

OPTIMASI INTERVAL INSPEKSI, ESTIMASI REMAINING LIFE, DAN TOTAL MAINTENANCE CREW PADA MESIN CAULKING LINE PRODUKSI KE-6 MENGGUNAKAN METODE RISK BASED INSPECTION (RBI) DAN LIFE CYCLE COST (LCC) PADA PT DNS

INSPECTION INTERVAL OPTIMIZATION, ESTIMATED REMAINING LIFE, AND MAINTENANCE CREW TOTAL IN THE CAULKING MACHINE PRODUCTION LINE 6TH USING RISK BASED INSPECTION (RBI) AND LIFE CYCLE COST (LCC) METHODS AT PT DNS

Ihsan Mahdi Wiragunanto¹, Endang Budiasih², Judi Alhilman³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Telkom University

¹ ihsanmahdiwiragunanto@gmail.com, ² endangbudiasih@telkomuniversity.ac.id,

³ judi.alhilman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

PT DNS berdiri sejak tahun 1975, perusahaan tersebut bergerak di bidang manufaktur komponen otomotif yang memproduksi *spark plug*, produk ini mempunyai peranan vital sebagai alat untuk menghasilkan percikan bunga api yang diperlukan untuk membakar campuran udara dan bahan bakar yang disebut dengan *Spark Ignition Engine (SIE)* tanpa adanya *spark plug* maka kendaraan bermotor tidak dapat beroperasi. Karena banyaknya pesanan yang diterima dari para *customer* nya, maka PT DNS harus dapat mengoptimalkan kinerja mesin dan *maintenance crew* yang dimiliki, dimana poin tersebut merupakan sumber daya penunjang utama dalam berjalannya proses produksi.

Penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu *Risk Based Inspection (RBI)* dan *Life Cycle Cost (LCC)*. Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan metode *RBI*, telah didapatkan rata-rata *Remaining Life* berdasarkan laju korosi yang mempengaruhi sisa ketebalan dinding pipa untuk komponen yang memiliki nilai *Risk Priority Number* paling besar dari *subsystem* kritis selama 29 tahun, pada hasil *remaining life* tersebut dapat dijadikan dasar untuk mengoptimalkan jadwal *interval* inspeksi berdasarkan *level* resiko yang telah ditentukan melalui metode *Risk Matrix*, dimana usulan ini bertujuan untuk tetap menjaga kinerja mesin dalam memproduksi jumlah *spark plug* dan meminimalisir pengeluaran untuk biaya inspeksi.

Berdasarkan hasil penelitian yang menggunakan metode *LCC*, telah didapatkan total biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk 29 tahun kedepan berdasarkan rata-rata *remaining life* yang telah didapat, terhitung dari tahun 2015 sampai 2043, dan pada tahun ke-14 (2028) merupakan nilai *Total Annual LCC* yang terkecil dengan kondisi *maintenance set crew* $M=1$, dimana terjadi keseimbangan terbaik untuk seluruh komponen biaya yang dikeluarkan senilai Rp 918.907.948,10. Berdasarkan nilai minimal *Total Annual LCC* yang sudah terpilih dimana kondisi *maintenance set crew* $M=1$ maka jumlah *maintenance crew* yang optimal berjumlah 2 teknisi, kondisi ini berdasarkan dengan *maintenance cost* dan juga *shortage cost* yang dikeluarkan oleh perusahaan.

Kata Kunci : *Interval Inspeksi, Remaining Life, Maintenance Crew, Risk Based Inspection, Life Cycle Cost.*

Abstract

PT DNS was established in 1975, it is an automotive components manufacturing company that produced the spark plug, this product has important role as a tool as needed to ignite a mixture of air and fuel called Spark Ignition Engine (SIE), motorized vehicles cannot be operated without spark plugs. With a lot of order came from its customers, the company must be able to optimized machine's work and its maintenance crew, since it's the main supporting resources of production process.

There are two methods was used in this research, which are Risk Based Inspection (RBI) and Life Cycle Cost (LCC). Based on the results of research using RBI methods, has obtained an average Remaining Life based on the corrosion rate that affects the remaining wall thickness pipes for components that has the highest Risk Priority Number value from the critical subsystem for 29 years, Based on that result, interval inspection schedule can be optimized based on level of risk which is determined by Risk Matrix method, which this proposal aims to maintain the performance of the engine in producing a spark plug and minimize expenses for inspection fees.

Based on the results of research using LCC method, the total cost that will be spent by the company for the next 29 years based on the average remaining life, starting from 2015 until 2043, and in the 14th year (2028) is the smallest Total Annual LCC value with maintenance set crew conditions $M = 1$, where there is the best balance for all components of the costs is worth Rp 918.907.948,10. Based on a minimum value of Total Annual LCC has been chosen where the condition maintenance crew sets $M = 1$, so 2 technicians is the optimal amount of maintenance crew, this condition is based on maintenance cost as well shortage cost that will be spent by the company.

Key Words : *Interval Inspection, Remaining Life, Maintenance Crew, Risk Based Inspection, Life Cycle Cost*

1. Pendahuluan

PT DNS merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur komponen otomotif, berdiri sejak tahun 1975 yang berlokasi di Sunter, Jakarta Utara. PT DNS juga banyak menerima *order* dari para *customer* nya maupun itu yang di dalam atau di luar negeri. Oleh karena itu PT DNS harus dapat mengoptimalkan sumber daya yang dimiliki, seperti halnya meningkatkan kinerja mesin, dan mengoptimalkan *maintenance crew* yang dimiliki, yang merupakan sumber daya penunjang utama dalam berjalannya sebuah proses produksi.

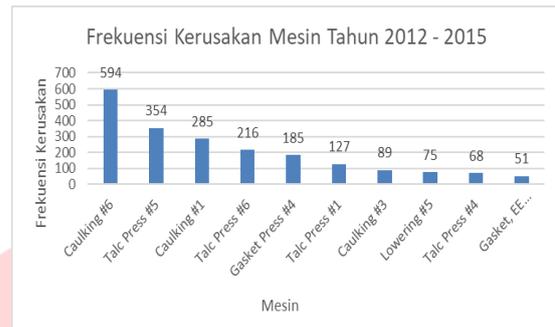
Salah satu cara untuk mengoptimalkan sebuah mesin dengan melakukan perawatan berkala terhadap mesin, baik itu dengan melakukan *corrective maintenance* ataupun *preventive maintenance*. Produk-produk yang dihasilkan oleh PT DNS merupakan komponen-komponen otomotif seperti *Sparkplug*, Radiator, AC, *Filter*, *Magneto*, dan lain-lain. Terkhusus untuk produk *sparkplug* yang mempunyai total produksi yang terbanyak pada empat tahun terakhir ini, yang dapat dilihat pada Gambar 1 :



Gambar 1 Jumlah Produksi Sparkplug

Proses produksi *sparkplug* pada PT DNS untuk memenuhi pesannya didukung oleh beberapa mesin yang ada pada setiap *line* nya, untuk pembuatan *sparkplug* ini terdapat 6 *line* produksi yang didalamnya terdapat 129 mesin, dimana setiap 1 *line* produksi ini menghasilkan *sparkplug* dengan tipe yang berbeda-beda.

Line produksi pada setiap proses produksi *sparkplug* didukung oleh beberapa mesin seperti: *lowering*, *talc press*, *talc sweeping*, *caulking*, *leak test*, *electric leak test*, *bending*, *gasket press*, *thread checker*, *wave compulator*, dan mesin E visual, dari mesin-mesin pendukung yang sudah disebutkan masing-masing mempunyai kendala ketika mesin sedang dioperasikan, berikut ini merupakan frekuensi 10 besar kerusakan yang dialami oleh mesin-mesin yang terdapat pada *line* produksi *sparkplug*:



Gambar 2 Frekuensi Kerusakan Mesin

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa mesin caulking pada *line* produksi ke-6, paling banyak mengalami kerusakan, yaitu sebanyak 594 kali, mesin caulking merupakan salah satu jenis mesin dari departemen *machining* yang berfungsi untuk menggabungkan komponen-komponen yang ada pada busi yaitu *lower ring*, *upper ring*, dan juga *talc ring* menjadi satu, *output* dari proses ini adalah mencegah terjadinya kebocoran pada busi ketika sedang digunakan pada kendaraan bermotor. Maka dari itu mesin caulking pada *line* produksi ke-6 perlu untuk dilakukan perhatian dan perawatan khusus guna untuk meningkatkan proses produksi produk busi ini.

Pengoprasian mesin caulking ini terjadi hampir 16 jam pada setiap harinya, dan ada juga mesin yang terus-menerus bekerja selama 24 jam *nonstop*. Oleh karena itu mesin caulking ini menjadi salah satu proses kunci pada kegiatan produksi busi pada PT DNS. Kegiatan mesin yang dilakukan secara terus-menerus dapat mengalami adanya kerusakan karena mesin tersebut berjalan diatas batas normal guna untuk memenuhi target produksinya. Jadi sangat penting untuk kita mengetahui jadwal inspeksi, umur mesin, dan total *maintenance crew* yang optimal untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin tersebut. Maka dalam menanggulangi kasus ini dapat menggunakan metode *Risk Based Inspection* (RBI) dan juga metode *Life Cycle Cost* (LCC).

Metode *Risk Based Inspection* (RBI) digunakan untuk mengetahui jadwal kegiatan inspeksi dan umur dari *equipment* sejenis yang masih beroperasi, untuk mencegah *unplanned shutdown* pabrik, *downtime* yang tinggi, biaya *maintenance* meningkat karena biaya *overtime* terhadap *maintenance crew* akibat perbaikan yang dilakukan diluar jam kerja normal dan *lost of production* sehingga produksi busi terhambat yang mengakibatkan perusahaan mengalami kerugian yang tidak sedikit. Metode *Life Cycle Cost* (LCC) digunakan untuk mengetahui jumlah *maintenance crew* yang optimal dari mesin tersebut. Fungsi dari metode tersebut juga untuk mengetahui total biaya yang dikeluarkan dari awal sampai akhir pemakaian berdasarkan dengan berbagai komponen biaya.

2. Dasar Teori dan Metodologi Penelitian

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Manajemen Perawatan

Manajemen perawatan bertujuan untuk menjamin tersedianya peralatan atau mesin dalam kondisi yang mampu memberikan keuntungan, kesiapan peralatan cadangan dalam situasi darurat dan juga dengan adanya kegiatan *maintenance* ini, maka mesin/peralatan produksi dapat digunakan sesuai dengan rencana dan tidak mengalami kerusakan selama jangka waktu tertentu yang telah direncanakan sebelumnya. [4]

2.1.2 Preventive Maintenance

Kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produk mengalami kerusakan pada waktu proses produksi.[1]

Tujuan dari *preventive maintenance* adalah sebagai berikut:

- 1.Mencegah atau meminimasi akibat terjadinya kegagalan,
- 2.Mendeteksi kegagalan,
- 3.Menemukan kegagalan tersembunyi,
- 4.Meningkatkan *Reliability* dan *Availability* komponen atau sistem tersebut.

2.1.3 Corrective Maintenance

Kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas produksi mengalami kerusakan atau gangguan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik, kegiatan yang dilaksanakan ini tidak terjadwal karena berdasarkan dengan kerusakan yang terjadi pada fasilitas produksi apabila mengalami kerusakan.[1]

2.1.4 Risk Based Inspection

Risk Based Inspection merupakan suatu metode untuk menentukan rencana inspeksi (peralatan mana dan kapan harus diinspeksi) berdasarkan risiko kegagalannya. Menurut *American Petroleum Institute* (API), *Risk Based Inspection* (RBI) adalah sebuah pendekatan sistematis tentang metode pengelolaan inspeksi atas peralatan atau unit kerja pada sebuah pabrik yang didasarkan pada tingkat risiko yang dimiliki oleh peralatan atau unit kerja tersebut. Menurut API 581, Perencanaan inspeksi (*inspection planning*) yang didasarkan *risk* akan memprioritaskan nilai-nilai *risk* yang lebih tinggi dibanding dengan yang lebih rendah. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi dan juga menekan biaya (*cost*) inspeksi.[3]

2.1.5 Life Cycle Cost

Life Cycle Cost merupakan penjumlahan perkiraan biaya dari awal hingga penyelesaian, baik peralatan maupun proyek seperti yang ditentukan oleh studi analisis, dan perkiraan pengeluaran total yang dialami selama hidup (Barringer 2003) [6]. *Life*

Cycle Cost adalah seluruh total biaya atas kepemilikan suatu mesin. Tujuan dari analisis menggunakan *Life Cycle Cost* adalah untuk dapat memilih pendekatan biaya yang paling efektif dari serangkaian alternatif sehingga *cost term ownership* (kepemilikan) yang paling rendah bisa tercapai. *Life Cycle Cost* analisis membantu *engineer* untuk memastikan pemilihan perlengkapan dan proses berdasarkan pengeluaran total dari harga pembelian awal. Biasanya biaya operasi, *maintenance*, dan penyelesaian berkali lipat melebihi biaya yang lain. Biaya siklus hidup merupakan pengeluaran total yang diperkirakan akan ada pada perancangan, pengembangan, produksi, operasi, *maintenance*, *support*, dan pengaturan akhir dari sistem utama di seluruh rentang waktu hidup. Keseimbangan terbaik tercapai pada saat seluruh elemen *cost* dicapai ketika total nilai *Life Cycle Cost* yang didapat paling kecil.[2]

2.2 Model Konseptual

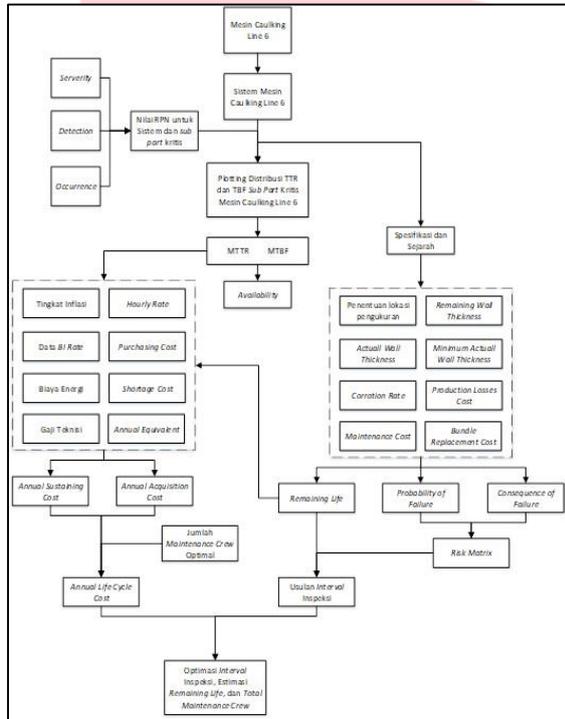
Gambar 3 merupakan model konseptual yang digunakan dan membantu dalam melakukan penelitian pada Mesin Caulking *Line* ke-6 pada PT DNS, Sunter, Jakarta Utara. Model konseptual adalah suatu diagram dari satu set hubungan antara faktor-faktor dan variabel-variabel tertentu yang dapat memberikan dampak terhadap suatu kondisi dari target penelitian.

Tahap awal dalam penelitian ini dengan mengumpulkan data kerusakan dan perbaikan pada Mesin Caulking *Line* ke-6. Lalu menggunakan metode *Risk Priority Number* untuk menentukan sistem kritisnya dan memilih sub-sistem yang memiliki frekuensi kerusakan terbanyak dari sistem kritis terpilih tadi, selanjutnya dilakukan analisis statistika untuk menentukan parameter distribusi dari data yang didapatkan dan melakukan uji kesesuaian distribusi. Perhitungan ini dilakukan untuk mendapatkan data *time to repair* (TTR) dan data *time between failure* (TBF). Setelah itu dilakukan perhitungan guna mendapatkan nilai *Mean Time To Repair* (MTTR) dan *Mean Time Between Failure* (MTBF) yang digunakan untuk mengetahui *availability*, dan nilai MTTR dan MTBF selanjutnya digunakan sebagai inputan data untuk proses perhitungan *Life Cycle Cost*.

RBI pada penelitian ini dilakukan dengan penentuan lokasi pengukuran sebagai langkah awal yang digunakan untuk menentukan *Actual Wall Thickness*, *Minimum Actual Wall Thickness*, *Corrosion Rate*, *Remaining Wall Thickness*, dan *Remaining Life* dari setiap komponen sub sistem kritis Mesin Caulking *Line* ke-6, dan kemudian menentukan *interval* inspeksi.

LCC pada penelitian ini digunakan untuk menentukan jumlah *Maintenance Crew* yang

optimal, dan total biaya dari awal pemakaian hingga batas umur komponen tersebut dengan menggunakan pendekatan *annual equivalent*, sehingga didapatkan biaya terendah. Berikut merupakan model konseptual yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3 Model Konseptual

3. Pembahasan

3.1 Penentuan Sub Sistem Kritis

Pada penentuan sub sistem kritis pada Mesin Caulking Line ke-6 ini menggunakan *Risk Priority Number*, yang merupakan metode untuk menentukan komponen kritis dari suatu sistem. Identifikasi ini diperlukan karena setiap mesin atau pun komponen mesin masing-masing mempunyai tingkatan kritis yang berbeda.

Perhitungan *Risk Priority Number* berdasarkan nilai *severity*, *detection*, dan *occurrence* Adapun ketiga faktor tadi yang menjadi komponen penilaian dari metode *Risk Priority Number* dengan standar *Automotive Industry Action Group, 4th Edition*. [7]

Tabel 1 Hasil RPN Sub System Mesin Caulking Line ke-6

Sistem	Servery of Effects	Severity Rating	Likelihood Detection	Detection Rating	Probability Occurance	Occurrence Rating	RPN
Pneumatic System	Sedang	6	Rendah	6	Tinggi (1 in 20)	7	252
Hydraulic System	Sedang	6	Agak Tinggi	4	Sedang (1 in 500)	5	120
Mechanical System	Rendah	5	Agak Tinggi	4	Sedang (1 in 2000)	4	80
Electrical System	Sangat Rendah	4	Tinggi	3	Sedang (1 in 2000)	4	48

Maka dari ke empat sistem yang terdapat pada Mesin Caulking Line ke- 6, yang merupakan sistem kritis adalah *Pneumatic System*, yang selanjutnya akan dilakukan penilaian RPN kembali terhadap *sub part pneumatic system* pada Mesin Caulking Line ke- 6.

Pneumatic System dari Mesin Caulking Line ke-6 memiliki beberapa *part* didalamnya yaitu *Compressor*, *Speed Control*, *Auto Switch Cylinder*, dan juga *Solenoid Brake*, yang mendukung jalannya *Pneumatic System* ini, maka dari ke empat *sub part* ini dipilih kembali *sub part* kritis sub sistem *pneumatic* dengan menggunakan metode RPN

Tabel 2 Hasil RPN Sub Part Pneumatic System

Sub Part	Servery of Effects	Severity Rating	Likelihood Detection	Detection Rating	Probability Occurance	Occurrence Rating	RPN
Compressor	Tinggi	7	Rendah	6	Sangat Tinggi (1 in 3)	9	378
Speed Control	Rendah	5	Agak Tinggi	4	Tinggi (1 in 20)	7	112
Auto Switch Cylinder	Sangat Tinggi	8	Tinggi	3	Tinggi (1 in 20)	7	168
Solenoid Brake	Sedang	6	Tinggi	3	Tinggi (1 in 20)	7	126

Maka dari ke empat *sub part pneumatic system* yang terdapat pada Mesin Caulking Line ke- 6, yang merupakan komponen kritis adalah *Compressor*, yang selanjutnya akan diteliti lebih lanjut menggunakan metode *Risk Based Inspection* dan *Life Cycle Cost*.

3.2 Distribusi yang Mewakili

Penentuan distribusi ini menggunakan uji *Anderson-Darling*, pengujian data ini dilakukan untuk mengetahui nilai distribusi yang mewakili data *Time to Repair* dan *Time Between Failure* pada seluruh pipa kompresor yang menghubungkan kompresor pada Mesin Caulking Line ke-6 menuju kompresor pusat yang berjumlah 22 segmen.

Penentuan distribusi ini berdasarkan pada nilai *Anderson-Darling*, karena nilai tersebut menunjukkan bahwa suatu distribusi mewakili penyebaran suatu data, semakin kecil nilai AD maka distribusi tersebut telah mewakili persebaran data yang diuji. Serta kebutuhan data lainnya seperti nilai *P-Value* digunakan untuk parameter penerimaan hipotesis harapan H_0 dengan ketentuan bila nilai $P-Value < \alpha$ maka H_0 ditolak.

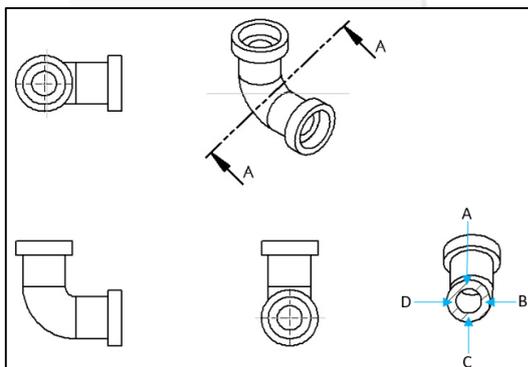
Namun untuk menentukan jenis distribusi yang paling mewakili penyebaran suatu data lebih akurat dengan menggunakan kriteria penilaian *Anderson-Darling*. Nilai keyakinan data yang digunakan adalah sebesar 95%, sehingga nilai α yang digunakan adalah 5%. Perhitungan pendistribusian data ini yang mencari nilai *P-Value* dan *Anderson Darling* menggunakan *software Minitab 17*. Adapun data-data yang digunakan, diuji terhadap distribusi *Weibull*, *Eksponensial* dan *Normal*.

Tabel 3 Distribusi TTR dan TBF

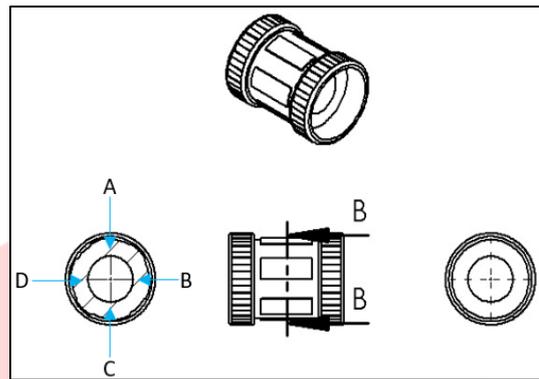
Segmen	Distribusi TTR	Distribusi TBF
1	Normal	Weibull
2	Normal	Weibull
3	Weibull	Normal
4	Normal	Weibull
5	Normal	Weibull
6	Normal	Normal
7	Normal	Normal
8	Weibull	Normal
9	Normal	Normal
10	Normal	Normal
11	Normal	Weibull
12	Weibull	Weibull
13	Weibull	Normal
14	Normal	Weibull
15	Weibull	Normal
16	Normal	Normal
17	Normal	Weibull
18	Normal	Weibull
19	Normal	Weibull
20	Normal	Normal
21	Normal	Normal
22	Normal	Normal

3.3 Penentuan Lokasi Pengukuran

Proses pengukuran untuk pipa kompresor yang menggunakan *ultrasonic thickness gauge* (UTG) ini terdiri dari empat titik, yaitu pada bagian *fittings Elbow* dan juga *fittings Kompresi*, pada bagian ini memiliki potensi terjadinya kerusakan atau kebocoran pipa, berikut merupakan penjelasan lokasi pengukuran yang dilakukan :



Gambar 4 Lokasi Pengukuran *Fittings Elbow*

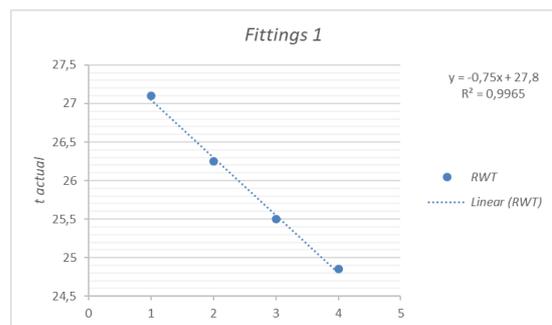


Gambar 5 Lokasi Pengukuran *Fittings Kompresi*

3.4 Perhitungan Risk Based Inspection

3.4.1 Remaining Life

Perhitungan *Remaining Life* disini sudah dapat ditentukan dengan cara mencari *trend* pada setiap tahunnya, dan setelah itu dilakukan perhitungan regresi linier untuk dapat menentukan *Remaining Life* pada setiap segmen pipa kompresor yang sudah didapatkan dari perhitungan *Remaining Wall Thickness*.



Gambar 6 Hasil Penentuan *Trend Fittings 1*

Berdasarkan Gambar 6 dapat mengetahui persamaan *trend* dari *Fittings 1* yaitu $y = -0,75x + 27,8$, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai x sebagai *Predict Bundle Life*, dan nilai y sebagai *Minimum Allowable Thickness*. Berikut merupakan contoh perhitungan regresi linier untuk *Fittings 1*.

Diketahui :

Persamaan *Trend* $y = -0,75x + 27,8$, dan $y = 2,67893$ (*Minimum Allowable Thickness*)

Dicari :

$x = Predict Bundle Life$

Maka nilai $x = 33,49$ tahun

$x = 33,49$ tahun merupakan umur mesin dari tahun 1978 atau pertama kalinya pipa kompresor ini beroperasi sampai mencapai batas MAT, sehingga diperoleh umur pipa kompresor dari awal pemasangan adalah sebagai berikut.

$PBL = 33,49 + (2012-1978) = 67,49$ tahun

Kemudian untuk perhitungan *remaining life* pipa kompresor sampai mencapai batas MAT nya berdasarkan pipa kompresor ini beroperasi pertama kalinya ditambah dengan total data kerusakan yang didapat selama 4 tahun, adalah sebagai berikut.

$$Remaining\ Life = 67,49 - (34+4) = 29,49\ \text{tahun}$$

Maka *Remaining Life* dari pipa kompresor *fittings* 1 sebesar 29,49 tahun. Berikut merupakan hasil *remaining life* untuk seluruh *fittings*.

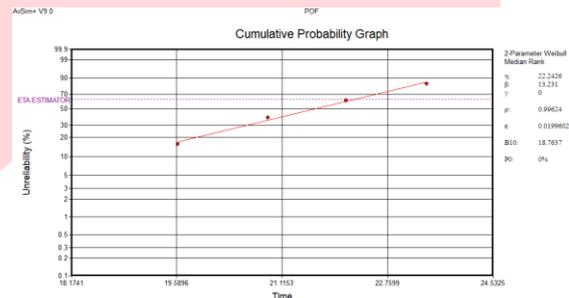


Gambar 7 Hasil Remaining Life

Tabel 4 Ketebalan Minimal Pipa Kompresor

Ketebalan (mm)			
2012	2013	2014	2015
23,4	22,1	20,9	19,6

Tabel 4 merupakan data ketebalan minimum dari pipa kompresor yang dilakukan selama empat kali pengukuran, maka selanjutnya dilakukan plotting distribusi untuk mendapatkan parameternya. Berikut merupakan hasil parameter yang didapatkan dari data minimum ketebalan pipa selama empat kali pengukuran.



Gambar 8 Hasil Parameter Distribusi POF

3.4.2 Usulan Interval Inspeksi

Menentukan Usulan *Interval* Inspeksi dari pipa kompresor yang terhubung dari kompresor Mesin Caulking *Line* ke-6 yang menuju kompresor pusat, membutuhkan beberapa *outputan* data, yang berasal dari *remaining life* dan *level* resiko yang diperoleh dari *risk matrix*, untuk menentukan *risk matrix* ini juga memerlukan data *Probability of Failure* (PoF) dan data *Consequences of Failure* (CoF).

3.4.2.1 Probability of Failure

Probability of Failure (PoF) merupakan kemungkinan atau probabilitas terjadinya kegagalan suatu equipment. Distribusi yang digunakan untuk menentukan parameter PoF adalah distribusi *Weibull*, karena distribusi *Weibull* memiliki *outputan* data berupa η dan β , parameter ini digunakan untuk perhitungan *characteristic value* yang digunakan dalam penentuan estimasi *end of useful life*. Distribusi *Weibull* juga dapat menggambarkan tiga region pada *bathub curve*. Data yang dibutuhkan untuk memperoleh hasil PoF adalah ketebalan minimal dari pipa kompresor pada seluruh *fittings*, yang dilakukan selama empat kali pengukuran, karena ketebalan pipa yang paling minimum pasti akan lebih rentan mengalami kerusakan, sehingga nilai minimum ketebalan pipa kompresor yang dilakukan selama empat kali pengukuran akan dijadikan inputan data PoF untuk perhitungan ini. Setelah mengetahui nilai ketebalan minimum dari pipa kompresor selanjutnya data tersebut diolah menggunakan *software Avism+ 9.0* untuk memperoleh parameter nya.[5]

Tabel 5 Hasil Parameter Distribusi POF

η	β	γ	ρ	ϵ	B10	P0
22,2426	13,231	0	0,99624	0,01996	18,7637	0

Setelah diperoleh parameter nya maka untuk nilai η dan β selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai PoF. Berikut perhitungan untuk PoF

Rumus PoF

$$P_f^{Pipes} = 1 - R(t) = 1 - \exp\left(-\left[\frac{t}{\eta}\right]^\beta\right)$$

Diketahui :

$$t = 4\ \text{tahun}, \eta = 22,2426, \text{ dan } \beta = 13,231$$

$$P_f^{Pipes} = 0,90736$$

Maka nilai *Probability of Failure* untuk seluruh pipa kompresor sebesar $P_f^{Pipes} = 0,90736$

3.4.2.2 Consequences of Failure

Consequence of Failure merupakan dampak atau konsekuensi yang akan timbul jika suatu *equipment* mengalami sebuah kegagalan, dan pada perhitungan ini menggunakan metode RBI secara semi-kuantitatif maka untuk menghitung *Consequences of Failure* berasal dari konsekuensi aspek finansial atau biaya yang harus dikeluarkan perusahaan jika *equipment* mengalami kegagalan, dimana merupakan total nilai dari *production losses cost*, *bundle replacement cost*, *maintenance cost*, dan biaya tenaga kerja.

Tabel 6 Hasil Perhitungan *Consequences of Failure*

Consequences of Failure	
Production Losses Cost	Rp 8.536.258,73
Bundle Replacement Cost	Rp 138.314.125,00
Total Biaya Maintenance	Rp 16.531.345,17
Total Biaya Tenaga Kerja	Rp 2.365.740,91
Total Financial Aspect	Rp 165.747.469,82

3.4.2.3 Risk Matrix

Proses penentuan Risk Matrix ini berdasarkan nilai Probability of Failure dan juga Consequence of Failure yang telah diolah sebelumnya, dan hasil yang didapatkan dari Risk Matrix ini berupa level resiko dari pipa kompresor Mesin Caulking Line ke-6 yang menuju Kompresor pusat yang nantinya akan berpengaruh kepada penentuan interval inspeksi. Berikut merupakan penentuan Risk Matrix.[3]

Nilai Probability of Failure (PoF) = 0,90736

Nilai Consequence of Failure (CoF) = Rp 165.747.479,82

Tabel 7 Hasil Risk Matrix

Probability	0,5 < PoF ≤ 1,0	(x)			
	0,3 < PoF ≤ 0,5	Med.High		High	
	0,2 < PoF ≤ 0,3	Low			High
	0,1 < PoF ≤ 0,2	Medium			
	PoF ≤ 0,1				
Consequence	COF ≤ Rp 135.540.000	Rp 135.540.000 < COF ≤ Rp 677.700.000	Rp 677.700.000 < COF ≤ Rp 2.033.100.000	Rp 2.033.100.000 < COF ≤ Rp 13.554.000.000	COF > Rp 13.554.000.000
	Keterangan :				
	High	Medium High	Medium	Low	

Maka diperoleh level resiko untuk pipa kompresor Mesin Caulking Line ke-6 yang menuju kompresor pusat berada pada level medium high atau level 3, yang mana nantinya akan digunakan untuk penentuan interval inspeksi

3.4.2.4 Penentuan Interval Inspeksi

Proses penentuan usulan interval inspeksi ini berdasarkan pada hasil remaining life dan juga level resiko dari pipa kompresor Mesin Caulking Line ke-6 yang menuju kompresor pusat, berdasarkan level resiko berada pada level 3 atau medium high, maka untuk penentuan interval inspeksi hasil remaining life dari setiap fittings dibagi dengan level resikonya. Berikut merupakan contoh perhitungan penentuan interval inspeksi untuk salah satu fittings.

Remaining Life Fittings 1 = 29,49 tahun, Level Resiko = 3, Maka : Inspeksi 0 = tahun 2015

Interval Inspeksi 1 = 29,49/3 = 9,83 tahun (tahun 2024), Interval Inspeksi 2 = 9,83/3 = 3,28 tahun (tahun 2027), Interval Inspeksi 3 = 3,28/3 = 1,09 tahun (tahun 2028). Maka untuk usulan interval inspeksi Fittings 1 dilakukan pada tahun 2024, 2027, dan 2028, maka setelah kita mendapatkan usulan interval inspeksi lalu dilakukan perbandingan antara inspeksi eksisting dan inspeksi usulan.

Tabel 8 Interval Inspeksi Eksisting

Fittings	RL	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Fittings 1	29,49						
Fittings 2	29,24						
Fittings 3	29,52						
Fittings 4	32,36						
Fittings 5	30,15						
Fittings 6	27,02						
Fittings 7	27,59						
Fittings 8	31,48						
Fittings 9	25,49						
Fittings 10	28,67						
Keterangan :							
Inspection							

Tabel 9 Interval Inspeksi Usulan

Fittings	RL	First Inspection	Second Inspection	Third Inspection	2015	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	Information :
Fittings 1	29,49	9,83	3,28	1,09									First Inspection
Fittings 2	29,24	9,75	3,25	1,08									Second Inspection
Fittings 3	29,52	9,84	3,28	1,09									Third Inspection
Fittings 4	32,36	10,79	3,60	1,20									
Fittings 5	30,15	10,05	3,35	1,12									
Fittings 6	27,02	9,01	3,00	1,00									
Fittings 7	27,59	9,20	3,07	1,02									
Fittings 8	31,48	10,49	3,50	1,17									
Fittings 9	25,49	8,50	2,83	-									
Fittings 10	28,67	9,56	3,19	1,06									

3.4.2.5 Perhitungan Biaya Inspeksi

Perhitungan biaya inspeksi ini untuk menentukan seberapa besar biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan apabila melakukan kegiatan inspeksi, dalam perhitungan biaya inspeksi ini berdasarkan rata-rata dari remaining life seluruh pipa yaitu 29 tahun dan juga dilihat dari kegiatan inspeksi selasama 29 tahun kedepan untuk seluruh pipa, yang mana inspeksi terakhir untuk ke 28 pipa berakhir pada tahun 2043 dimana pada langkah selanjutnya tidak ada kegiatan inspeksi kembali karena pipa tersebut sudah mencapai remaining life nya. Berikut merupakan biaya tenaga kerja dan biaya alat yang digunakan untuk kegiatan inspeksi ini.

Tabel 10 Hasil Perhitungan Biaya Inspeksi

Inspection Cost	
Tenaga Kerja	Rp 770.958,40
Barometer	Rp 4.575.000,00
Differential Pressure Flowmeters	Rp 18.947.500,00
Surface Roughness Test	Rp 8.265.000,00
Total Biaya Inspeksi	Rp 32.558.458,40

Tabel 10 merupakan aspek yang digunakan untuk melakukan kegiatan inspeksi yang berjumlah Rp 32.558.458,40 untuk setiap kali inspeksi pada tiap tahunnya, dan untuk menghitung biaya inspeksi untuk 29 tahun kedepan terhitung dari tahun 2015 sampai tahun 2043, maka diperlukan inputan data lainnya berupa tingkat inflasi pada tahun 2015 sebesar 6,38%. Perhitungan ini berlaku untuk interval inspeksi eksisting dan usulan. Berikut merupakan hasil perhitungan biaya inspeksi eksisting dan usulan.

Tabel 11 Perbandingan Biaya Inspeksi

Tahun	Biaya Inspeksi Eksisting	Biaya Inspeksi Usulan
1	Rp 32.558.458,40	Rp 32.558.458,40
2	Rp 34.635.688,04	-
3	Rp 36.845.444,94	-
4	Rp 39.196.184,33	-
5	Rp 41.696.900,89	-
6	Rp 44.357.163,17	-
7	Rp 47.187.150,18	-
8	Rp 50.197.690,36	Rp 50.197.690,36
9	Rp 53.400.303,00	Rp 53.400.303,00
10	Rp 56.807.242,33	Rp 56.807.242,33
11	Rp 60.431.544,39	-
12	Rp 64.287.076,93	Rp 64.287.076,93
13	Rp 68.388.592,43	Rp 68.388.592,43
14	Rp 72.751.784,63	Rp 72.751.784,63
15	Rp 77.393.348,49	-
16	Rp 82.331.044,12	Rp 82.331.044,12
17	Rp 87.583.764,74	Rp 87.583.764,74
18	Rp 93.171.608,93	Rp 93.171.608,93
19	Rp 99.115.957,58	-
20	Rp 105.439.555,67	Rp 105.439.555,67
21	Rp 112.166.599,33	-
22	Rp 119.322.828,36	Rp 119.322.828,36
23	Rp 126.935.624,81	-
24	Rp 135.034.117,68	Rp 135.034.117,68
25	Rp 143.649.294,38	Rp 143.649.294,38
26	Rp 152.814.119,36	Rp 152.814.119,36
27	Rp 162.563.660,18	Rp 162.563.660,18
28	Rp 172.935.221,70	Rp 172.935.221,70
29	Rp 183.968.488,84	Rp 183.968.488,84
TOTAL	Rp 2.557.166.458,20	Rp 1.837.204.852,06

Dapat dilihat pada Tabel 11 hasil perhitungan biaya inspeksi, untuk *interval* inspeksi eksisting yang dilakukan setiap satu tahun sekali maka perusahaan harus mengeluarkan biaya inspeksi tersebut setiap tahunnya, dan untuk biaya inspeksi usulan, biaya yang dikeluarkan sesuai dengan *interval* inspeksi yang dipengaruhi oleh *remaining life* dan juga *level* resiko nya. Maka untuk biaya *interval* inspeksi usulan dapat menghemat biaya yang dikeluarkan sebesar Rp 719.961.606,15 yang didapat dari selisih antara biaya inspeksi eksisting dan usulan (Rp 2.557.166.458,20 – Rp 1.837.204.852,06 = Rp 719.961.606,15)

3.5 Perhitungan Life Cycle Cost

Proses perhitungan *Annual Life Cycle Cost* ini dilakukan untuk 29 tahun kedepan berdasarkan dari rata-rata *remaining life* yang telah didapat dari seluruh komponen pipa kompresor Mesin Caulking Line ke-6 yang menuju kompresor pusat. Hasil dari pengolahan data ini untuk menentukan biaya terendah yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk 29 tahun kedepan dan jumlah *maintenance crew* yang optimal, untuk mengolah seluruh data ini dibutuhkan inputan data berupa tingkat suku bunga dari Bank Indonesia atau *discount rate* tahun 2015 sebesar 7,52%, serta data tingkat inflasi dari Bank Indonesia pada tahun 2015 sebesar 6,38%, dan untuk inputan data biaya berdasarkan data yang diberikan dari divisi *Maintenance* PT DNS.

3.5.1 Annual Sustaining Cost

Proses perhitungan *Annual Sustaining Cost* merupakan penjumlahan dari ke 3 hasil perhitungan yaitu nilai *Annual Operation Cost*, *Annual Shortage Cost*, dan *Annual Maintenance Cost*. Hasil dari perhitungan ini merupakan biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan atas kepemilikan suatu perangkat selama periode operasinya per tahun. Berikut merupakan contoh perhitungan *Annual Sustaining Cost* pada tahun pertama :

Annual Operation Cost Tahun 1 = Rp 269.146.333,46
Annual Shortage Cost Tahun 1 M=1 = Rp 84.765,53
Annual Maintenance Cost Tahun1 M=1 = Rp 94.661.400,00

Maka : *Annual Sustaining Cost* = *Operation Cost* + *Shortage Cost* + *Maintenance cost* = Rp 363.892.498,99

Inputan data untuk perhitungan *Annual Sustaining Cost* yang terdiri dari 3 komponen yang sebelumnya sudah dilakukan perhitungan, dan setelah itu menjumlahkan ke 3 komponen tersebut untuk setiap jumlah *maintenance crew* dan juga tahunnya. Berikut merupakan hasil perhitungan *Annual Sustaining Cost*

Tabel 12 Hasil Annual Sustaining Cost

Tahun	Annual Sustaining Cost		
	M = 1	M = 2	M = 3
1	Rp 363.892.498,99	Rp 443.648.788,30	Rp 523.434.819,12
2	Rp 382.715.167,77	Rp 466.453.253,72	Rp 550.226.738,64
3	Rp 402.416.886,43	Rp 490.388.654,83	Rp 578.365.636,49
4	Rp 423.237.677,69	Rp 515.606.977,39	Rp 607.982.486,39
5	Rp 445.144.456,42	Rp 542.130.932,66	Rp 639.124.836,37
6	Rp 468.194.465,12	Rp 570.028.677,19	Rp 671.871.824,57
7	Rp 492.448.025,41	Rp 599.371.963,45	Rp 706.306.731,26
8	Rp 517.968.721,13	Rp 630.238.181,25	Rp 742.517.198,26
9	Rp 544.823.601,65	Rp 662.701.320,52	Rp 780.595.460,30
10	Rp 573.083.413,00	Rp 696.842.597,43	Rp 820.638.589,07
11	Rp 602.822.869,31	Rp 732.772.566,27	Rp 862.748.750,66
12	Rp 634.120.985,01	Rp 770.559.874,65	Rp 907.033.477,37
13	Rp 667.061.501,83	Rp 810.310.407,23	Rp 953.605.954,87
14	Rp 701.733.467,92	Rp 852.127.202,20	Rp 1.002.585.326,07
15	Rp 738.232.065,43	Rp 896.118.831,37	Rp 1.054.097.013,28
16	Rp 776.659.849,19	Rp 942.399.740,12	Rp 1.108.273.060,61
17	Rp 817.128.668,53	Rp 991.090.632,47	Rp 1.165.252.499,77
18	Rp 859.762.719,05	Rp 1.042.318.921,18	Rp 1.225.181.743,19
19	Rp 904.703.428,49	Rp 1.096.219.275,49	Rp 1.288.215.010,86
20	Rp 952.117.192,50	Rp 1.152.934.320,87	Rp 1.354.514.800,63
21	Rp 1.002.207.143,50	Rp 1.212.615.582,38	Rp 1.424.252.417,15
22	Rp 1.055.229.475,92	Rp 1.275.424.825,26	Rp 1.497.608.584,74
23	Rp 1.111.511.679,93	Rp 1.341.536.052,42	Rp 1.574.774.184,80
24	Rp 1.171.461.646,37	Rp 1.411.138.592,37	Rp 1.655.951.186,32
25	Rp 1.235.543.018,02	Rp 1.484.441.988,28	Rp 1.741.353.883,67
26	Rp 1.304.188.558,88	Rp 1.561.683.803,02	Rp 1.831.210.634,35
27	Rp 1.377.667.451,12	Rp 1.643.141.932,95	Rp 1.925.766.421,48
28	Rp 1.456.016.271,34	Rp 1.729.153.235,01	Rp 2.025.286.783,74
29	Rp 1.539.152.469,76	Rp 2.132.965.391,68	Rp 2.130.064.004,07

3.5.2 Annual Acquisition Cost

Proses perhitungan *Total Annual Acquisition Cost* penjumlahan dari beberapa komponen biaya yaitu nilai *Annual Population Cost* dan *Annual Purchasing*. Hasil dari perhitungan ini merupakan

biaya yang dikeluarkan pada awal pembelian *equipment* atau komponen. Berikut merupakan contoh perhitungan total *annual acquisition cost* pada tahun pertama :

Annual Population = Rp 6.338.131.714,22
Annual Purchasing = Rp 299.243.347,20

Maka :

Total Annual Acquisition Cost = *Annual Population* + *Annual Purchasing* = Rp 6.637.375.061,42

Berikut merupakan perhitungan total *Annual Acquisition Cost*

Tabel 13 Hasil *Annual Acquisition Cost*

Tahun	Annual Population	Annual Purchasing	Total Annual Acquisition
1	Rp 6.338.131.714,22	Rp 299.243.347,20	Rp 6.637.375.061,42
2	Rp 3.031.599.627,63	Rp 155.043.584,67	Rp 3.186.643.212,30
3	Rp 1.924.075.696,99	Rp 107.061.118,80	Rp 2.031.136.815,79
4	Rp 1.367.657.691,85	Rp 83.132.811,62	Rp 1.450.790.503,47
5	Rp 1.032.598.155,50	Rp 68.825.983,26	Rp 1.101.424.138,77
6	Rp 808.859.516,55	Rp 59.329.697,48	Rp 868.189.214,03
7	Rp 649.191.698,21	Rp 52.582.088,22	Rp 701.773.786,43
8	Rp 529.900.197,35	Rp 47.552.191,46	Rp 577.452.388,81
9	Rp 437.767.727,31	Rp 43.667.222,48	Rp 481.434.949,78
10	Rp 364.822.031,36	Rp 40.583.486,96	Rp 405.405.518,32
11	Rp 305.956.932,42	Rp 38.082.249,67	Rp 344.039.182,09
12	Rp 257.742.299,39	Rp 36.017.668,89	Rp 293.759.968,28
13	Rp 217.782.800,79	Rp 34.288.761,13	Rp 252.071.561,92
14	Rp 184.351.099,11	Rp 32.823.381,06	Rp 217.174.480,17
15	Rp 156.167.452,89	Rp 31.568.609,45	Rp 187.736.062,35
16	Rp 132.261.706,09	Rp 30.484.745,71	Rp 162.746.451,80
17	Rp 111.883.768,38	Rp 29.541.420,68	Rp 141.425.189,06
18	Rp 94.443.752,26	Rp 28.715.005,23	Rp 123.158.757,49
19	Rp 79.470.860,56	Rp 27.986.837,19	Rp 107.457.697,75
20	Rp 66.584.478,61	Rp 27.341.980,18	Rp 93.926.458,79
21	Rp 55.473.417,03	Rp 26.768.337,13	Rp 82.241.754,16
22	Rp 45.880.724,09	Rp 26.256.005,49	Rp 72.136.729,58
23	Rp 37.592.382,69	Rp 25.796.800,74	Rp 63.389.183,43
24	Rp 30.428.768,00	Rp 25.383.898,92	Rp 55.812.666,92
25	Rp 24.238.100,11	Rp 25.011.565,04	Rp 49.249.665,15
26	Rp 18.891.361,17	Rp 24.674.944,09	Rp 43.566.305,26
27	Rp 14.278.302,76	Rp 24.369.898,50	Rp 38.648.201,26
28	Rp 10.304.275,62	Rp 24.092.880,47	Rp 34.397.156,09
29	Rp 6.887.687,32	Rp 23.840.830,62	Rp 30.728.517,94

3.5.3 Total Annual Life Cycle Cost

Proses perhitungan *Total Annual Life Cycle Cost* merupakan penjumlahan dari nilai *Total Annual Sustaining Cost* dan *Total Annual Acquisition Cost*, hasil perhitungan ini merupakan perhitungan total biaya keseluruhan sebuah *equipment* atau komponen, mulai dari awal pembelian sampai dengan masa berakhirnya sebuah *equipment* atau komponen tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan *Total Annual Life Cycle Cost* pada tahun pertama.

Total Annual Sustaining tahun 1 M=1 = Rp 363.892.498,99, *Total Annual Acquisition* tahun 1 = Rp 6.637.375.061,42

Maka :

Total Annual Life Cycle Cost = *Annual Sustaining* + *Annual Acquisition* = Rp 7.001.267.560,41

Berikut merupakan hasil perhitungan untuk *Total Annual Life Cycle Cost*

Tabel 14 Hasil *Total Annual Life Cycle Cost*

Total Annual Life Cycle Cost			
Tahun	M = 1	M = 2	M = 3
1	Rp 7.001.267.560,41	Rp 7.081.023.849,73	Rp 7.160.809.880,54
2	Rp 3.569.358.380,07	Rp 3.653.096.466,03	Rp 3.736.869.950,94
3	Rp 2.433.553.702,22	Rp 2.521.525.470,62	Rp 2.609.502.452,28
4	Rp 1.874.028.181,15	Rp 1.966.397.480,86	Rp 2.058.772.989,86
5	Rp 1.546.568.595,19	Rp 1.643.555.071,43	Rp 1.740.548.975,13
6	Rp 1.336.383.679,16	Rp 1.438.217.891,23	Rp 1.540.061.038,61
7	Rp 1.194.221.811,84	Rp 1.301.145.749,88	Rp 1.408.080.517,69
8	Rp 1.095.421.109,94	Rp 1.207.690.570,06	Rp 1.319.969.587,07
9	Rp 1.026.258.551,43	Rp 1.144.136.270,30	Rp 1.262.030.410,08
10	Rp 978.488.931,32	Rp 1.102.248.115,75	Rp 1.226.044.107,38
11	Rp 946.862.051,41	Rp 1.076.811.748,36	Rp 1.206.787.932,76
12	Rp 927.880.953,29	Rp 1.064.319.842,93	Rp 1.200.793.445,65
13	Rp 919.133.063,76	Rp 1.062.381.969,15	Rp 1.205.677.516,79
14	Rp 918.907.948,10	Rp 1.069.301.682,38	Rp 1.219.759.806,25
15	Rp 925.968.127,78	Rp 1.083.854.893,72	Rp 1.241.833.075,62
16	Rp 939.406.300,98	Rp 1.105.146.191,91	Rp 1.271.019.512,41
17	Rp 958.553.857,58	Rp 1.132.515.821,52	Rp 1.306.677.688,83
18	Rp 982.921.476,54	Rp 1.165.477.678,67	Rp 1.348.340.500,68
19	Rp 1.012.161.126,24	Rp 1.203.676.973,24	Rp 1.395.672.708,61
20	Rp 1.046.043.651,29	Rp 1.246.860.779,66	Rp 1.448.441.259,41
21	Rp 1.084.448.897,66	Rp 1.294.857.336,54	Rp 1.506.494.171,31
22	Rp 1.127.366.205,50	Rp 1.347.561.554,85	Rp 1.569.745.314,32
23	Rp 1.174.900.863,37	Rp 1.404.925.235,86	Rp 1.638.163.368,24
24	Rp 1.227.274.313,29	Rp 1.466.951.259,30	Rp 1.711.763.853,25
25	Rp 1.284.792.683,17	Rp 1.533.691.653,43	Rp 1.790.603.548,82
26	Rp 1.347.754.864,14	Rp 1.605.250.108,28	Rp 1.874.776.939,61
27	Rp 1.416.315.652,39	Rp 1.681.790.134,22	Rp 1.964.414.622,74
28	Rp 1.490.413.427,42	Rp 1.763.550.391,09	Rp 2.059.683.939,83
29	Rp 1.569.880.987,70	Rp 2.163.693.909,61	Rp 2.160.792.522,00

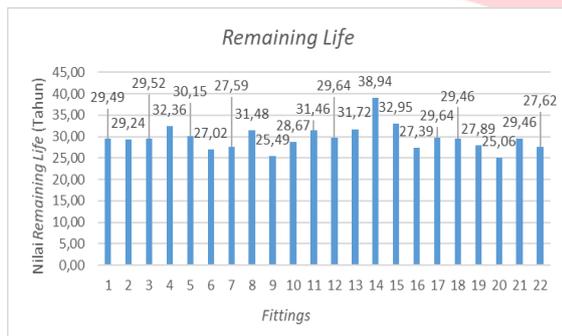
3.5.4 Total Maintenance Crew Optimal

Setelah mendapatkan hasil perhitungan *Total Annual Life Cycle Cost*, Maka kita telah mendapatkan total biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk 29 tahun kedepan, terhitung dari 2015 sampai 2043, dan bisa dilihat pada tahun ke-14 (2028) M=1 terjadi keseimbangan terbaik untuk seluruh komponen biaya yang dikeluarkan sebesar Rp 918.907.948,10, karena pada tahun tersebut merupakan nilai *Total Annual LCC* yang terkecil. Untuk jumlah *maintenance crew* yang melakukan perbaikan mesin dan komponen semakin banyak, maka akan menyebabkan tingginya biaya yang dikeluarkan, dan untuk *maintenance crew* yang digunakan sedikit maka akan meningkatkan nilai *shortage cost*. Maka pada penelitian ini jumlah *maintenance crew* yang optimal berjumlah 2 teknisi.[2]

4. Kesimpulan

- Telah didapatkan *Remaining Life* untuk masing-masing pipa yang menghubungkan kompresor Mesin Caulking Line ke-6 menuju Kompresor pusat. Berikut hasil *remaining life* untuk masing-masing pipa kompresor, Dapat dilihat pada

Gambar 9 bahwa *fittings elbow* (*fittings* 2, 3, 9, 13, 16, 17, 18, dan 21) memiliki rata-rata *Remaining Life* lebih kecil dibandingkan dengan *fittings kompresi* (*fittings* 1, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 19, 20, dan 22) dengan masing-masing *Remaining Life* nya 28,89 tahun untuk *fittings elbow* dan 29,99 tahun untuk *fittings kompresi*. Berdasarkan dengan hasil *remaining life* ini maka pergantian arah yang dilakukan pada penyaluran udara terkompresi ini khususnya *fittings elbow*, menyebabkan terjadinya perubahan fluida yang mempengaruhi tekanan menjadi berubah atau lebih besar, yang dapat mengakibatkan pipa lebih rentan mengalami korosi dan lebih cepat mencapai *end of useful life* nya.



Gambar 9 Hasil *Remaining Life*

- Mengusulkan jadwal *interval* inspeksi untuk masing-masing pipa berdasarkan dengan *remaining life* dan juga *level* risiko nya, dapat dilihat pada jadwal inspeksi yang diusulkan memiliki rata-rata inspeksi sebanyak 4-6 kali, hingga mencapai *remaining life* nya. Dan untuk jadwal inspeksi yang diusulkan dapat menghemat biaya inspeksi yang dikeluarkan oleh perusahaan sebesar Rp 719.961.606,15
- Telah didapatkan hasil *total annual life cycle cost* untuk 29 tahun kedepan yang dipengaruhi oleh suku bunga tahun 2015 sebesar 7,52%, tingkat inflasi tahun 2015 sebesar 6,38%, dan juga komponen biaya lainnya, dimana telah terjadi keseimbangan pada seluruh komponen biaya pada tahun ke-14 (2028) yang merupakan nilai *Total Annual Life Cycle Cost* yang terkecil sebesar Rp 918.907.948,10
- *Total Maintenance Crew* yang optimal pada penelitian ini berjumlah 2 orang, berdasarkan dengan *maintenance set crew* yang terpilih pada *total Annual Life Cycle Cost* adalah $M=1$.

Daftar Pustaka

- [1] Blanchard, B. S., W.J.Fabricky. (1990) . *System Engineering and Analysis*, 2nd ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [2] Saefudin, R. R., Alhilman, J., Atmaji, F. T. D. (2015). *Optimization of Preventive Maintenance*

Program and Total Site Crew For Base Transceiver Station (BTS) Using Reliability Centered Maintenance (RCM) and Life Cycle Cost (LCC)

[3] American Petroleum Institute (API) Publication 581 First Edition. (2000). *Risk- Based Inspection*

[4] Marquez, Crespo (2007) *The Maintenance Management Framework*

[5] Bringer, P. A. (1997) *Pipe Wallthickness Decisions Using Weibull Analysis*. Barringer & Associates, inc.

[6] Barringer, HP (2003). *A Life Cycle Cost summary*. In: *International conference of maintenance societies (ICOMS®-2003, Presented by Maintenance Engineering Society of Australia*

[7] Carlson, Carl (2012). *Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes using Failure Mode and Effects Analysis*