

**STUDY OF RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE (RCM) ON RAILWAY NETWORK**

Herlien D. Setio<sup>1</sup>, Dono Ari Bawono<sup>2</sup>, Sangriyadi Setio<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Staf Pengajar, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung. email: herlien@si.itb.ac.id

<sup>2</sup> Asisten Peneliti, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung

<sup>3</sup> Staf Pengajar, Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung

---

**ABSTRACT**

*Up to now, railway network maintenance in Indonesia is carried out on bases of routine maintenance and is not yet completed with reliability based maintenance which is known for its capability in reducing structural failure risk. This may be one cause why the railway accident level in Indonesia is still very high. Due to increasing of railway system complexity, a traditional preventif maintenance method which is based only on knowledge and experiences is not sufficient any longer. A maintenance method which is based on reliability must be developed in the railway track network to achieve zero level accident. Reliability Centered Maintenance – RCM is presented and elaborated in this paper. RCM is a systematic approach to systems functionality, failures of that functionality, causes and effects of failures, and infrastructures affected by failures. Once the failures are known, the consequences of them must be taken into account. RCM executes systematically the analysis of failure impact of each system component, and by using a diagram of logics, RCM builds a proper maintenance procedure and decides maintenance actions to be done. The outputs of the RCM analysis are maintenance work priority sequences for the maintenance department; operational procedure for the operators; and a list of works to be done facing to situation where an equipment or system component fails to perform as expected. RCM is a promising technique because of several factors: technical insights obtained were better than the existing, so that several maintenance processes could be revisited and adjusted, the interdisciplinary approach used to make the analysis was very enriching and very encouraging for maintenance staff, and RCM allowed to achieve well-documented analysis and clear decision diagrams.*

*Keywords: Maintenance, Reliability Centered Maintenance, Railway*

**PENDAHULUAN**

Pembangunan jalan rel kereta api di Jawa dimulai pada tahun 1864 pada masa pemerintahan kolonial Belanda oleh perusahaan kereta api swasta NV. NISM (Nederlands Indische Spoorweg Maatschappij) dari Semarang Gudang ke Tanggung sepanjang 14 kilometer. Keberhasilan NV. NISM dalam membangun jalan rel kereta api sepanjang 110 km antara Semarang-Surakarta pada tahun 1870 telah memberikan motivasi pada banyak investor dan pemerintah untuk membangun jalan rel kereta api pada daerah-daerah lainnya. Pembangunan jalan rel kereta api selama periode 1864 – 1900 bertumbuh secara pesat, dari panjang 110 km pada tahun 1870, 405 km pada tahun 1880, 1.427 km pada tahun 1890, dan menjadi 3.338 km pada tahun 1900. Sampai pada tahun 1939, panjang jalan rel kereta api di Indonesia mencapai 6.811 km. Jalur utama jalan rel kereta api dari barat ke timur Jawa terdiri dari dua jalur: Jalur Utara dan Jalur Selatan. Berdasarkan UU No. 13 tahun 1992 tentang Perkeretaapian, Prasarana kereta api seperti jalan rel kereta api, stasiun, pintu perlintasan, jembatan merupakan milik pemerintah, sedangkan sarana kereta api merupakan milik PT. Kereta Api. Sesuai dengan UU, pemerintah mempunyai kewajiban menyediakan dan merawat

prasarana kereta api. Penyediaan dan perawatan prasarana kereta api dapat dilimpahkan kepada badan penyelenggara atau pada badan usaha lain dengan bekerjasama dengan badan penyelenggara. Menurut Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 52 tahun 2000, Badan Penyelenggara pengoperasian dan perawatan adalah badan usaha milik negara yang melaksanakan penyelenggaraan angkutan kereta api yaitu badan hukum Indonesia. Prasarana kereta api yang dioperasikan wajib mempunyai kehandalan dan memenuhi persyaratan keselamatan yang dibuktikan melalui pemeriksaan dan pengujian.

Pada saat ini, perawatan jaringan jalan rel kereta api di Indonesia dilakukan hanya sebatas pada perawatan rutin dan lebih didominasi oleh perawatan *breakdown* dengan perbaikan dilakukan apabila telah terjadi kecelakaan atau kegagalan fungsi. Akibatnya tingkat kecelakaan kereta api di Indonesia sangat tinggi yang mengakibatkan kerugian nyawa dan materi yang cukup besar.

Sedangkan perawatan rutin preventif (*Preventive maintenance/ PM*) merupakan salah satu kebijakan perawatan yang diterapkan secara luas dan terbukti dapat menurunkan *downtime* peralatan. Tindakan-tindakan yang dilakukan dalam program PM ini merupakan tindakan reaktif terhadap kerusakan yang terjadi. Akibat dari tindakan tersebut

yang selalu dilakukan secara rutin sering menyebabkan suatu tindakan dilakukan tanpa diketahui lagi asal mula kenapa tindakan tersebut dilakukan, sehingga menyebabkan banyak tindakan dalam perawatan rutin preventif merupakan suatu pemborosan. Perencanaan perawatan rutin yang dilakukan hanya dengan menggunakan metode perawatan tradisional berdasarkan pada pengetahuan dan pengalaman saja sudah tidak memadai lagi mengingat kerumitan sistem jalan rel kereta api.

Mengingat, kereta api merupakan mode transportasi massal yang paling efisien dan efektif, dan merupakan salah satu mode transportasi penting dalam sistem transportasi terpadu, maka pengelola kereta api dituntut untuk memberikan pelayanan dengan kualitas optimum dengan harga yang murah sehingga memaksa perusahaan kereta api melakukan optimasi pada setiap tahapan dari seluruh proses termasuk metode perawatannya. Untuk tujuan tersebut, pada tulisan ini, akan diperkenalkan metode perawatan berbasis kehandalan (*Reliability Centered Maintenance – RCM*) untuk keperluan perawatan jaringan jalan rel kereta api.

*RCM* adalah metode pemeliharaan yang menentukan langkah-langkah yang harus diambil untuk menjamin peralatan bekerja sesuai dengan fungsinya. Metode *RCM* meliputi pembuatan kegagalan fungsi yang kemudian akan dicari mode kerusakannya. Dengan adanya mode kerusakan, penyebab kerusakan akan ditentukan sehingga dapat dianalisis pengaruh kerusakan terhadap unjuk kerja peralatan.

Tujuan dari penggunaan *RCM* (Bachrun, 2005) adalah untuk: (1) Memperpanjang usia penggunaan aset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan, dan isinya), (2) Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi (jasa) dan mendapatkan laba investasi maksimum yang mungkin, (3) Menjamin kesiapan operasional peralatan (*availability*) dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran, unit penyelamat, dan sebagainya, (4) Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

Metode *RCM* telah digunakan sejak tahun 60-an oleh industri penerbangan dan telah terbukti dapat mengurangi kecelakaan secara drastis.

#### **PERAWATAN BERBASIS KEHANDALAN (*RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE-RCM*)**

*RCM* disebut Perawatan Berbasis Kehandalan karena *RCM* mengakui bahwa perawatan tidak dapat bertindak lebih selain dari menjamin agar aset terus menerus mencapai kemampuan dasarnya atau

kehandalan bawaannya untuk memenuhi fungsi-fungsi spesifiknya.

Fungsi yang diharapkan dari setiap aset dapat didefinisikan dengan berbagai cara, tergantung pada konteks operasinya. Pengertian fungsi yang diharapkan mengandung harapan-harapan prestasi spesifik yang menjurus ke definisi formal dari *Reliability-centred Maintenance*, sebagai berikut: *Reliability-centred Maintenance adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan kebutuhan-kebutuhan perawatan dari sembarang aset fisik dalam konteks operasinya*

Tujuan dari *RCM* adalah mengidentifikasi kebijakan-kebijakan yang harus diterapkan untuk mengendalikan mode-mode kegagalan yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari sembarang aset fisik pada suatu konteks operasi tertentu.

Proses *RCM* harus menjamin seluruh tujuh pertanyaan untuk setiap aset yang dianalisis dijawab dengan memuaskan (Bahrun, 2005 ; Setio, 2006a) dengan urutan sebagai berikut :

1. Apa fungsi dan standar kinerja aset yang diinginkan dalam konteks operasinya?
2. Dengan cara seperti apa saja aset dapat gagal memenuhi fungsinya?
3. Apa yang menyebabkan masing-masing kegagalan fungsi?
4. Apa yang terjadi pada setiap kegagalan yang timbul?
5. Apa saja pengaruh dari kegagalan ini?
6. Apa yang harus dilakukan untuk mencegah setiap kegagalan?
7. Apa yang harus dilakukan bila cara pencegahan tidak dapat ditemukan?

Untuk menjawab setiap dari pertanyaan-pertanyaan terdahulu secara memuaskan informasi berikut harus dikumpulkan, dan keputusan-keputusan berikut harus dibuat. Seluruh informasi dan keputusan harus didokumentasikan sedemikian rupa yang memungkinkan informasi dan keputusan secara penuh tersedia bagi dan disetujui oleh pemilik atau pengguna aset.

#### **Fungsi dan Standar Prestasi (*Performance Standards*)**

Perawatan dimaksudkan untuk menjamin agar aset terus menerus memenuhi fungsi yang diharapkan, maka tujuan perawatan untuk sembarang aset hanya dapat ditetapkan dengan mendefinisikan apa saja fungsi ini, bersama-sama dengan tingkat prestasi fungsi yang diharapkan. Dengan alasan ini, proses *RCM* dimulai dengan mendefinisikan fungsi dan standar prestasi dari setiap aset dalam konteks operasinya. *RCM* juga sangat menekankan pada kebutuhan untuk mengetahui jumlah standar-standar prestasi bila dimungkinkan. Standar-standar ini

mencakup output, kualitas produk, customer service, isu lingkungan, biaya operasi dan keselamatan.

### **Kegagalan Fungsional (*Functional Failures*)**

Tujuan perawatan didefinisikan oleh fungsi-fungsi dan hubungan harapan prestasi dengan aset yang ditinjau. Tetapi bagaimana sebenarnya perawatan mencapai tujuan ini, kita perlu mengidentifikasi kegagalan apa yang dapat timbul.

Proses *RCM* melakukannya pada dua tingkatan. Pertama, dengan menanyakan bagaimana komponen dapat gagal dalam memenuhi fungsinya, kemudian kedua dengan menanyakan kemungkinan apa yang menyebabkan kehilangan fungsi tersebut.

Suatu cara bagaimana suatu komponen dapat gagal dalam memenuhi fungsi yang diharapkan dikenal sebagai kegagalan fungsional, yang didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu aset untuk memenuhi standar prestasi yang diinginkan. Jelas ini hanya dapat diidentifikasi setelah fungsi dan standar prestasi aset telah didefinisikan.

### **Mode Kegagalan (*Failure Modes*)**

Apabila setiap kegagalan fungsional telah diidentifikasi, langkah berikutnya adalah mencoba mengidentifikasi mode kegagalan yang diperkirakan akan menyebabkan hilangnya fungsi. Ini memungkinkan kita untuk mengerti secara tepat apa yang sedang kita cari untuk mencegahnya. Langkah ini sangat penting untuk mengidentifikasi penyebab dari setiap kegagalan dengan rincian yang cukup untuk menjamin bahwa waktu dan usaha tidak sia-sia saat mencoba menangani gejala (*symptoms*), bukan penyebabnya (*causes*). Di sisi lain yang tidak kalah pentingnya adalah untuk menjamin agar waktu tidak sia-sia untuk analisis yang terlalu rinci.

### **Efek-Efek Kegagalan (*Failure Effects*)**

Pada waktu mengidentifikasi setiap mode kegagalan, efek-efek kegagalan juga tercatat. Ini menjelaskan apa yang akan terjadi apabila mode kegagalan memang terjadi. Mencakup kejadian-kejadian seperti *downtime*, efek pada kualitas produk, bukti bahwa kegagalan memang terjadi, langkah koreksi yang mungkin, dan ancaman terhadap keselamatan atau lingkungan. Langkah-langkah ini memungkinkan untuk menetapkan seberapa banyak pengaruh dari setiap kegagalan, dan seberapa tinggi tingkat perawatan pencegahan yang dibutuhkan. Proses untuk mengidentifikasi fungsi, kegagalan fungsional, mode kegagalan dan efek kegagalan memberikan hasil yang mencengangkan dan kadang-kadang ada peluang yang sangat menguntungkan untuk memperbaiki prestasi dan keselamatan, dan juga untuk mengeliminasi ketidakefektifan

### **Konsekuensi Kegagalan (*Failure Consequences*)**

Analisis yang rinci pada suatu industri bisa diperoleh banyak sekali kemungkinan mode kegagalan. Masing-masing kegagalan ini dapat mempengaruhi organisasi, tetapi untuk setiap kasus, efek-efeknya berbeda. Mereka dapat mempengaruhi operasi, kualitas produk, customer service, keselamatan atau lingkungan. Konsekuensi-konsekuensi ini sangat mempengaruhi sampai sejauh mana kita mencoba mencegah kerusakan. Bila kegagalan memiliki konsekuensi yang serius, kita akan dengan sekuat tenaga mencoba untuk mencegahnya. Di lain pihak, bila pengaruhnya kecil atau tidak ada sama sekali, maka kita dapat memutuskan untuk tidak melakukan perawatan pencegahan di luar pekerjaan membersihkan dan melakukan pelumasan rutin.

Salah satu kekuatan *RCM* adalah *RCM* mengakui bahwa konsekuensi kegagalan jauh lebih penting dibandingkan dengan karakteristik tekniknya. Kenyataannya, *RCM* mengakui bahwa satu-satunya alasan untuk melakukan perawatan pencegahan tidaklah hanya mencegah kegagalan sebagaimana adanya, tetapi menghindari atau sedikit-dikitnya menurunkan konsekuensi-konsekuensi kegagalan.

Proses *RCM* tidak hanya mengakui pentingnya konsekuensi kegagalan dalam pengambilan keputusan dalam perawatan, *RCM* juga mengelompokkan konsekuensi-konsekuensi ini ke dalam empat kelompok, sebagai berikut: (a) Konsekuensi kegagalan tersembunyi, (b) Konsekuensi keselamatan dan lingkungan, (c) Konsekuensi operasional, (d) Konsekuensi non-operasional.

*RCM* menggunakan kategori-kategori ini sebagai dasar dari kerangka strategis untuk proses pengambilan keputusan dalam perawatan. Dengan mereview secara terstruktur konsekuensi-konsekuensi dari setiap mode kerusakan dalam istilah-istilah tersebut diatas, *RCM* mengintegrasikan tujuan-tujuan operasional, lingkungan dan keselamatan dari fungsi perawatan. Ini akan membantu manajemen untuk mencapai keselamatan produksi dan perawatan. *RCM* memfokuskan perhatian pada tugas-tugas perawatan yang sangat mempengaruhi prestasi organisasi, dan berusaha menghindarkan mereka dari pengaruh yang hanya sedikit atau tidak ada sama sekali.

Proses *RCM* pada tahapan ini menanyakan apakah setiap kegagalan memiliki konsekuensi yang berarti. Bila tidak, maka keputusan umum yang diambil adalah tidak ada perawatan pencegahan. Bila ya, maka langkah berikutnya menanyakan usaha pencegahan apa (bila ada) yang harus dilaksanakan.

## Tugas-Tugas Pencegahan

Cara terbaik untuk mengoptimalkan ketersediaan dari sebuah alat adalah dengan melakukan beberapa jenis perawatan pencegahan secara rutin. RCM mengakui tiga kategori utama dalam tugas-tugas pencegahan, sebagai berikut:

- a) Tugas-Tugas Kondisi (*on-condition*) terjadwal.
- b) Tugas-Tugas Pemulihan (*restoration*) terjadwal.
- c) Tugas-Tugas Pembuangan (*discard*) terjadwal.

## Tugas-Tugas Standar

Apakah suatu tugas pencegahan layak secara teknis atau tidak, diatur oleh karakteristik teknis dari tugas dan dari kerusakan yang ingin dicegahnya. Apakah tugas ini bermanfaat untuk dilakukan, diatur oleh seberapa baik tugas ini menangani konsekuensi-konsekuensi kerusakan. Bila tugas pencegahan yang layak secara teknis dan bermanfaat tidak ditemukan maka tugas standar yang harus diambil, tergantung pada konsekuensi-konsekuensi kerusakannya.

## IMPLEMENTASI RCM

Proses RCM melibatkan tujuh pertanyaan dasar. Dalam prakteknya, orang-orang perawatan tidak dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan ini semua dengan mudah. Hal ini disebabkan kebanyakan atau hampir seluruh dari jawaban-jawaban hanya dapat diberikan oleh orang-orang produksi atau operasi, terutama untuk pertanyaan-pertanyaan yang berkaitan dengan masalah fungsi, prestasi yang diharapkan, efek-efek kegagalan dan konsekuensi-konsekuensi kegagalan.

Untuk alasan ini, review terhadap kebutuhan perawatan untuk sembarang aset harus dilakukan oleh tim kecil yang melibatkan sedikitnya satu orang dari fungsi perawatan dan satu orang dari fungsi operasi, yaitu orang yang melakukan tugas dan orang yang mengatur mereka. Secara umum, kelompok itu tidak boleh kurang dari 4 dan tidak lebih dari 7 orang, idealnya adalah 5 atau 6 orang. Senioritas dalam kelompok itu tidak menjadi permasalahan tetapi mereka harus memiliki pengetahuan yang menyeluruh dari aset yang sedang direview. Setiap anggota kelompok harus telah dilatih

Pemanfaatan kelompok ini tidak saja memungkinkan bagi manajemen untuk memiliki akses terhadap pengetahuan dan kepakaran dari setiap anggota kelompok secara sistematis, tetapi anggota kelompok sendiri mendapatkan keuntungan untuk memahami lebih dalam lagi tentang aset dalam konteks operasionalnya.

## Analisis RCM

Di dalam melakukan analisis perawatan menggunakan RCM akan dilakukan kegiatan-

kegiatan sebagai berikut [Bachrun dan Rahmat (2005, Setio (2006a), Setio (2006b)]:

1. Inventarisasi seluruh komponen infrastruktur dari bagian yang paling umum sampai yang paling detail.
2. Menghitung prioritas pada setiap bagian dari infrastruktur.
3. Analisis mode kegagalan dan dampaknya, dengan melakukan:
  - a. Menetapkan dan menentukan fungsi dari setiap komponen dari yang paling umum sampai yang paling detail.
  - b. Menguraikan kegagalan fungsi yang mungkin terjadi dari setiap komponen.
  - c. Menguraikan bagaimana suatu kegagalan dapat terjadi pada komponen
  - d. Menguraikan dampak yang disebabkan oleh kegagalan tersebut
  - e. Menentukan tindakan Perawatan pencegahan yang dapat mengantisipasi kegagalan fungsi yang mungkin terjadi pada komponen
4. Menggunakan diagram logika RCM untuk memilih perawatan yang sesuai atau tindakan engineering dan menentukan frekuensi pekerjaan. Diagram logika RCM dapat dilihat pada Gambar 1.
5. Mendokumentasikan hasil analisis yang telah dilakukan dan melakukan pengawasan pada program tersebut.

## STUDI KASUS

Sebagai ilustrasi metode RCM ini pada perawatan jalan rel, diambil data-data dari PT KAI untuk koridor Cikampek-Bandung-Tasikmalaya dan koridor Sukabumi-Cianjur-Padalarang sebagai studi kasus. Analisis dilakukan dengan tahapan sebagai berikut: inventarisasi, perhitungan nilai dan urutan prioritas perawatan, analisis mode kegagalan dan dampaknya sebagai panduan untuk departemen perawatan. Untuk mempermudah penerapan RCM pada perawatan jalan rel kereta api, maka dibuat perangkat lunak Sistem Informasi Manajemen Perawatan.

### Inventarisasi Infrastruktur Jalan Rel Kereta Api

Mengidentifikasi seluruh bagian sistem, dari bagian yang terbesar sampai bagian yang paling detail. Untuk mengetahui tingkat kepentingan dari setiap *section* jaringan jalan rel kereta api yang dapat dilakukan dengan melihat dari sudut pandang fungsi, untuk mengetahui secara detail pemasangan sistem pada jalur rel termasuk kegagalan yang mungkin terjadi, penyebab kegagalan, pekerjaan perawatan serta hal-hal lainnya, maka aplikasi RCM dilakukan secara keseluruhan maupun sebagian seperti:

1. Jalur (Daerah Operasi): Jalan rel kereta api pada wilayah Daerah operasi.
2. Bagian (Koridor)
3. Sistem: jalan rel.
4. Substansi: (a) Struktur jalan rel atas dan (b) Struktur jalan rel bawah.
5. Item yang akan dirawat: (a) Rel, (b) Penambat, (c) Bantalan dan (d) Balas, (e) Subbalas, (f) Tanah dasar.

### Menghitung Prioritas pada Setiap Bagian dari Infrastruktur

Dalam menghitung prioritas pekerjaan perawatan pada setiap koridor, dapat dilakukan

dengan mengklasifikasikan setiap koridor berdasarkan parameter-parameter yang menjadi pertimbangan prioritas. Parameter-parameter tersebut mengidentifikasi menjadi 2 bagian besar, yaitu (1) Parameter-parameter yang menunjukkan nilai kekritisan suatu koridor dan (2) Parameter-parameter yang menunjukkan nilai konsekuensi kegagalan. Yang keduanya apabila dijumlahkan menjadi suatu nilai yang menunjukkan prioritas dari suatu koridor. Untuk menghitung nilai kekritisan pada setiap koridor ditentukan oleh parameter-parameter yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Nilai Kekritisan pada Setiap Koridor

Parameter dalam Perhitungan	Deskripsi dari Parameter	Klasifikasi Kekritisan			
		Nilai 1	Nilai 2	Nilai 3	Nilai 4
Teknologi	Jenis dari teknologi yang akan dipergunakan	Mekanik	Elektro-Mekanik	Elektrik	Elektronik
Kepadatan Lalu Lintas	Jumlah sirkulasi kereta api dalam 1 harinya	1 s/d 20	20 s/d 60	60 s/d 200	> 200
Pengembalian	Pengembalian model dari penggunaan aset	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat tinggi
Ketersediaan	Berapa jam dioperasikannya?	6 jam	12 jam	18 jam	24 jam
Pengguna	Banyaknya penumpang yang melalui jalur tersebut?	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat tinggi
Perawatan	Kerumitan dalam melakukan perawatan	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat tinggi
Biaya	Biaya perawatan dalam 1 tahun	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat tinggi
Lingkungan	Dampak lingkungan yang terjadi apabila kegagalan terjadi	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat tinggi
Keselamatan	Resiko terjadi kecelakaan pada manusia	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat tinggi

- a. Teknologi, yang dimaksud adalah teknologi persinyalan jalan rel kereta api pada setiap koridor. Teknologi ini yang menentukan waktu pelayanan sinyal sehingga akan mempengaruhi kapasitas lintas jalan rel kereta api. Semakin rendah kemampuan teknologi sinyal maka kapasitas lintas jalan rel akan semakin rendah dan semakin tinggi kemampuan teknologi persinyalan maka kapasitas lintasnya semakin tinggi. Sehingga apabila terjadi kegagalan pada koridor dengan teknologi semakin tinggi, maka akan mempengaruhi perjalanan kereta api lebih banyak, oleh karena itu harus diprioritaskan.
- b. Kepadatan lalu lintas, yang dimaksud adalah kepadatan lalu lintas kereta api pada setiap koridor sepanjang tahun dapat dibaca pada grafik perjalanan kereta api wilayah daerah operasi yang berisi frekuensi perjalanan seluruh stasiun yang terdapat pada setiap koridor. Rata-rata frekuensi setiap stasiun pada setiap koridor dijumlahkan, sehingga didapat total frekuensi perjalanan pada setiap koridornya.
- c. Pengembalian, yang dimaksud adalah banyaknya pendapatan dari kereta api komersial yang diperoleh pada setiap koridor. Yang dapat dibaca dari buku okupansi tahunan PT KAI. Pengembalian tersebut dipergunakan sebagai dana untuk operasi dan perawatan infrastruktur prasarana maupun sarana kereta api, walaupun jumlahnya tidak mencukupi untuk keperluan tersebut. Oleh karena itu setiap tahunnya PT KAI mengajukan dana operasi dan perawatan kepada pemerintah yang dilakukan dengan memberikan laporan keuangan dan kondisi infrastruktur sarana dan prasarana kereta api.
- d. Ketersediaan, yang dimaksud adalah lamanya jalan rel pada setiap koridor dioperasikan dalam satu hari. Semakin lama pengoperasian, semakin sulit pengerjaan perawatan sehingga pekerjaan pada koridor tersebut harus diprioritaskan.
- e. Pengguna, yang dimaksud adalah banyaknya penumpang yang dilayani pada setiap koridor. Yang dihitung dari jumlah seluruh penumpang dari setiap nama kereta api komersial pada setiap

- koridor dibagi dengan panjang jalan rel pada setiap koridornya.
- Perawatan, yang dimaksud adalah kerumitan dalam melakukan perawatan jalan rel kereta api pada setiap koridor. Kerumitannya tergantung panjang daerah perawatan, panjang lengkung (semakin kecil radius lengkung jalan rel, semakin rumit pekerjaan perawatannya) dan waktu pengoperasian jalan rel kereta api pada koridor tersebut.
  - Biaya Perawatan, yang dimaksud adalah biaya perawatan yang didapat dari pengajuan dana operasi dan perawatan dari PT. KAI kepada pemerintah yang dibuat untuk menarik dana pemerintah yang dipergunakan untuk perawatan jalan rel kereta api sepanjang tahun.
  - Lingkungan, yang dimaksud adalah dampak lingkungan yang terjadi apabila kegagalan dari item jalan rel yang dirawat terjadi. Dampaknya tidak secara langsung pada lingkungan, hanya berdampak secara langsung kepada manusia sebagai penumpangnya. Karena itu nilai

kekritisannya akibat parameter lingkungan pada setiap koridor adalah rendah.

- Keselamatan, yang dimaksud adalah resiko kecelakaan pada setiap koridor yang dipengaruhi oleh banyaknya titik rawan longsor/ambles, banyaknya titik rawan banjir, dan banyaknya titik rawan kecelakaan di persimpangan pada setiap koridor.

Dari seluruh nilai klasifikasi parameter yang mempengaruhi nilai kekritisannya dijumlahkan dengan menggunakan Persamaan 1, sehingga didapat nilai prioritas akibat kekritisannya.

$$c = \sum_{i=1}^n F_i \quad (1)$$

dimana:

$c$  = Nilai kekritisannya

$F$  = Nilai Bobot parameter

$n$  = Jumlah parameter

Untuk menghitung nilai konsekuensi kegagalan dari suatu koridor ditentukan oleh parameter-parameter yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Konsekuensi Kegagalan pada Setiap Koridor

No.	Parameter (Notasi)	Kriteria Parameter	Nilai Konsekuensi Kegagalan	Konsekuensi Kegagalan
1.	<b>Keselamatan (S)</b>	Beberapa meninggal	100	Bencana
		Satu meninggal, beberapa orang cedera	60	Kritis
		Luka ringan	20	Batas aman
		Tidak ada yang terluka	5	Tidak penting
2.	<b>Ekonomi (C)</b>	> 2 milyar rupiah	25	Bencana
		> 1 milyar rupiah	10	Kritis
		> 60 juta rupiah	5	Batas aman
		< 60 juta rupiah	1	Tidak penting
3.	<b>Ketersediaan (D)</b>	> 8 jam perbaikan, lebih dari 1 kereta terhambat tidak bisa jalan	40	Bencana
		> 8 jam perbaikan, lebih dari 1 kereta terhambat	25	Kritis
		Penundaan 30 menit	8	Batas aman
		Penundaan 10 menit	2	Tidak penting
4.	<b>Probabilitas (P)</b>	Kemungkinan terjadinya kegagalan sangat besar	10	Sering
		Mungkin terjadi	6	Mungkin
		Bukan merupakan urutan kegagalan, tetapi pernah terjadi	3	Sekali-kali
		Terjadi tidak setiap tahun, tetapi ada kemungkinan terjadi	2	Terkendali
		Tidak pernah terjadi tetapi ada kemungkinan terjadi	1	Tidak mungkin
Hampir tidak mungkin terjadi	0,5	Tidak masuk akal		

- Keselamatan, yang dimaksud adalah nilai resiko kecelakaan yang terjadi setiap tahunnya, angka ini didapat dari daftar peristiwa luar biasa yang terjadi pada setiap koridor.
- Ekonomi, yang dimaksud adalah nilai kerugian yang diderita oleh PT KAI dihitung dari kehilangan pendapatan akibat penundaan

keberangkatan kereta api, yang diasumsikan pelaksanaan pekerjaan perawatan dilakukan dalam satu hari sehingga nilai kerugian diasumsikan hilangnya pendapatan satu hari. Pada jalur ganda keberangkatan dapat dilakukan dengan mengurangi frekuensi transportasi, sehingga nilai kerugian diasumsikan hilangnya pendapatan setengah hari.

- c. Ketersediaan, yang dimaksud adalah lamanya penundaan keberangkatan dan perjalanan kereta api apabila terjadi kegagalan. Dikarenakan sistem yang ada di Indonesia, maka diasumsikan kerusakan jalan rel kereta api memerlukan waktu perawatan lebih dari 8 jam dan menyebabkan hambatan sehingga kereta tidak dapat beroperasi.
- d. Probabilitas, yang dimaksud adalah nilai kemungkinan terjadinya kegagalan pada setiap koridor jalan rel kereta api dalam setahun. Probabilitas kegagalan dilakukan dengan menghitung kuantitas kegagalan sepanjang tahun sebelumnya yang terjadi akibat kegagalan pada jalan rel pada setiap koridor wilayah arah operasi.

Dari seluruh nilai klasifikasi parameter yang mempengaruhi nilai konsekuensi kegagalan dihitung dengan menggunakan Persamaan 2, sehingga didapat nilai prioritas akibat kekritisan.

$$R = (S + C + D) \frac{P}{MTBF} \quad (2)$$

dimana:

R = Nilai Konsekuensi Kegagalan

S = nilai keselamatan

C = nilai ekonomi

D = nilai ketersediaan

P = nilai probabilitas

MTBF = Mean Time Between Failure

Dari perhitungan, akan diperoleh urutan prioritas pekerjaan perawatan pada setiap koridor jalan rel kereta api seperti diperlihatkan pada Tabel 3.

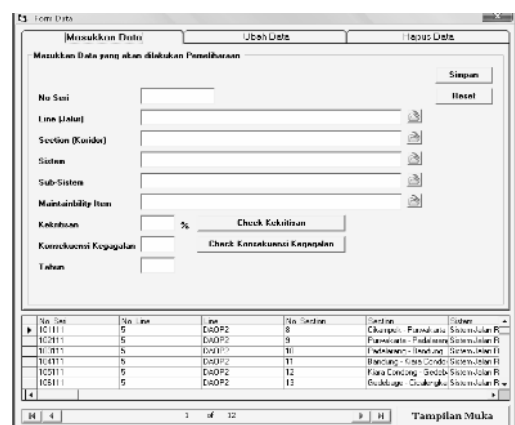
Urutan prioritas pekerjaan perawatan didapat dari penjumlahan nilai kekritisan dan nilai konsekuensi kegagalan. Semakin besar jumlah nilai tersebut, semakin pekerjaan perawatan pada koridor tersebut diprioritaskan. Sebaliknya semakin kecil jumlah nilai tersebut, semakin pekerjaan perawatan pada koridor tersebut dapat ditunda untuk mengerjakan pekerjaan perawatan pada koridor lainnya.

Tabel 3. Urutan Prioritas Pekerjaan Perawatan pada Setiap Koridor Jalan Rel Kereta Api (Herlien, 2007)

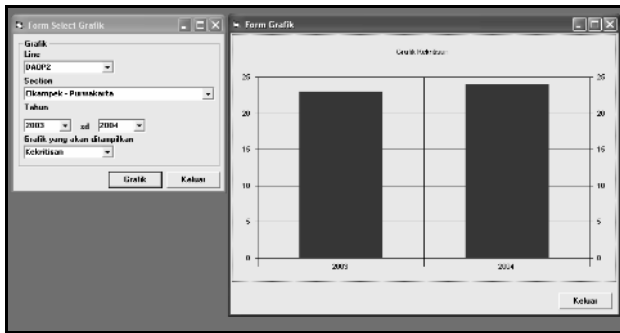
No.	Koridor	Nilai Kekritisan		Nilai Kons. Kegagalan		Nilai Total Prioritas		Urutan Prioritas	
		Th'04	Th'05	Th'04	Th'05	Th'04	Th'05	Th'04	Th'05
1	Cikampek –Purwakarta	25	24	5,55	5,55	30,55	29,55	4	5
2	Purwakarta – Padalarang	27	27	15,32	25,53	42,32	52,53	2	2
3	Padalarang – Bandung	27	26	16,43	27,38	43,43	53,38	1	1
4	Bandung – KiaraCondong	27	27	7,58	7,58	34,58	34,58	3	3
5	KiaraCondong - Gedebage	25	27	3,87	2,58	28,87	29,58	5	4
6	Gedebage – Cicalengka	22	22	1,4	7,48	23,4	29,48	9	6
7	Cicalengka – Cibatu	18	18	7,7	2,9	25,7	20,9	6	10
8	Cibatu – Indihiang	19	19	5,8	1,94	24,8	20,94	7	9
9	Indihiang – Tasikmalaya	20	20	1,93	1,93	21,93	21,93	10	8
10	Tasikmalaya – Banjar	21	22	2,88	2,88	23,88	24,88	8	7
11	Sukabumi – Cianjur	12	13	1,88	1,26	13,88	14,26	12	12
12	Cianjur - Padalarang	14	14	0,57	0,57	14,57	14,57	11	11

## SISTEM INFORMASI MANAJEMEN PERAWATAN

Untuk mempermudah penerapan RCM pada perawatan jalan rel kereta api, maka dibuat perangkat lunak Sistem Informasi Manajemen Perawatan dengan menggunakan Microsoft Visual Basic 6.0 dengan perangkat database digunakan Microsoft Access. Penampilan perangkat lunak ini dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Format Data



Gambar 3. Grafik Kekritisitas Berdasarkan Tahun

## KESIMPULAN

RCM merupakan metode perawatan yang dapat diterapkan pada manajemen perawatan infrastruktur jalan rel kereta api. Penggunaan RCM diharapkan dapat memberikan: Pemahaman yang lebih baik terhadap sistem tentang bagaimana aset bekerja dan berfungsi; Pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana aset dapat gagal juga tentang penyebab dasar dari setiap kegagalan; Mampu memberikan evaluasi terhadap metode perawatan eksisting dan mampu memberikan metode-metode perawatan yang tepat; Meningkatkan kerja kelompok.

Keuntungan yang diperoleh dari penggunaan metode RCM antara lain :

- Mengurangi tingkat kecelakaan karena kegagalan fungsi peralatan sehingga

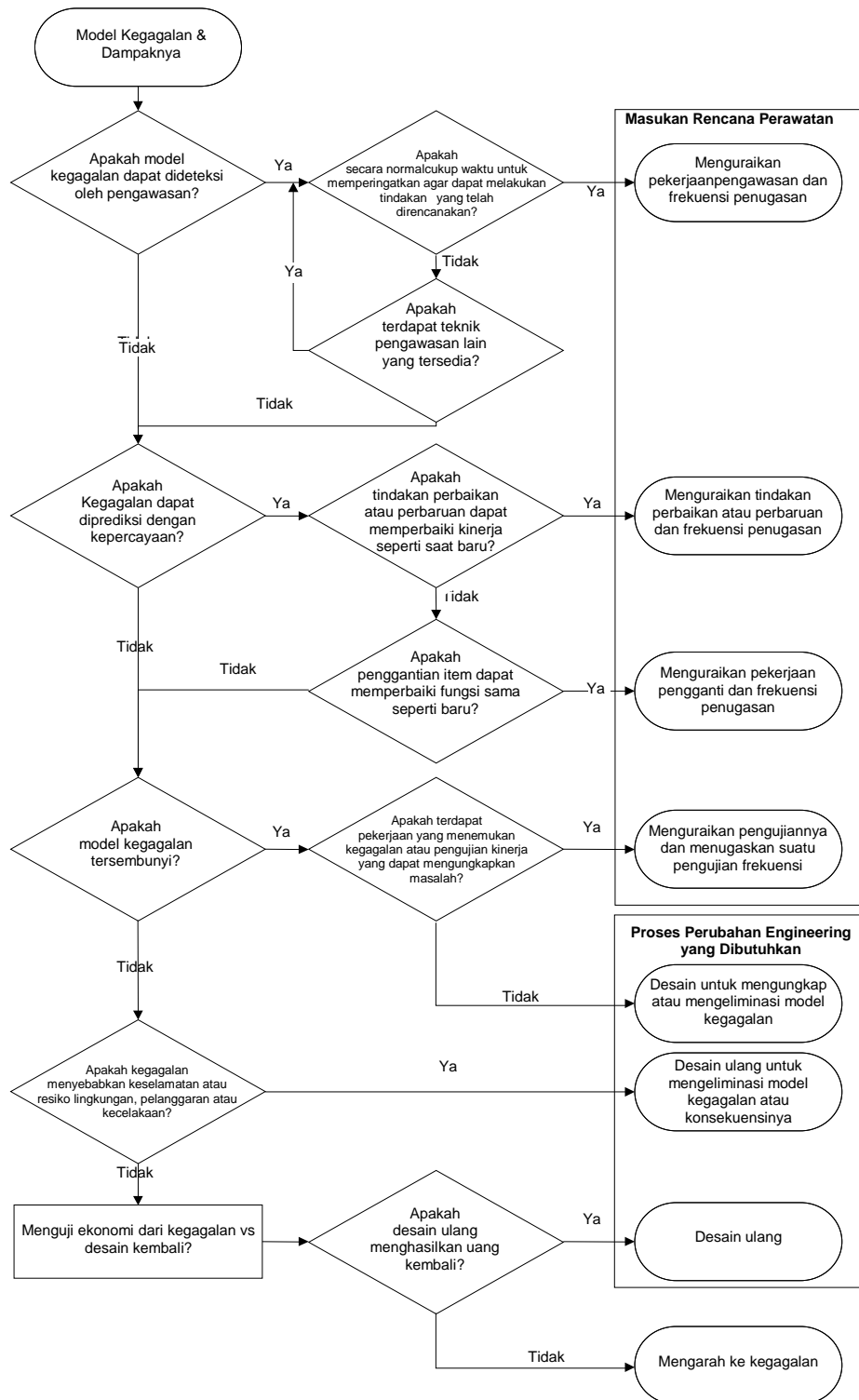
memberikan keselamatan dan integritas lingkungan yang lebih besar

- Meningkatkan prestasi operasional
- Meningkatkan umur hidup komponen yang mahal menjadi lebih lama dan mengurangi ongkos perawatan karena berkurangnya kecelakaan, pembelian suku cadang dan material yang tidak diperlukan

## DAFTAR PUSTAKA

- Bachrun, Rachmat Kentardjo (2005), *Program Manajemen Perawatan Lanjut: Reliability Centered Maintenance (RCM)*, LMBSP-ITB, Bandung, Program Studi Teknik Mesin ITB.
- Setio, Sangriyadi (2006a), *Reliability Centered Maintenance (RCM)*, Manual Kuliah, Bandung, Program Studi Teknik Mesin ITB.
- Setio, Sangriyadi (2006b), *Total Productive Maintenance (TPM)*, Manual Kuliah, Bandung, Program Studi Teknik Mesin ITB.
- Herlien.D.Setio, Dono Ari Bawono and Sangriyadi Setio (2007), *Reliability Centered Maintenance for Railway Networks*, European Asian Civil Engineering Forum EACEF
- Trompet, M.P. Hooymans, (2003), *Keeping Track With Maintenance*, Erasmus Universiteit Rotterdam, Faculty of Business Administration.





Gambar 1. Diagram Alir Logika RCM

Tabel 4 . Analisis Efek Mode Kegagalan

Komponen Jalan Rel	Fungsi	Mode Kegagalan	Dampak dari Kegagalan	Tindakan Pencegahan
1. Rel	<ol style="list-style-type: none"> <li>Menerima beban kereta secara langsung dan mendistribusikan ke komponen lainnya.</li> <li>Mengarahkan kereta api ke suatu tempat</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Akibat gaya vertikal (beban kereta api)</li> <li>Akibat Gaya transversal (<i>snake motion</i> dan gaya Sentrifugal)</li> <li>Akibat Gaya Longitudinal (pemuatan)</li> <li>Kerusakan sambungan rel</li> <li>Keausan rel</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Rel patah</li> <li>Alignment berubah</li> <li>Anjlok</li> </ol> <p>Mengubah geometri jalan yang akan mengakibatkan anjlok kereta api</p> <p>Mengubah geometri jalan yang akan mengakibatkan anjlok kereta api</p>	<p><b>Tindakan Pencegahan</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Angkatan (<i>lifting</i>)</li> <li>Pemadatan (<i>tamping</i>)</li> </ol> <p>Pemasangan rel gongsol (<i>safety rails</i>)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Tahanan torsi penambat (ditahan oleh penambat elastis)</li> <li>Tahanan momen lateral (kesatuan rel, penambat dan bantalan)</li> <li>Tahanan Balas (ditahan oleh bantalan)</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>Pengerasan ujung rel (<i>End Hardened rails</i>)</li> <li>Pengelasan sambungan dengan baik</li> </ol> <p>Pengerasan kepala rel (<i>head hardened rails</i>)</p>
2.a Penambat kaku	Menambatkan rel ke bantalan agar rel tetap pada posisinya	<ol style="list-style-type: none"> <li>Push out, mendorong alat penambat ke arah lateral menyebabkan melebarannya sepur.</li> <li>Pull Out, alat penambat tercabut, tertarik dan terangkat.</li> </ol> <p>Deformasi yang terjadi akibat kekuatan jepit dan kekuatannya torsi kurang.</p>	Gaya lateral yang menyebabkan terlepasnya tirpon dari bantalan	Dibutuhkan minimal dua tirpon untuk satu rel atau tiga tirpon untuk satu gandar (2 rel)
2.b Penambat elastis		<ol style="list-style-type: none"> <li>Berhubungan dengan cuaca (lapuk) dan terserang rayap</li> <li>Patah di bawah rel akibat kelebihan beban</li> <li>Kayu Susut</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>Berkarat</li> <li>Stabilitas lateral terlalu besar</li> </ol>	Gaya lateral yang menyebabkan terlepasnya tirpon dari bantalan	Pemilihan jenis penambat berdasarkan gaya jepit antara rel dan bantalan yang dibutuhkan
3.a Bantalan kayu	<ol style="list-style-type: none"> <li>Mengikat rel sehingga lebar sepur tetap terjaga.</li> <li>Mendistribusikan beban ke balas</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Retak akibat gaya tarik</li> <li>Kehilangan tegangan (<i>prestressing loose</i>) disebabkan oleh perpendekan elastis, rangkai beton (<i>creep</i>), susut beton (<i>shrinkage</i>) dan relaksasi tulangan baja.</li> </ol>	Bantalan patah mengakibatkan anjlok	<ol style="list-style-type: none"> <li>Mengawetkan dengan bahan kimia.</li> <li>Memasang pelat andas untuk memperkuat kayu dari tegangan kontak rel</li> </ol>
3.b Bantalan besi		<ol style="list-style-type: none"> <li>Retak akibat gaya tarik</li> <li>Kehilangan tegangan (<i>prestressing loose</i>) disebabkan oleh perpendekan elastis, rangkai beton (<i>creep</i>), susut beton (<i>shrinkage</i>) dan relaksasi tulangan baja.</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>Bantalan besi harus selalu kering dengan merancang agar struktur di bawahnya harus meloloskan air</li> <li>Menggunakan anchoring device atau safety caps.</li> </ol> <p>Menggunakan bantalan beton pratekan (monoblok) dan pasca tekan (biblok)</p>
3.c Bantalan beton		<ol style="list-style-type: none"> <li>Mendistribusikan beban kereta api</li> <li>Menjaga agar jalur rel tidak bergerak pada saat dibebani kereta</li> <li>Menghasilkan pengeringan yang baik</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Balas tidak bersifat per lagi sehingga rel patah</li> <li>Apabila terjadi banjir bantalan besi berkarat</li> </ol>	<p>Pemadatan yang rutin, pembersihan material balas</p>
4. Balas				

Tabel 4 . Analisis Efek Mode Kegagalan (lanjutan)

Komponen Jalan Rel	Fungsi	Mode Kegagalan	Dampak dari Kegagalan	Tindakan Pencegahan
4. Subbalas	<p>4. Mengendalikan jalur rel secara lateral, longitudinal dan vertikal dibawah beban dinamik yang disebabkan oleh kereta dan tekanan thermal yang masuk pada rel dengan perubahan suhu</p> <p>1. Menyebabkan mutu batu balas menjadi lebih baik.</p> <p>2. Membatasi hubungan secara langsung antara balas dengan tanah dasar sehingga dapat menyebabkan pengeringan tanah lebih baik.</p> <p>3. Mencegah benturan pada tanah dasar yang berasal dari bantalan dikarenakan beban kereta.</p>	<p>Mud pumping</p>	<p>Balas tidak bersifat per lagi sehingga rel patah</p>	<p>Pemberian lapisan serat buatan pada lapisan subbalas seperti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- geotextile</li> <li>- bahan polyethylene</li> <li>- bahan geogrid dari bahan polimer</li> <li>- geojute dari bahan serat tumbuhan jute</li> </ul>
6. Tanah dasar	<p>Menerima beban yang telah didistribusikan oleh komponen lain</p>	<p>1. Kelemahan pada kekuatan lapisan tanah berbutir halus dan kasar, serta tanah timbunan</p> <p>2. Kelemahan pada kekuatan lapisan tanah berbutir halus dan tanah timbunan</p> <p>3. Kelemahan pada kekuatan lapisan tanah sangat lunak seperti rawa</p> <p>4. Kelemahan pada kekuatan lapisan tanah lunak dan sangat lunak4.</p> <p>Kelemahan pada kekuatan lapisan tanah lunak dan sangat lunak</p>	<p>Longsor mengakibatkan keseluruhan struktur jalan rel dan kereta api terguling</p>	<p>1. Perbaiki tanah dengan Enersi atau disebut perbaikan mekanis, seperti gilas, tumbukan, getaran dan kombinasi antara gilas – getaran dan tumbukan – getaran.</p> <p>2. Perbaiki tanah dengan kekuatan, seperti cerucuk kayu, tilar bambu, tiang batu, beton pracetak dan serat buatan.</p> <p>3. Perbaikan tanah hidrolis, seperti pemompaan, prabhan, drainase vertikal dan kombinasi prabhan dengan drainase vertikal.</p> <p>4. Perbaikan tanah dengan bahan kimiaawi seperti semen, kapur, dan produk kimia pabris.</p>