperoleh t optimal yang tidak berbeda secara signifikan antara sistem nyata dan hasil simulasi. Sehingga pola kerusakan komponen kritis pada mesin EAF (*Electric Arc Furnace*) dapat menggunakan simulasi Monte Carlo.

DAFTAR PUSTAKA

- Anindita, R.W. 2012. Analisis Tingkat Keandalan (Reliability) Komponen Kritis pada EAF (Electric Arc Furnace) Divisi Billet Steel Plant PT X. *Kerja Praktek*. Jurusan Teknik Industri UNTIRTA. Banten.
- Blanchard, B.S. 1997. An Enhanced Approach For Implementing Total Productive Maintenance In The Manufacturing Environment. *Journal Of Quality In Maintenance Engineering*, Vol. 3, Iss : 2 pp. 69 – 80.
- Djunaidi, M., dan Sufa, M.F. 2007. Usulan Interval Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Pencetak Botol (Mould Gear) Berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime. *Jurnal Teknik Gelegar*, Vol. 18, No. 01, hal. 33 – 41.
- Ebeling, C.E. 1997. *Reliability and Maintability Engineering*. McGraw-hill International Edition. London.
- Feldman, R.M., dan Flores, C.V. 1995. *Applied Probability and Stochastic Processes*. Edisi kedua. Springer Heidelberg Dordrecht London. New York.
- Hasan, M.I. 2002. *Pokok-pokok Materi Teori Pengambilan Keputusan*. Ghalia Indonesia. Jakarta.
- Thomas, A.J., Chard, J., John, E., Davies, A., dan Francis, M. 2011. Defining A Bearing Replacement Strategy Using Monte Carlo. *International Journal Of Quality & Reliability Management*, Vol. 8, Iss : 2 pp. 155 – 168.