
OPTIMISASI PERAWATAN BERBASIS AGE REPLACEMENT
DENGAN PENDEKATAN ALGORITMA BISECTION

Khairul Anwar¹, M. Imron Mustajib¹, Heri Awalul Ilhamsah¹

¹ Proqram Studi Teknik Industri, Universitas Trunojoyo Madura

Abstrak: Makalah ini membahas tentang optimisasi menggunakan perawatan age replacement dengan pendekatan algoritma bisection. Objek penelitiannya adalah lini produksi kaca pada PT. Iglas (persero). Hasil pengambilan data didapat mesin produksi yang banyak mengalami kerusakan adalah mesin forming 1.1 dan mesin forming 1.2, dengan komponen krisisnya adalah arm neckring, dengan distribusi kerusakan dari komponen tersebut adalah lognormal dengan nilai mean 2,6 dan standart deviasi 1,36 pada mesin forming 1.1 dan mean 3 dan standart deviasi 2 untuk mesin forming 1.2. Berdasarkan optimisasi menggunakan metode bisection diperoleh bahwa waktu optimum untuk melakukan tindakan age replacement pada komponen arm neckring rata-rata yaitu 28,125 hari = 675 jam untuk mesin forming 1.1 dan 20,15631 hari = 483,7514 jam untuk mesin forming 1.2.

Kata Kunci: optimisasi perawatan, age replacement , algoritma bisection

PENDAHULUAN

Kegiatan pemeliharaan peralatan merupakan hal yang sangat penting dalam pengoperasian suatu sistem atau peralatan di industri. Dengan adanya strategi pemeliharaan dan metode yang tepat dapat mengurangi terjadinya kerusakan sehingga mengakibatkan peralatan dapat beroperasi dalam jangka waktu lama.

PT. Iglas adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi botol. Dalam menjalankan aktifitas produksinya, PT Iglas menggunakan sistem *job order* atau produksi berdasarkan pesanan konsumennya, oleh karena itu PT. Iglas terus melakukan perawatan terhadap peralatan untuk mendukung sistem produksi dan menyelesaikan produksi tepat waktu atau sesuai dengan *job order*.

Permasalahan yang muncul bila terjadi kerusakan pada mesin *forming* adalah terjadi kecacatan/defect pada bentuk botol dan terbuangnya bahan baku pada *melting* saat mesin tidak beroperasi, sehingga menyebabkan adanya kegiatan *overhaul* atau *corrective maintenance* yang menimbulkan adanya *downtime* dan kemacetan atau berhentinya proses produksi serta biaya perawatan yang semakin besar sehingga menimbulkan kerugian yang cukup berarti bagi perusahaan.

Adapun tujuan penelitian yang disajikan dalam makalah ini adalah mengidentifikasi komponen kritis mesin produksi botol kaca dalam hal ini pada mesin *forming*, mengidentifikasi jenis distribusi kerusakan pada komponen kritis mesin *forming* serta mengusulkan kebijakan interval penggantian perawatan yang optimal pada komponen kritis mesin produksi botol kaca (mesin *forming*.) dengan menggunakan model *age replacement*.

METODE

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

FMEA (*failure mode and effect analysis*) adalah suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (*failure mode*). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi sumber-sumber dan akar penyebab dari suatu masalah kualitas. Suatu mode kegagalan adalah apa saja yang termasuk dalam kecacatan/kegagalan dalam desain, kondisi diluar batas spesifikasi yang telah ditetapkan, atau perubahan dalam produk yang menyebabkan terganggunya fungsi dari produk itu.

Penggunaan FMEA dalam penelitian ini dilakukan dengan menemukan bentuk kegagalan dan tingkat dampaknya secara kualitatif kemudian menghitung nilai RPN (*Risk Priority Number*) secara kuantitatif yang ditentukan dengan mengalikan skor-skor yang dikonversi dari tiga factor *detectability* (D), *severity* (S), *occurrence* (O) yang ditentukan sebelumnya dengan persamaan.

$$RPN = S * O * D$$

Age Replacement

Model *Age Replacement* adalah suatu model penggantian dimana interval waktu penggantian komponen dilakukan dengan memperhatikan umur pemakaian dari komponen tersebut, sehingga dapat menghindari terjadinya penggantian peralatan yang masih baru dipasang akan diganti dalam waktu yang relatif singkat. Jika terjadi suatu kerusakan, model ini akan menyesuaikan kembali jadwalnya setelah penggantian komponen dilakukan, baik akibat terjadi kerusakan maupun hanya bersifat sebagai perawatan pencegahan.

$$UCP = \frac{(cp.R(tp)) + cf.[1 - R(tp)]}{R(tp) + M(tp).[1 - R(tp)]}$$

Algoritma Metode Bisection

Metode Bisection ini paling sederhana dan paling intractif dari metode pendekatan berturut-turut untuk melokalisasi sebuah persamaan akar $f(x) = 0$ dalam selang $[a,b]$. Metode ini digunakan untuk menentukan suatu akar $f(x) = 0$, pada selang (a, b) asalkan kontinu dan tanda $f(a)$ dan $f(b)$ berlawanan. Dalam metode *bisection* selang (a, b) yang memuat akar x^* dibagi menjadi dua selang yang sama panjang yaitu (a, c) dan (c, b) dengan mengambil $c = (a+b)/2$. Selanjutnya kedudukan akar x^* . Apakah terletak dalam (a, c) atau (c, b) ditentukan (berdasarkan teorema nilai antara) berdasarkan nilai – nilai $f(a)$, $f(b)$ dan $f(c)$, dengan cara berikut :

1. Jika $f(c)=0$, maka ambil akar $x^* = c$
2. Jika $f(a), f(c) < 0$ (berarti akar $x^* \in (a,c)$, tulisan $a = a$ dan $b = c$)
3. Jika $f(b), f(c) < 0$ (berarti akar $x^* \in (c,b)$, tulisan $a = c$ dan $b = b$)

Secara umum metode pembagi dua sama (*bisection method*) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$C_i = a_i + b_i / 2, i = 0, 1, 2, \dots$$

Dengan mengambil $a_0 = a, b_0 = b$.

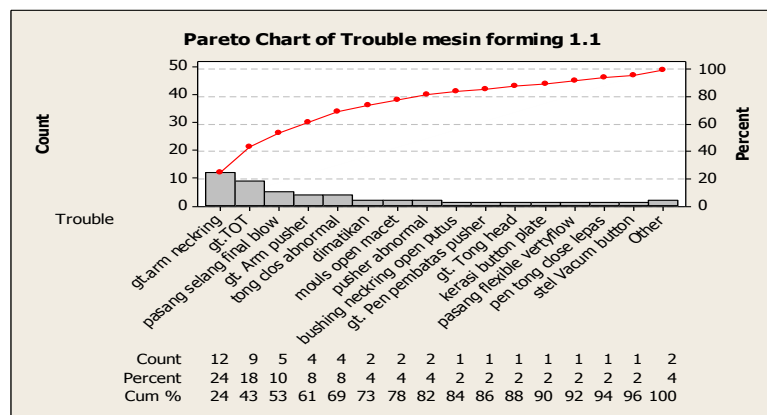
1. Jika $f(c)=0$, maka ambil akar $x^* = c_i$
2. Jika $f(a_i), f(c_i) < 0$, tuliskan $a_{i+1} = a_i$ dan $b_{i+1} = c_i$
3. Jika $f(b_i), f(c_i) < 0$, tuliskan $a_{i+1} = c_i$ dan $b_{i+1} = b_i$

Proses ini diulang sehingga langkah ke-i apabila $f(c_i)=0, [f(c_i)] < \epsilon$, atau $[b_i - a_i] < \epsilon$ untuk suatu ϵ yang telah ditentukan dan ambil akar $x^* \approx c_i$.

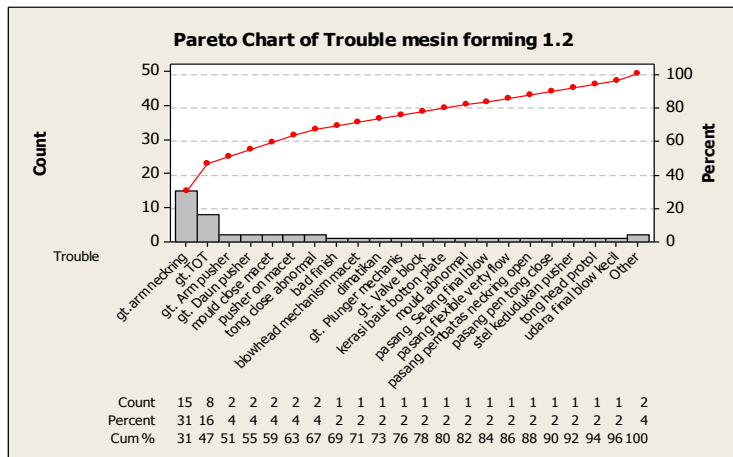
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Komponen Kritis Mesin

Penentuan diagram pareto ditentukan dari Jumlah kerusakan komponen mesin *forming* 1.1 dan mesin *forming* 1.2.



Gambar 1. Pareto Diagram *Forming* Mesin 1.1



Gambar 2. Pareto Diagram Forming Mesin 1.2

Perhitungan menggunakan metode FMEA maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 1.

Tabel 1: Perhitungan FMEA

ITEM	Function	POTENTIAL FAILUR MODE	POTENTIAL EFFECTS	POTENTIAL CAUSES	DETECTION METHOD	Occurence Index (O)	Severity Index (S)	Detection Index (D)	Risk Priority Number (RPN)
						(frekuensi)	(akibat)	(sebab)	
Scoop mechanism	Memasukkan cairan ke mesin	-	Cairan tidak masuk sempurna ke forming	Botol yang terbentuk tidak sempurna	Visual Method	2	3	3	18
Plunger mechanism	Proses pembentukan awal botol	Aus	Bentuk botol awal tidak sempurna	Bentuk botol awal tidak sempurna	hot and checker	3	3	3	27
Valve Block	Mekanik pengatur gerakan motor	Retak	Mesin forming mati	Tidak berproduksi	Visual Method	1	5	5	25
Operating air piping lower	Penyuplay udara	Bocor	Udara untuk pembentukan botol kecil	Proses pembentukan tidak sempurna	inex super inspector	5	6	6	180
Blowhead mechanism	Peniup udara untuk pembentukan botol	Udara kecil	Udara untuk pembentukan botol kecil	Proses pembentukan tidak sempurna	inex super inspector	2	2	2	8
Take Out tools mechanism	Pengambil botol yang telah jadi	Macet	Botol yang telah dicetak tidak dpt Dialiri ke conveyor	Tidak dapat berproduksi kembali karena botol dalam cetakan tidak berjalan keconveyor	Visual Method	9	5	8	360
Vacuum button	Pembentuk bagian bawah botol	Udara kecil	Udara untuk pembentukan botol kecil	Botol yang terbentuk tidak sempurna	inex super inspector	5	6	2	60
Machine drive	Pengendali komp. mesin	Retak	Mesin forming mati	Mesin forming mati	side wall inspector	1	2	2	4
Neck ring mechanism	Pembentuk kpl botol	Tidak sempurna	Kepala botol tidak sempurna	Bentuk kepala botol rusak	inex super inspector	2	3	4	24
Buffel mechanism	Peniup pembentukan kpl. Botol	Udara kecil	Udara untuk pembentukan botol kecil sehingga bentuk botol tidak sempurna	Terjadi cacat pada botol	inex super inspector	3	4	4	48
Arm neck ring	Penggerak neck ring	Macet	Neck ring tidak dapat bekerja dengan sempurna	Pembentukan kepala botol tidak sempurna	Visual Method	10	7	7	490
Blow mould	Peniup pembentukan botol	Udara kecil	Bentuk botol tidak sempurna	Cacat pada botol	side wall inspector	5	5	5	125
Black mould open dan close	Membuka dan menutup cetakan	Macet	Cetakan macet	Saat pencetakan macet, sehingga pencetakan selanjutnya tidak terjadi	Visual Method	3	2	2	12

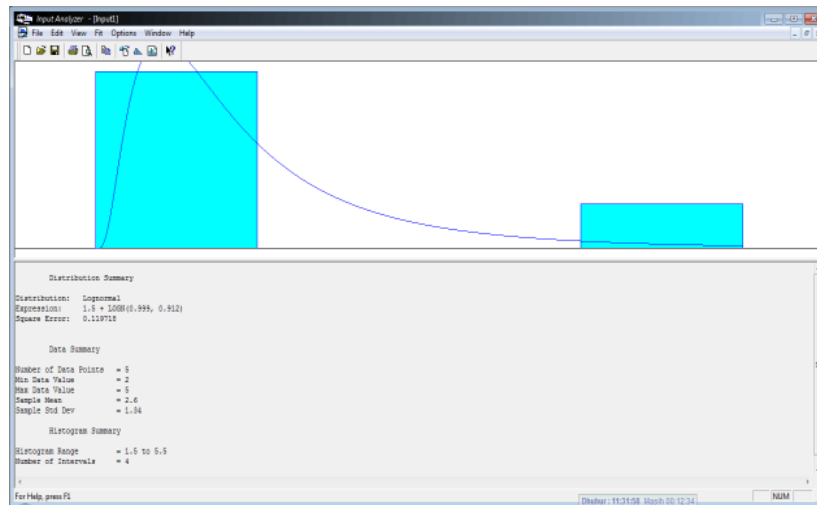
Berdasarkan pengujian menggunakan diagram pareto dan perhitungan FMEA didapat komponen yang paling kritis pada mesin forming 1.1 dan forming 1.2 adalah komponen *arm neck ring* Dari hasil tersebut maka komponen *arm neck ring* yang harus diprioritaskan untuk dilakukan penggantian dengan menggunakan metode *Age replacement*.

Penentuan Distribusi Kerusakan

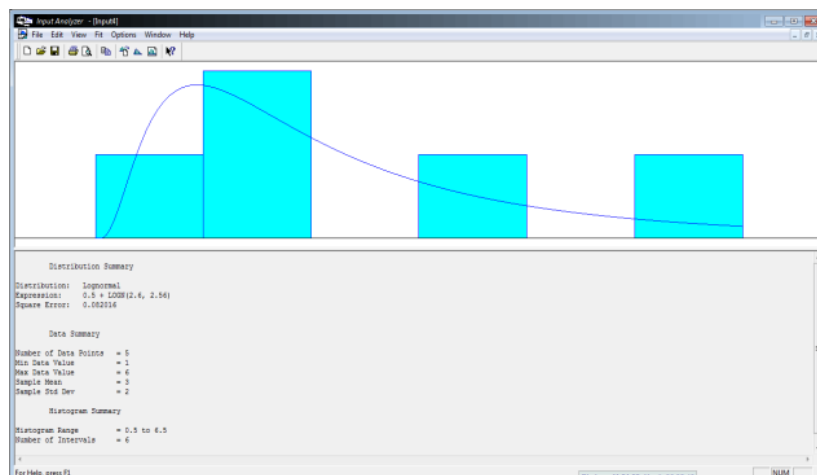
Penentuan model distribusi dari mesin *forming 1.1* menggunakan *software arena 7.0* dengan menggunakan data dari jumlah kerusakan disetiap 30 hari sesuai dengan *number of failur fi* pada tabel perhitungan probabilitas kerusakan.

Perhitungan Biaya

Perhitungan biaya untuk menentukan total biaya harapan minimum pada perhiutngan biaya perawatan pada komponen kritis di mesin forming. Biaya – biaya yang dibutuhkan aalah biaya tenaga kerja, biaya penggantian komponen, dan biaya kehilangan atau kerugian produksi. Semua jenis biaya tersebut telah didapat dari seksi *maintenance*.



Gambar 3. Distribusi Data Komponen Distribusi Kerusakan Komponen *Arm Neckring* Pada Mesin *Forming* 1.1



Gambar 4. Distribusi Data Komponen Distribusi Kerusakan Komponen *Arm Neckring* Pada Mesin *Forming* 1.2

Biaya Tenaga Kerja

Biaya tenaga kerja dihitung perhari, dalam satu bulan terdapat 30 hari dengan 8 jam kerja efektif kerja, dengan gaji *level operator* Rp. 1.500.000,-/bulan, dan Rp. 2.000.000,-/bulan, untuk *level team leader*. Sedangkan terdapat kerusakan yang memerlukan teknisi dari luar dengan biaya Rp. 100.000,-/jam.

Biaya Penggantian Komponen

Biaya penggantian komponen adalah biaya yang dikeluarkan semua komponen pada satu kali perawatan yang dilakukan untuk setiap kali perawatan, yaitu perkalian antara jumlah komponen yang diganti dengan harga komponen yang diganti. Dalam penelitian ini biaya komponen kritis yaitu pada komponen *arm neck ring* adalah Rp. 200.000,-.

Biaya Kerugian Produksi

Dalam makalah ini untuk mesin *forming* 1.1, Waktu perawatan sebesar 4,59 jam, laba per unit sebesar Rp. 800,- dan out put per jam sebesar 1800 botol per jam. Jadi biaya kehilangan produksi untuk mesin *forming* 1.1 sebesar Rp. 8.640.000,- Sedangkan untuk mesin *forming* 1.2, Waktu perawatan sebesar 6 jam, laba per

unit sebesar Rp. 800,- dan out put per jam sebesar 1800 botol per jam. Jadi biaya kehilangan produksi untuk mesin forming 1.1 sebesar Rp. 6. 609.600,-.

Perhitungan Failur Cost

Failure Cost = biaya kehilangan produksi + ongkos kerja + biaya pembelian komponen

Tabel 2: Perhitungan Biaya Failure Cost Pada Mesin Forming 1.1 Dan Mesin Forming 1.2

Failure Cost	biaya kehilangan produksi	Biaya tenaga kerja	biaya pembelian komponen	Biaya Failure Cost
mesin forming 1.1	Rp. 8.640.000,-	Rp. 850.000,-	Rp. 200.000,-	Rp. 9.690.000,-
mesin forming 1.2	Rp. 6. 609.600,-	Rp. 850.000,-	Rp. 200.000,-	Rp. 7.659.600,-

Perhitungan Preventive Cost

Preventive cost = biaya ini merupakan jumlah dari biaya tenaga kerja + biaya pembelian komponen.

Tabel 3: Perhitungan Biaya Preventive Cost Pada Mesin Forming 1.1 Dan Mesin Forming 1.2

Failure Cost	Biaya tenaga kerja	biaya pembelian komponen	Biaya Failure Cost
mesin forming 1.1	Rp. 850.000,-	Rp. 200.000,-	Rp. 1.050.000,-
mesin forming 1.2	Rp. 850.000,-	Rp. 200.000,-	Rp. 1.050.000,-

Perhitungan Distribusi Mesin Forming 1.1

Dari data selang waktu antar kerusakan dengan menggunakan *Software* Arena 7.0 didapat bentuk distribusi Lognormal, dalam perhitungan fungsi distribusi mesin forming 1.1 ini menggunakan bantuan *Software* Mathcad 14 :

diketahui :

$$\pi := 3.14$$

$$\mu := 2.6 \rightarrow 2.6$$

$$\sigma := 1.34 \rightarrow 1.34$$

Fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*) dari distribusi Lognormal,

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{-(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

perhitungan fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*) dari distribusi Lognormal dengan menggunakan software mathcad 14 :

$$f(t) := \frac{1}{t\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[\frac{-(\ln(t) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \rightarrow 0.344721030181088:$$

$$ff(t) := 0.34472103018108879549 \times 0.3731343283582089552:$$

Menentukan Fungsi Distribusi Untuk Waktu Kerusakan (*Cumulative Density Function*)

$$F(t) := \int_0^T f(t) dt \rightarrow 0.43476010522838810774 \cdot T$$

Perhitungan fungsi reliability

$$R(t) := 1 - F(t) \rightarrow -0.43476010522838810774 \cdot T + 1$$

Fungsi Kegagalannya (Laju Kerusakan)

$$r(t) := \frac{f(t)}{R(t)} \rightarrow -\frac{0.869520210456776215481}{0.43476010522838810774T^2 - 1}$$

Menentukan Fungsi Dari Model Untuk Pengaplikasian Model

$$UEC := \frac{(cp \cdot R(t)) + cf \cdot |1 - R(t)|}{R(t) + M(tp) \cdot |1 - R(t)|}$$

$$\frac{-4.2128 \cdot eT^2 + 456498.11|2T|^2 + 969}{-0.4736 \cdot eT^2 + 0.434|4T|^2}$$

Sehingga untuk menentukan nilai *T* optimum pada komponen *arm neckring* maka digunakan pendekatan metode *Algoritma Bisection*.

Perhitungan Distribusi Mesin Forming 1.2

$\mu := 3.14$	$cp := 1050000$
$\mu := 3$	$cf := 7659600$
$\sigma := 2$	

Perhitungan Fungsi Kepadatan Probabilitas (Probability Density Function)

$$f(t) := \frac{1}{t \cdot \sqrt{2\pi\sigma}} \cdot \exp\left[\frac{-(\ln(t) - \mu)^2}{2\sigma}\right] \rightarrow \frac{0.28216632399155016564 \cdot e^{\frac{(\ln(t)-3)}{4}}}{t}$$

$$f(t) := 0.28216632399155016564 \times 3^2 \rightarrow 2.53949691592395149076$$

Perhitungan Kepadatan Probabilitas (Probability Density Function)

$$F(t) := \int_0^T t \cdot f(t) dt \rightarrow 1.2697484579619757454 \cdot T$$

Perhitungan Fungsi Distribusi Untuk Waktu Kerusakan (Cumulative Density Function) Dalam t

$$R(t) := 1 - F(t) \rightarrow -1.2697484579619757454T^2 + 1$$

Perhitungan Fungsi Kegagalannya (Laju Kerusakan)

$$r(t) := \frac{f(t)}{R(t)} \rightarrow -\frac{2.53949691592395149076}{1.2697484579619757454T^2 - 1}$$

Menentukan Fungsi Dari Model Untuk Pengaplikasian Model

$$M(tp) := \frac{F(t)}{1 - R(t)} \rightarrow 1.0$$

Menghitung Ekspektasi Biaya Unit Perwaktu

$$UEC := \frac{(cp \cdot R(t)) + cf \cdot |1 - R(t)|}{R(t) + M(tp) \cdot |1 - R(t)|}$$

$$\frac{9.7257 \cdot e|T|^2 + -1.333eT^2 + 1050000}{-1.269 \cdot e|T|^2 + 1.269|T|^2 + 1}$$

Sehingga untuk menentukan nilai T optimum pada komponen *arm neckring* maka digunakan pendekatan metode *Algoritma Bisection*.

Perhitungan Algoritma Bisection Method

Mesin Forming 1.1

Diketahui , $a_0 = 0, b_0 = 30$, dan

Untuk nilai ϵ pada penelitian ini digunakan adalah 0,0005 karena nilai ϵ menunjukkan tingkat akurasi suatu hitungan. Sehingga semakin kecil nilai ϵ yang dipilih, maka semakin akurat nilai yang diperoleh.

$$\frac{-4,2128 \cdot e7^2 + 456498,11 |2T|^2 + 969}{-0,4736 \cdot e7^2 + 0,434 |4T|^2}$$

Pada iterasi 1: $a_i = 0, b_i = 30$

$$c_i = \frac{0+30}{2} = 15$$

$$f(a) := \frac{-4.212825419663080764e6 \cdot 0^2 + 456498.110489807513127 \cdot (|0|)^2 + 9690000}{-0.43476010522838810774 \cdot 0^2 + 0.43476010522838810774 \cdot (|0|)^2 + 1} \rightarrow 96$$

$$f(b) := \frac{-4.212825419663080764e6 \cdot 30^2 + 456498.110489807513127 \cdot (|30|)^2 + 9690000}{-0.43476010522838810774 \cdot 30^2 + 0.43476010522838810774 \cdot (|30|)^2 + 1} \rightarrow -3.371004578255945$$

$$f(c_i) := \frac{96000 + -3.37100457825594592579e9}{2} \rightarrow -1.685454289127972962$$

$$b_i - a_i = 30 - 0 = 30$$

Selanjutnya hasil perhitungan pada iterasi ke-2 dan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4 perhitungan *Algoritma Bisection Method* mesin forming 1.1 berikut ini :

Tabel 4: Perhitungan Algoritma Bisection Method Mesin Forming 1.1

i	a_i	b_i	c_i	$f(a_i)$	$f(b_i)$	$f(c_i)$	$b_i - a_i$
0,00000	0,00000	30,00000	15,00000	9690000	-3,371E+29	-1,6855E+29	30,00000
1,00000	30,00000	15,00000	22,50000	-3,371E+29	-8,35484E+28	-2,10324E+29	-15,00000
2,00000	30,00000	22,50000	26,25000	-8,35E+28	1,89E+29	5,28234E+28	-7,50000
3,00000	30,00000	26,25000	28,12500	-8,35484E+28	-2,58E+29	-1,70707E+29	-3,75000
4,00000	26,25000	28,12500	27,18750	-2,58E+29	-2,96E+29	-2,77014E+29	1,87500
5,00000	28,12500	27,18250	27,65375	-2,96E+29	-2,77E+29	-2,86372E+29	-0,94250
6,00000	28,12500	27,65375	27,88938	-2,96E+29	-2,86E+29	-2,91225E+29	-0,47125
7,00000	28,12500	27,88938	28,00719	-2,96E+29	-2,91E+29	-2,93684E+29	-0,23562
8,00000	28,12500	28,00719	28,06609	-2,96E+29	-2,94E+29	-2,9492E+29	-0,11781
9,00000	28,12500	28,06609	28,09555	-2,96E+29	-2,95E+29	-2,95541E+29	-0,05891
10,00000	28,12500	28,09555	28,11027	-2,96E+29	2,96E+29	-3,10967E+26	-0,02945
11,00000	28,12500	28,11027	28,11764	-2,96E+29	-2,96E+29	-2,96007E+29	-0,01473
12,00000	28,12500	28,11764	28,12132	-2,96E+29	-2,96E+28	-1,62882E+29	-0,00736
13,00000	28,12500	28,12132	28,12316	-2,96E+29	-2,96E+29	-2,96123E+29	-0,00368
14,00000	28,12500	28,12316	28,12408	-2,96E+29	-2,96E+29	-2,96143E+29	-0,00184
15,00000	28,12500	28,12408	28,12454	-2,96E+29	-2,96E+29	-2,96153E+29	-0,00092
16,00000	28,12500	28,12454	28,12477	-2,96E+29	-2,96E+29	-2,96157E+29	-0,00046
17,00000	28,12500	28,12477	28,12488	-2,96E+29	-2,96E+29	-2,9616E+29	-0,00023
18,00000	28,12500	28,12488	28,12494	-2,96E+29	-2,96E+29	-2,96161E+29	-0,00012
19,00000	28,12500	28,12494	28,12497	-2,96E+29	-2,96E+29	-2,96162E+29	-0,00006
20,00000	28,12500	28,12497	28,12499	-2,96E+29	-2,96E+29	-2,96162E+29	-0,00003
21,00000	28,12500	28,12499	28,12502	-2,96E+29	-2,96E+29	-2,96162E+29	-0,00001
22,00000	28,12500	28,12502	58,25002	-2,96E+29	2,96E+28	-1,33273E+29	0,00002

Mesin Forming 1.2

Diketahui , $a_0 = 0, b_0 = 30$, dan

Untuk nilai ϵ pada penelitian ini digunakan adalah 0,0005 karena nilai ϵ menunjukkan tingkat akurasi suatu hitungan. Sehingga semakin kecil nilai ϵ yang dipilih, maka semakin akurat nilai yang diperoleh.

$$\frac{9,7257 \cdot e|T|^2 + -1,333eT^2 + 1050000}{-1,269 \cdot e|T|^2 + 1,269|T|^2 + 1}$$

Pada iterasi 1: $a_i = 0, b_i = 30$

$$c_i = \frac{0+30}{2} = 15$$

$$f(a) = \frac{9,7257 \cdot e|0|^2 + 1,333e0^2 + 1050000}{-1,269 \cdot e|0|^2 + 1,269|0|^2 + 1} = 1050000$$

$$f(b) = \frac{9,7257 \cdot e|1|^2 + 1,333e1 + 1050000}{-1,269 \cdot e|1|^2 + 1,269|1|^2 + 1} = 7,55543264609709$$

$$f(c_i) := \frac{1050000 + 7.5543264609709273981e9}{2} \rightarrow 3.777688233485463e9$$

$$b_i - a_i = 30 - 0 = 30$$

Selanjutnya hasil perhitungan pada iterasi ke-2 dan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5 perhitungan *Algoritma Bisection Method* mesin forming 1.2 berikut ini :

Tabel 5: Perhitungan Algoritma Bisection Method Mesin Forming 1.2

<i>i</i>	<i>a_i</i>	<i>b_i</i>	<i>c_i</i>	<i>f(a_i)</i>	<i>f(b_i)</i>	<i>f(c_i)</i>	<i>b_i-a_i</i>
0,00000	0,00000	30,00000	15,00000	1050000	7,55433E+28	3,77716E+28	30,00000
1,00000	15,00000	30,00000	22,50000	7,55433E+28	1050000	3,77716E+28	15,00000
2,00000	22,50000	15,00000	18,75000	4,25E+28	7,55433E+28	5,90205E+28	-7,50000
3,00000	22,50000	18,75000	20,62500	4,25E+28	2,95E+28	3,60066E+28	-3,75000
4,00000	18,75000	20,62500	19,68750	2,95E+28	3,57E+27	1,65433E+28	1,87500
5,00000	20,62500	19,68750	20,15625	3,57E+27	3,25E+28	1,80555E+28	-0,93750
6,00000	20,62500	20,15625	20,39063	3,57E+27	3,41E+28	1,88392E+28	-0,46875
7,00000	20,62500	20,39063	20,50781	3,57E+27	3,49E+28	1,9238E+28	-0,23438
8,00000	20,39063	20,50781	20,44922	3,49E+28	3,53E+28	3,51059E+28	0,11719
9,00000	20,39063	20,44922	20,41992	3,49E+28	3,51E+28	3,50052E+28	0,05859
10,00000	20,39063	20,41992	20,40527	3,49E+28	3,50E+28	3,49549E+28	0,02930
11,00000	20,39063	20,40527	20,39795	3,49E+28	3,50E+28	3,49298E+28	0,01465
12,00000	20,39063	20,39795	20,39429	3,49E+28	3,49E+28	3,49173E+28	0,00732
13,00000	20,39063	20,39429	20,39246	3,49E+28	3,49E+28	3,4911E+28	0,00366
14,00000	20,39063	20,15625	20,27344	3,49E+28	3,41E+28	3,4506E+28	-0,23438
15,00000	20,15625	20,27344	20,21484	3,41E+28	3,45048E+28	3,4306E+28	0,11719
16,00000	20,15625	20,21484	20,18555	3,41E+28	3,43057E+28	3,42065E+28	0,05859
17,00000	20,15625	20,18555	20,17090	3,41E+28	3,42E+28	3,41568E+28	0,02930
18,00000	20,15625	20,17090	20,16357	3,41E+28	3,42E+28	3,4132E+28	0,01465
19,00000	20,15625	20,16357	20,15991	3,41E+28	3,41E+28	3,41196E+28	0,00732
20,00000	20,15625	20,15991	20,15808	3,41E+28	3,41E+28	3,41134E+28	0,00366
21,00000	20,15625	20,15808	20,15717	3,41E+28	3,41E+28	3,41103E+28	0,00183
22,00000	20,15625	20,15717	20,15671	3,41E+28	3,41E+28	3,41088E+28	0,00092
23,00000	20,15625	20,15671	20,15648	3,41E+28	3,41088E+28	3,4108E+28	0,00046
24,00000	20,15625	20,15648	20,15636	3,41E+28	3,41E+28	3,41076E+28	0,00023
25,00000	20,15625	20,15636	20,15631	3,41E+28	3,41E+28	3,41074E+28	0,00011
26,00000	20,15625	20,15631	20,15628	3,41E+28	3,41E+27	1,8759E+28	0,00006
27,00000	20,15631	20,15628	20,15629	3,41E+27	3,41E+28	1,8759E+28	0,00003

Maka t optimal yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan *Bisection Method* untuk mesin *forming* 1.2 yaitu 20,15631 hari = 483,7514 jam.

KESIMPULAN

1. Dari analisa kerusakan dengan menggunakan pareto diagram dan *Failure Modes and Effect Analysis* didapat komponen kritis dari mesin *forming* 1.1 dan mesin *forming* 1.2 adalah komponen *arm neck ring*.
2. Dari selang waktu antar kerusakan yang diolah menggunakan software Arena 7 diperoleh distribusi kerusakan pada mesin *forming* 1.1 dan mesin *forming* 1.2 adalah berdistribusi lognormal
3. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode *Bisection Method* didapat waktu (t optimal) yang diperlukan untuk melakukan tindakan *age replacment* pada komponen *arm neckring* rata-rata yaitu 28,125 hari = 675 jam untuk mesin *forming* 1.1 dan 20,15631 hari = 483,7514 jam untuk mesin *forming* 1.2.

Daftar Pustaka

- Ben-Daya M, Duffua O S, Raouf A. 2010 "Maintenance Modeling and Optimization". London: Springer.
- Blanchard. 1980. *Maintenance Replacement and Reliability*, Sir Isaac Pitman and Sons Ltd.
- Mustajib M. I , Sesaro W A Analisis Faktor-Faktor Kegagalan *Drip Coffee Maker* Berdasarkan *Fault Tree Analysis (FTA)* Dan *Failure Mode And Effects Analysis (FMEA)*
- Stamatis, D.H., 1995. "*Failure Mode and Effect Analysis*", ASQC Quality Press Milwauke, Wisconsin
- Walpole R E., Myers R H, 1986, Ilmu *Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuan*, ITB-Press, Bandung

Corresponding authors email address: iyounk_cadaz@yahoo.com