OPTIMASI INTERVAL INSPEKSI DAN ESTIMASI *REMAINING LIFE* PADA BATANGAN REL MENGGUNAKAN METODE *RISK BASED INSPECTION* DAN *LIFE CYCLE COST* PADA REL KERETA TIPE R.42 DAN R.54 DI DAOP II BANDUNG

INSPECTION INTERVAL OPTIMATION AND REMAINING LIFE ESTIMATION ON RAILROAD USING RISK BASED INSPECTION AND LIFE CYCLE COST METHOD ON TYPE OF RAILROAD R.42 AND R.54 ON DAOP II BANDUNG

Satryo Dwi Sutrisno[1], Sutrisno[2], Rd. Rohmat Saedudin[3]

[1,2,3]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

[1]satryods@gmail.com, [2]sutrisno_mr@yahoo.com, [3]rd.rohmats@gmail.com

Abstrak – Rel kereta api merupakan salah satu komponen penting yang menunjang berjalannya moda transportasi kereta api di Indonesia. Namun untuk menunjang jalannya transportasi tersebut diperlukan rel yang handal sehingga dapat meminimalkan failure pada batangan rel tersebut. Untuk dapat memastikan hal tersebut handal dan siap sedia, maka perlu dilakukan inspeksi yang optimal. Di mana inspeksi tersebut berguna untuk memastikan batangan rel dapat dilalui kereta namun tidak membebani dalam segi biaya. Kemudian untuk menjamin tingkat kehandalannya serta menjamin minimasi biaya dalam hal inspeksi dan perawatan, maka perlu dilakukan renewal secara periodik terhadap batangan rel tersebut.

Dalam menentukan inspeksi yang optimal digunakan metode RBI untuk melihat jalur kereta mana yang paling kritis. Sebelum didapatkan inspeksi yang optimal, harus diketahui terlebih dahulu distribusi waktu kerusakan dan waktu perbaikan dari setiap rel, kemudian menentukan availability atau kesiapan rel kereta yang akan menuntun pada perhitungan umur sisa dari rel kereta. Setelah itu dilakukan perhitungan interval inspeksi berdasarkan umur sisa rel dan MTBF dari rel kereta tersebut. Kemudian dilakukan perhitungan biaya menggunakan LCC sehingga didapatkan biaya yang akan dikeluarkan untuk n tahun ke depan.

Setelah pengolahan data tersebut, didapatkan umur sisa rel kereta untuk tipe R.42 selama 16,5 tahun dan tipe R.54 selama 21,25 tahun. Sedangkan interval inspeksi untuk masing-masing bagian rel berbeda dikarenakan perbedaan jumlah kerusakan. Selanjutnya hasil dari perhitungan LCC untuk sistem perkeretaapian yang ada pada koridor Cicalengka – Cibatu didapatkan total annual equivalent LCC terkecil selama 5 tahun adalah Rp 33,154,318,640. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan telah menggunakan data besaran ukuran kerusakan rel dan biaya yang lebih akurat, sehingga dapat dilakukan penentuan interval inspeksi dan kegiatan perawatan yang lebih baik.

Kata kunci : RBI, LCC, *Remaining Life*, Interval Inspeksi

Abstract – Railroad is one of the most important component in railways transportation in Indonesia. In order to support the railways transportation, the rail must be in a good condition and quite good reliable to minimize failure on those component. To assure the rail is available enough, there is a need for an optimum number of inspection. So the inspection will determine that the rail is quite reliable to operate, but quite low in cost. Then alsoa need for periodic renewal for the component, to ensure the reliability level of the component and maintain the level of cost quite low.

In order to determine the optimum number of rail inspection, the risk based inspection method is perfomed. Before determining inspection interval, the statistical distribution of each part of rail must be identified and then determine the availability level to know the remaining life of rail. After the remaining life determined, inspection interval can be calculated based on remaining life and MTBF data for each rail. After those steps, life cycle cost method performed to determinde the renewal policy for the component.

Based on the data calculation, remaining life for type R.42 is 16,5 years and remaining life for type R.54 is 21,25 years. Inspection interval for each type of rail is diferent based on the number of failure. And then based on the LCC calculation for railroad system along Cicalengka-Cibatu, the smallest total annual equivalent of LCC for5 years is Rp 33,154,318,640. For the next research are expected to using the data with the exact number of failure and cost, so the better preventive maintenance could be performed.

Keywords*: RBI, LCC, *Remaining Life, Inspection Interval

1. Pendahuluan

Salah satu sistem transportasi yang menjadi peranan penting dalam perpindahan penduduk maupun barang di Pulau Jawa adalah kereta api. Jumlah penumpang kereta api di Pulau Jawa hingga periode 2013 berdasarkan data BPS

mencapai 20,9 juta penumpang. Tingginya jumlah penumpang kereta api hingga periode 2013 menuntut PT. Kereta Api Indonesia (Persero) yang merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) untuk memperhatikan aspek keselamatan dan keamanan sebagai indikator utama keberhasilan PT. Kereta Api Indonesia (Persero) dalam mempersiapkan sarana dan prasana perkeretaapian yang memadai. Menurut data yang dimiliki Direktorat Jenderal Perkeretaapian yang merupakan bagian dari Kementrian Perhubungan Republik Indonesia, dalam kurun waktu 2009 – 2013 jumlah kecelakaan dan jumlah korban dapat dilihat di Tabel I.1 Tabel Kecelakaan Kereta Api 2009 – 2013.

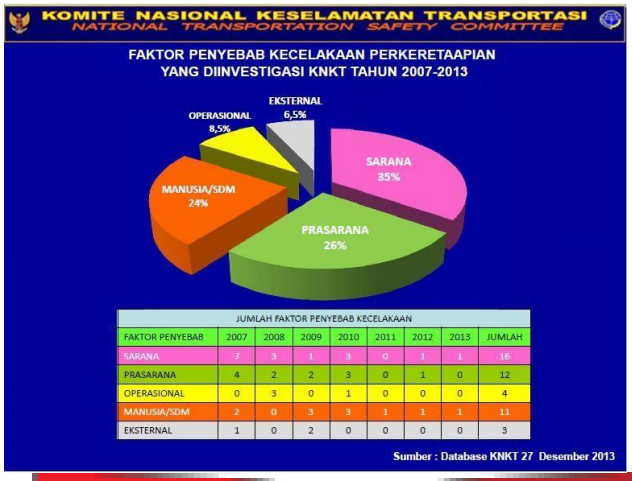
Tabel I.1 Data Kecelakaan Kereta Api

No	Jenis Kecelakaan *Type of Accidents*	Tahun				
		2009	2010	2011	2012	2013
1	Tabrakan KA dengan KA *Accidents Between Trains Againts Trains*	5	3	1	2	-
2	Tabrakan KA dengan Kendaraan *Accidents Between Trains Againts Vehicles*	21	26	22	-	-
3	Anjlokan *Derailment*	41	25	23	21	25
4	Terguling *Rolling*	7	4	2	2	1
5	Banjir / Longsor *Flood / Lanslide*	8	6	1	4	7
6	Lain-lain *Others*	8	4	6	2	6
	Jumlah Kecelakaan / *Total of Type of Accident*	90	68	55	31	39

Tabel I.2 Data Korban Kecelakaan

No	Uraian Korban (Orang) *Descriptionof Victim (Person)*	Tahun				
		2009	2010	2011	2012	2013
1	Meninggal Dunia *Dead*	57	79	39	4	0
2	Luka Berat *Seriously Injured*	122	93	45	8	0
3	Luka Ringan *Lihgtly Injured*	76	104	28	37	0
	Jumlah Korban / *Total of Victim*	256	276	112	49	0

Salah satu bagian penting dalam prasarana perkeretaapian adalah jalan rel itu sendiri. Dimana jalan rel memiliki struktur komponen diantaranya adalah batangan rel, baut penambat, laposan ballast, penambat rel, plat besi penyambung, bantalan baik dari kayu maupun beton, dan Rail Anchor. Batangan rel merupakan landasan di mana kereta api baik kereta api penumpang maupun barang dapat melintas dengan kecepatan dan beban tertentu. Berdasarkan data dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), dalam kurun waktu 7 tahun terakhir kecelakaan kereta api 26% disebabkan oleh faktor prasarana atau fasilitas yang kurang baik seperti jalan rel, jembatan, sinyal dan sebagainya. Berdasarkan data statistik dari Computerized Information Technology Ltd, dari data kecelakaan kereta api yang telah di analisis, ditemukan bahwa rel kereta api memiliki kontribusi dalam terjadinya failures yang berujung pada kecelakaan tersebut.

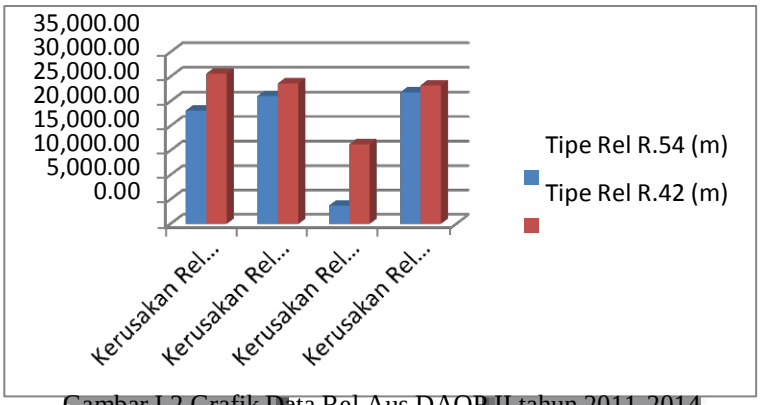


JUMLAH FAKTOR PENYEBAB KECELAKAAN

FAKTOR PENYEBAB	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	JUMLAH
SARANA	7	3	1	3	0	1	1	16
PRASARANA	4	2	2	3	0	1	0	12
OPERASIONAL	0	3	0	1	0	0	0	4
MANUSIA/SDM	2	0	3	3	1	1	1	11
EKSTERNAL	1	0	2	0	0	0	0	3

Gambar I.1 Data Penyebab Kecelakaan Perkeretaapian dari KNKT

PT. Kereta Api Indonesia (Persero) yang selanjutnya disingkat sebagai PT. KAI (Persero) atau "Perseroan", memiliki tugas untuk menyediakan, mengatur, dan mengurus jasa angkutan kereta api di Indonesia. PT. KAI (Persero) memiliki 9 daerah operasional yang ada di pulang jawa. Untuk penelitian yang dilakukan peneliti dilakukan di DAOP II Bandung. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan beberapa jenis kerusakan pada rel kereta, seperti rel retak, rel patah, rel aus dan masih banyak lagi. Data kerusakan rel yang di dapatkan dari unit kerja Jalan Rel dan Jembatan PT. KAI (Persero) dapat dilihat pada gambar I.2 Grafik Data Rel Aus DAOP II tahun 2011-2014.



Gambar I.2 Grafik Data Rel Aus DAOP II tahun 2011-2014

Untuk meningkatkan keandalan kondisi jalan rel kereta api maka kegiatan perawatan perlu dilakukan secara tepat sehingga failure pada jalan rel dapat berkurang atau bahkan tidak terjadi. Perawatan yang dilakukan secara berkala bukanlah hal yang mudah untuk dilakukan mengingat pada panjangnya rel kereta dan jumlahnya yang cukup banyak di setiap resort yang dinaungi DAOP II PT.KAI (Persero), selain itu dibutuhkan tenaga kerja yang cukup banyak untuk melakukannya. Meski telah dilakukan kegiatan perawatan, frekuensi terjadinya kerusakan masih tetap tinggi yang dapat mempengaruhi biaya untuk maintenance. Untuk dapat mengatasi permasalah di atas, maka diperlukan suatu perencanaan inspeksi yang efisien namun juga tetap efektif sehingga didapatkan inspeksi rel yang optimal dan tidak mengeluarkan biaya yang besar karena permasalahan yang muncul adalah interval pemeriksaan rel yang tidak tepat dan tidak efisien menyebabkan masih tingginya jumlah rel yang aus dan mengakibatkan biaya maintenance yang meningkat.

2. Metodologi

2.1 Metode Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini didapatkan melalui :

1. Studi pustaka dan literatur, dilakukan untuk mengkaji teori dan konsep dasar keilmuan yang akan digunakan dalam penelitian ini seperti Risk Based Inspection, Remaining Life for Railway, dan Annual Equivalent Life Cycle Cost.
2. Studi lapangan, dilakukan untuk memperoleh data dan informasi penunjang yang dibutuhkan dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini dengan melakukan observasi langsung dan wawancara.

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi :

1. Data jumlah kerusakan rel kereta
2. Data panjang rel kereta koridor Cicalengka – Cibatu
3. Data waktu perbaikan dan waktu kerusakan
4. Data jenis rel kereta yang digunakan
5. Data passing tonnage (MGT)
6. Data biaya perawatan kereta
7. Data biaya perbaikan rel kereta
8. Data harga tiket kereta

2.2 Metode Pengolahan Data

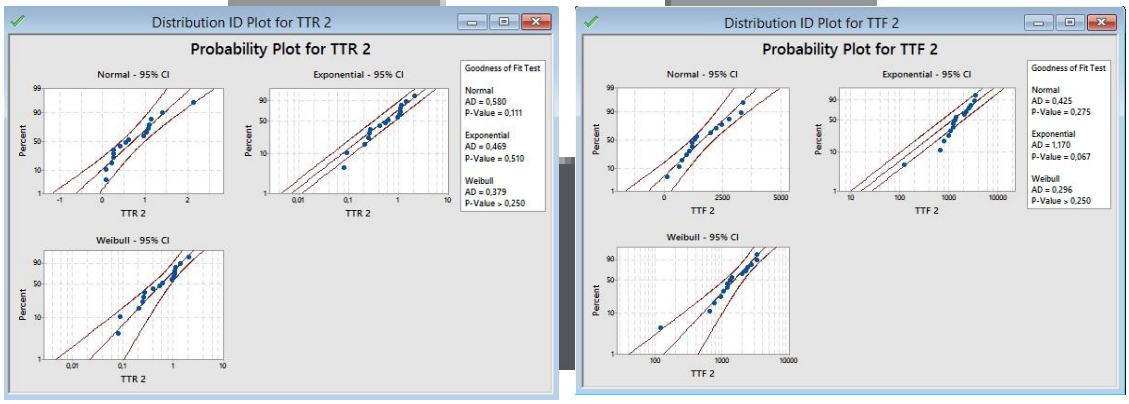
Data panjang sistem rel kereta dengan tingkat risiko yang paling tinggi menurut hasil wawancara berada pada koridor Cicalengka-Cibatu yang kemudian dibagi menjadi 60 bagian rel yang memiliki waktu kerusakan dan waktu perawatan yang berbeda-beda. Data waktu kerusakan dan perawatan tersebut digunakan untuk mencari nilai MTBF dan MTTR dari setiap bagian rel. Selanjutnya dilakukan perhitungan availability untuk setiap bagian rel kereta agar dapat mengetahui remaining life dari rel kereta tipe R.42 dan R.54. Selanjutnya akan dicari wantu interval inspeksi yang tepat untuk setiap bagian rel kereta agar. Hasil yang didapat dari perhitungan remaining life akan digunakan sebagai tolak ukur untuk perhitungan biaya yang nantinya akan dibandingkan dengan menggunakan metode LCC dengan pendekatan annual equivalent life cycle cost. Untuk perhitungan LCC terdapat dua komponen biaya penting yaitu sustaining cost dan acquisition cost. Selanjutnya hasil akhir dari perhitungan LCC akan didapatkan umur rel kereta yang paling minimum berdasarkan economic life limit. Perhitungan remaining life dan perhitungan biaya dihitung untuk interval tahunan.

3. Hasil dan Pembahasan

Rel kereta tipe R.42 dan R.54 yang memiliki risiko besar terjadi kerusakan menurut narasumber yaitu bagian jalan rel dan jembatan (JJ) PT. KAI ada pada koridoe Cicalengka-Cibatu memiliki panjang rel mencapai 28 km. Panjang rel tersebut dibagi menjadi 60 bagian rel kereta yang tersambung dari stasiun cicalengka hingga stasiun cibatu. Berdasarkan penentuan tersebut perusahaan ingin mengetahui sisa umur dari rel kereta baik itu tipe R.42 dan R.54 dan interval inspeksi yang tepat, serta biaya yang dikeluarkan untuk perawatan rel kereta.

3.1 Penentuan Distribusi TTF dan TTR

Pada tahap ini, dilakukan penentuan distribusi yang akan mewakili dari data TTF (Time to Failure) serta data TTR (Time to Repair) pada setiap bagian rel pada koridor Cicalengka – Cibatu. Penentuan disutribusi ini dilakukan menggunakan uji Anderson Darling dengan menggunakan software Minitab 17. Berikut ini adalah salah satu hasil uji distribusi TTF serta TTR untuk salah satu bagian rel pada tipe R.54 dengan menggunakan software Minitab 17 :

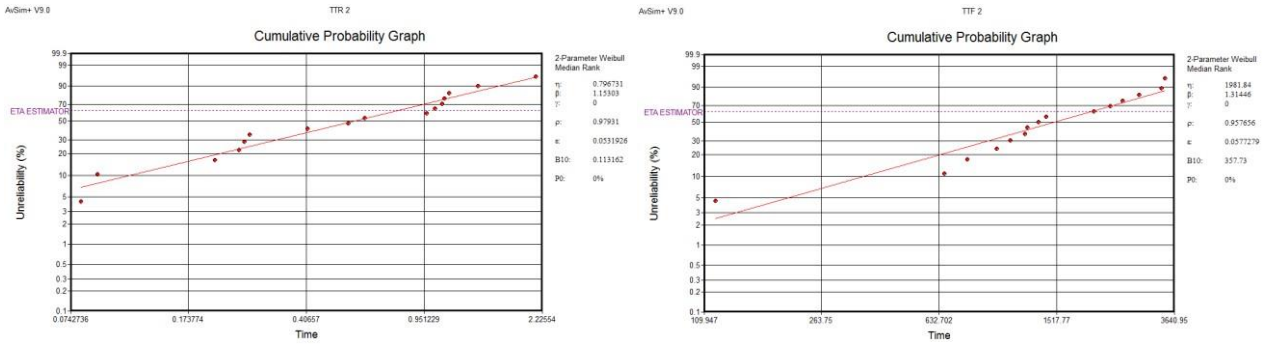


Gambar 3.1 Penentuan distribusi TTR dan TTF rel tipe R.54

Berdasarkan gambar di atas, didapatkan bahwa distribusi yang terpilih untuk TTR dan TTF adalah distribusi Weibull, dikarenakan telah memenuhi syarat yaitu memiliki AD terkecil dan P value > 0,05.

3.2 Plotting Distribusi TTF dan TTR

Plotting distribusi Time to Failure (TTF) dan Time to Failure (TTR) dilakukan pada keseluruhan data kerusakan dan data waktu perbaikan pada rel tipe R.42 dan R.54. Hasil dari plotting distribusi data waktu kerusakan adalah parameter distribusi yang mewakili masing-masing rel. Untuk melakukan plotting distribusi menggunakan software AvSim+ 9.0. Berikut adalah salah satu hasil plotting distribusi pada rel tipe R.54:



Gambar 3.2 Plotting Distribusi TTF dan TTR

Berdasarkan gambar di atas, didapatkan bahwa untuk distribusi Weibull memilikiparameter η dan β di mana untuk parameter untuk distribusi weibull pada data TTF disalah satu bagian rel tipe R.54 memiliki nilai η = 1981.84 dan β = 1.3144, sedangkan untuk parameter distribusi weibull pada data TTR disalah satu bagian rel tipe R.54 memiliki η = 0.7967 dan β = 1.153.

Berdasarkan penentuan parameter dan plotting distribusi TTF dan TTR di atas, data TTF dan TTR yang berdistribusi weibull dan meiliki β >1 berarti rel kereta memiliki kerusakan dan waktu perbaikan yang acak pada awalnya dan akan terus bertambah dan meningkat secara tajam hal ini disebabkan karena mulai memburuknya kondisi rel sehingga pada fase ini disebut pemakaian yang melebihi umur komponen atau berada pada fase wear-out.

3.3 Perhitungan Availability

Perhitungan availability dilakukan untuk mengetahui kesiapan dari rel kereta yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui sisa umur rel kereta. Tipe availability yang digunakan adalah inherent availability dikarenakan untuk mengetahui ukuran kesiapan suatu sistem atau peralatan saat dievaluasi dalam kondisi lingkungan yang ideal. Berikut contoh perhitungan availability untuk salah satu bagian rel tipe R.54 segmen 2 :

$$A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

MTBF Rel 1 = 2101.540, MTTR Rel 1 = 0.630

Sehingga,

$$A_I = \frac{2101.540}{2101.540 + 0.630} = 0.99970031 = 99.97\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, untuk rel tipe R.54 segmen 2 memiliki availability sebesar 99,97%, nilai ini akan digunakan dalam perhitungan penentuan remaining life rel kereta.

3.4 Perhitungan Remaining Life

Setelah menghitung MTTR dan MTBF serta *availability* untuk masing-masing bagian rel kereta, langkah selanjutnya adalah menghitung umur sisa dari rel kereta. *Remaining Life* adalah sisa umur dari suatu peralatan menuju ke akhir umur pakainya (end of useful life). Penentuan remaining life rel kereta sangat tergantung dengan berat rel kereta setiap meternya dan *Annual Tonnage Density* atau beban kereta yang ditahan rel setiap tahunnya. Berdasarkan penelitian sebelumnya , untuk dapat menentukan remaining life dari rel kereta dapat menggunakan formula berikut.

$$T = K \cdot W \cdot D^{0.565}$$

Untuk K atau kesiapan dari rel kereta agar dapat menjalankan fungsinya dapat menggunakan perhitungan *availability* dari setiap komponen. Perbedaan *availaiblity* akan mempengaruhi umur rel kereta. Contoh :

Rel Segmen 1, tipe R.54 pada KM 179+535 s.d. KM 180+665

Diketahui bahwa R.54 memiliki :

W = 54 kg, K = 0,9997 (availability rel 1), D = 3.6995

Sehingga,

T = K * *Weight of Rail* * Annual Tonnage Density^0.565

= 0,9997 * 54 * 3,6995^0.565

= 113.05 MGT

Berdasarkan ketentuan periode umur rel terkait dengan MGT yang didapatkan dari PT.KAI Indonesia, didapatkan bahwa 113.05 MGT = 21.25 tahun. Hasil perhitungan untuk rel tipe R.42 akan memiliki hasil yang berbeda karena memiliki availability, serta berat rel kereta yang berbeda pula. Untuk rel tipe R.42 berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan dengan cara yang sama dengan cara di atas didapatkan remaining life adalah 16,5 tahun.

3.5 Perhitungan Interval Inspeksi

Penentuan interval inspeksi setiap bagian rel dapat ditentukan menggunakan data MTBF untuk setiap segmen rel kereta. Berikut hasil perhitungan interval inspeksi untuk setiap segmen berdasarkan data MTBF dari masing-masing segmen rel kereta. Penentuan interval inspeksi selama periode waktu tertentu yang dipengaruhi oleh *useful life* (Moulbray, 1991) yang dilakukan dengan melihat nilai MTBF. Berdasarkan hasil *interview* dari bagian perawatan rel PT. KAI, kriteria *safety life limit* sebesar 0,3 dari nilai MTBF. Berikut contoh perhitungan bagian rel 1 tipe R.54.

MTBF Rel 1 Tipe R.54 = 2101.540, Kriteria safe life limit = 0,3

Sehingga, *Interval Inspection* = 0,3 x MTBF
= 0,3 x 2101.540
= 630,462 *hours*

Hasil interval inspeksi untuk bagian rel kereta akan berbeda-beda, karena nilai MTBF dari masing-masing rel juga berbeda.

3.6 Perhitungan Annual Equivalent Life Cycle Cost

Perhitungan annual equivalent LCC merupakan perhitungan total biaya keseluruhan sistem/komponen tahunan, mulai dari awal pembelian sampai dengan akhir hidup sistem/komponen, annual equivalent LCC dapat diaplikasikan dengan tujuan untuk menghitung biaya peralatan yang telah ada untuk masa yang akan datang menurut Edge & Irvine (1981). Perhitungan annual equivalent LCC dilakukan untuk n = 25 tahun dikarenakan hasil perhitungan umur sisa rel tipe R.42 dan R.54 maksimal 21,25 tahun, sehingga akan terlihat biaya terendah yang dikeluarkan untuk 25 tahun ke depan. Kemudian tingkat suku bunga atau discount rate yang digunakan sebesar 7% berdasarkan BI rate pada tahun 2013. Dan data biaya yang didapatkan yaitu data biaya pada tahun 2013 di PT. KAI persero. Untuk dapat mendapatkan total annual equivalent life cycle cost, perlu dilakukan perhitungan untuk annual sustaining cost dan annual acquisition cost.

3.6.1 Annual Sustaining Cost

Annual sustaining cost merupakan biaya yang harus dikeluarkan atas kepemilikan suatu perangkat atau mesin selama periode operasinya per tahun. Sustaining cost merupakan penjumlahan dari annual inspection cost, annual repair cost, dan annual failure cost. Untuk dapat mengetahui annual sustaining cost, perlu diperhitungkan terlebih dahulu ketiga komponen yang ada.

Setelah dilakukan perhitungan 3 komponen biaya yaitu *annual inspection cost*, *annual repair cost*, dan *annual failure cost* maka berikut perhitungan *annual sustaining cost* tahun pertama :

= Rp24.526.400

C_{ins}, n 1 = Rp 100.252.030

C_{rep}, n 1 = Rp 19.629.200.066

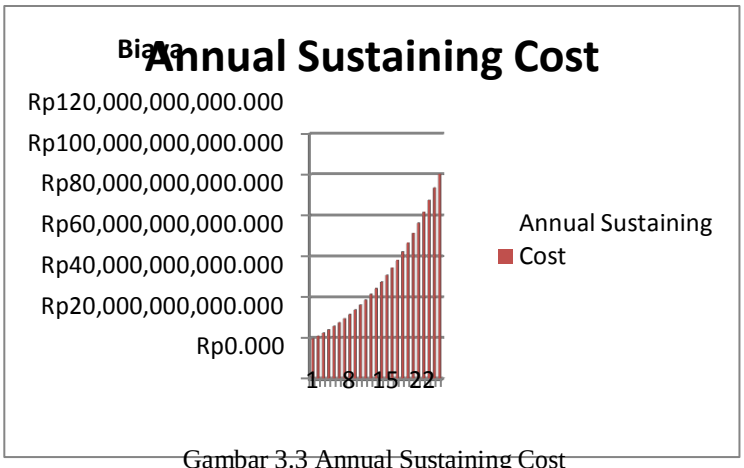
C_{fail}, n 1

Sehingga,

Sustaining cost = $C_{ins} + C_{rep} + C_{fail}$

Sustaining cost = Rp 24.526.400 + Rp 100.252.030 + Rp 19.629.200.066 = Rp 19.753.978.496

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa sustaining cost meningkat seiring bertambahnya umur mesin. Tingginya nilai sustaining cost ini dipengaruhi oleh inspection cost, repair cost serta failure cost. Hal ini dikarenakan biaya-biaya tersebut membutuhkan biaya material, peralatan dan gaji pekerja yang setiap tahun meningkat seiring dengan bertambahnya umur/usia pada rel kereta. Semakin bertambahnya umur rel kereta, maka semakin bertambah pula jumlah perawatan yang dilakukan karena rel kereta akan mengalami penurunan kualitas disebabkan setiap hari digunakan dan dilalui oleh berbagai macam kereta dengan beban kereta / passing tonnage yang berbeda-beda serta selalu meningkat setiap tahun. Grafik dari sustaining cost dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.3 Annual Sustaining Cost

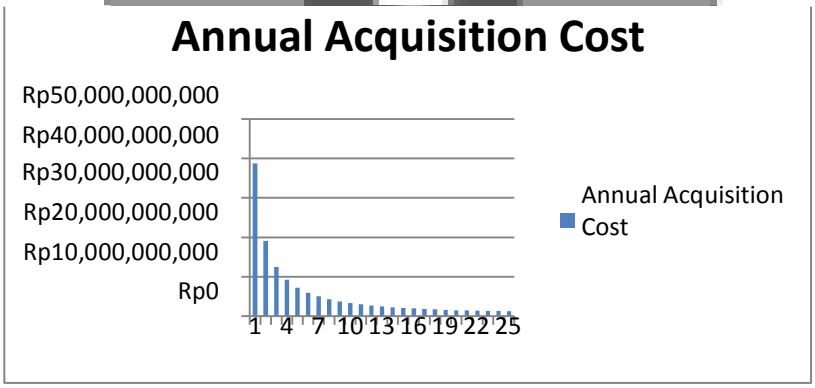
3.6.2 Annual Acquisition Cost

Acquisition cost merupakan biaya yang dikeluarkan pada awal pembelian mesin/sistem. Setelah melakukan perhitungan pada 2 komponen biaya yaitu *annual purchasing cost* dan *annual population cost*, berikut hasil perhitungan *annual acquisition cost* pada tahun pertama.

Annual purchasing cost = Rp 14.445.000.000
Annual population cost = Rp 24.231.960.000
Sehingga,
Annual acquisition cost = *Annual purchasing cost* + *Annual population cost*
Annual acquisition cost = Rp 14.445.000.000 + Rp 24.231.960.000 = Rp 38.676.960.000

Berdasarkan hasil perhitungan *purchasing cost*, didapatkan bahwa terjadi penurunan biaya, hal ini disebabkan karena purchasing cost dipengaruhi oleh *salvage value* yang merupakan nilai sisa yang telah habis masa pakainya. Rel kereta merupakan komponen yang memiliki nilai sisa karena apabila rel sudah habis masa pakainya, rel tersebut masih bisa digunakan dengan dibesi tuakan dan digunakan untuk keperluan yang lain. Namun, pada tahun pertama, purchasing cost memiliki nilai yang tinggi disebabkan belum adanya salvage value atau nilai sisa. Selain itu berdasarkan hasil perhitungan *population cost*, biaya yang dikeluarkan setiap periode untuk kepemilikan suatu komponen ini mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan jumlah rel kereta yang dibutuhkan tidak akan bertambah secara signifikan karena sudah besar di awal tahun.

Berikut grafik yang menggambarkan annual acquisition cost yang dipengaruhi oleh biaya purchasing dan population cost :

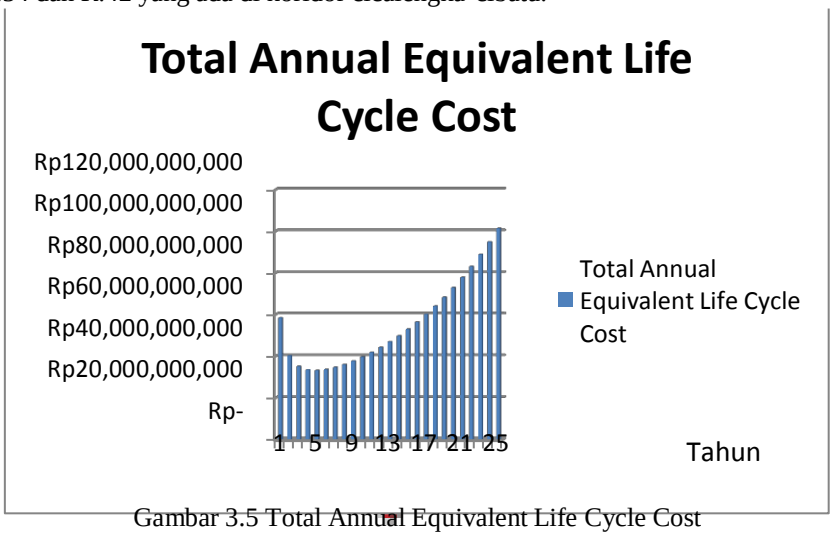


Gambar 3.4 Annual Acquisition Cost

3.6.3 Perhitungan Total Annual Equivalent LCC

Setelah melakukan perhitungan *annual sustaining cost* dan *annual acquisition cost* berdasarkan perhitungan annual equivalent, maka dapat dilakukan perhitungan *total annual equivalent life cycle cost*. Berikut perhitungannya :
Annual sustaining cost = Rp19.753.978.496
Annual acquisition cost = Rp 38.676.960.000
Sehingga,

Life Cycle Cost = Annual sustaining cost + annual acquisition cost
Life Cycle Cost = Rp19.753.978.496 + Rp 38.676.960.000 = Rp 58.430.938.496
Berdasarkan perhitungan *sustaining cost* dan *acquisition cost* dengan menggunakan tool *annual equivalent*, maka didapatkan total *annual equivalent life cycle cost* setelah dipengaruhi oleh discount rate sebesar 7%. Hasil dari perhitungan *annual equivalent life cycle cost* dapat menunjukkan jumlah dari biaya yang dikeluarkan untuk kepemilikan rel kereta dari awal pembelian hingga akhir masa pakai rel. Berikut grafik *total annual equivalent life cycle cost* untuk rel R.54 dan R.42 yang ada di koridor cicalengka-cibatu.



Gambar 3.5 Total Annual Equivalent Life Cycle Cost

4. Kesimpulan & Saran

Kesimpulan dari hasil penelitian tugas akhir yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Terjadi pertumbuhan kerusakan setiap tahunnya pada setiap batangan rel dikarenakan semakin meningkatnya laju kerusakan pada batangan rel seiring pertambahan jumlah MGT. Selama 3 tahun terjdi 1.238 kerusakan rel baik itu rel patah, rel retak maupun rel aus yang ada di koridor cicalengka-cibatu
2. *Remaining Life* untuk masing-masing jenis batangan rel adalah sebagai berikut :
   a. Umur sisa rel kereta tipe R.42 adalah 16,5 tahun dengan design life selama 50 tahun.
   b. Umur sisa rel kereta tipe R.54 adalah 21,25 tahun dengan design life selama 75 tahun.
3. Interval inspeksi berbeda untuk setiap bagian rel, disebabkan terdapat perbedaan nilai MTBF yang ada untuk setiap rel. Berikut interval inspeksi untuk tiap bagian rel.
4. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan *annual equivalent* LCC setelah dipengaruhi oleh tingkat suku bunga pertahun sebesa 7%, maka didapatkan total annual equivalent life cycle cost untuk sistem rel kereta di koridor Cicalengka-Cibatu terkecil adalah Rp 33.154.318.640

Saran bagi perusahaan :

1. Saran bagi PT. Kereta Api Indonesia (Persero) dalam melakukan pencatatan data kerusakan dan data perbaikan pada komponen rel kereta api lebih detail, tidak hanya sebatas pada waktu terjadinya kerusakan tetapi juga jenis kerusakan, ukuran kerusakan, dan waktu terjadinya gejala sebelum kerusakan.
2. Melakukan pendokumentasian terhadap data-data dengan mendetail.

Saran bagi penelitian selanjutnya :

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan ukuran-ukuran yang tepat terhadap setiap jenis kerusakan, sehingga dapat dilakuakn unsulan untuk waktu inspeksi dan kegiatan preventive maintenance yang lebih baik lagi.
2. Peneliti selanjutnya dapat merangkum biaya-biaya yang didapatkan dari perusahaan dengan lebih detail dan akurat agar dapat menggambarkan kondisi perusahaan secara nyata.

Daftar Pustaka

[1] Blanchard, Benjamin S,1990, Systems Engineering And Analysis, Prentice Hall, USA
[1] Daryus, A, 2008, Manajemen Pemeliharaan Mesin Universitas Darma Persada, Jakarta.
[2] Dhillon, B. S, 2006, *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*., Taylor & Francis, BocaRaton.
[3] Dwiatmoko, Hermanto, 2013, *Keselamatan Jalur & Bangunan Kereta Api*, Jakarta, Prenada Media Group.
[4] Kurniawan, Fajar, 2013, Manajemen perawatan industri, Jakarta, Graha Ilmu
[5] Heizer, Jay and Barry Render, 2001, Operation Management, 6th edition, Prentice-Hall Inc, New Jersey.