

# KEANDALAN SISTEM PELUMAS TANKER DENGAN MODEL PENGATURAN PERSYARATAN KEANDALAN DAN METODE PEMILIHAN TINDAKAN MANAJEMEN

**Tungga Bhimadi, Hari Agus Sujono, Sukendro B.S.**

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Jl Arief Rahman Hakim No. 100 – Sukolilo, Surabaya - 60117

Phone/Fax : 031. 5945043 / 5994620

Email: [tunggabhimadi@yahoo.com](mailto:tunggabhimadi@yahoo.com)

## Abstrak

Prediksi keandalan komponen produk rekayasa dan teknologi manufaktur pertama disampaikan Duane (1961) dengan *experimentation reliability* dan Weibull (1974) dengan *predictable reliability*. Masalah selanjutnya adalah perlu satu harga desain keandalan sistem dari konfigurasi. Saat ini, desain keandalan ditentukan dua asumsi: fungsi laju kegagalan atau pilihan tipe kegagalan. Penelitian ini menggunakan asumsi ke-1 dengan fungsi laju kegagalan kurva bathhtub. Apabila pilihan ke-2 dilakukan, maka belum didukung data akurasi tipe kegagalan. Desain keandalan perlu koreksi saat operasional karena kejadian diluar prediksi misalnya hazard. *Reliability Requirement Setting Model* (RRS) atau Model Pengaturan Persyaratan Keandalan dan *Management Action Selection Method* (MAS) atau Metode Pemilihan Tindakan Manajemen, diusulkan sebagai koreksi keandalan tersebut. Sistem Pelumas Tanker Ketaling digunakan sebagai penelitian sampai *life time*, 36 tahun. Validasi mengikuti Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dengan gagal bila keandalan *life time* < 0.45 untuk sistem permesinan kapal, dan dari Departemen Perhubungan - JICA (2002) dengan berhasil bila keandalan sistem rata-rata minimum 0.8. Prediksi keandaan sistem *basic* atau maintenance wajar sistem Tanker Ketaling adalah 0.238537755. Harga ini < 0.45 sehingga tidak memenuhi BKI. Simulasi *maintenance* yang disarankan adalah: *resetting* dari *overhaul* 5 tahun sekali, inovasi setelah 14 tahun untuk setiap 10 tahun, dan 6(enam) komponen diberlakukan revitalisasi akibat kemajuan prosedur perbaikan komponen. Setelah simulasi, keandaan sistem *life time* 0.700911958 > 0.45, dan keandalan sistem rata-rata *life time* 0.825486621 > 0.8 sesuai syarat JICA.

**Kata kunci:** keandalan, RRS, MAS, sistem pelumas

## 1. Pendahuluan

Sebelum revolusi industri, komponen rusak langsung diganti, sehingga pengadaan suku cadang penting. Setelah revolusi industri dan khusus setelah tahun 1930, memunculkan kajian RCM (*Reliability Centre Maintenance*) atau Metodologi Sistem Pemeliharaan dalam tiga generasi.

Tiga generasi tersebut adalah: generasi-1 fokus pada perawatan sistem mekanik sampai akhir perang dunia ke-1, generasi-2 fokus pengamanan stok suku cadang akibat tekanan perang, dan generasi-3 kajian perawatan setelah akhir perang dunia ke-2 dari hasil melakukan kegiatan *new expectations, new experiments, dan new techniques*, [1].

Perawatan terhadap komponen rekayasa dan teknologi manufaktur di Indonesia mengalami penyesuaian istilah. *Maintenance* semula difahami sebagai ‘perbaikan’, kemudian menjadi ‘perawatan’, dan istilah terkini adalah

‘pemeliharaan’. Metodologi Pemeliharaan (*Maintenance Methodology*) merupakan iptek dalam disiplin ilmu ‘tribologi’. Salah satu kajian metodologi ini adalah desain keandalan sebelum komponen dioperasikan.

Desain keandalan perlu koreksi saat operasional karena kejadian diluar prediksi menyebabkan keandalan tidak valid. Validasi mengikuti Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dengan gagal bila minimum keandalan sama dengan 0.45 untuk sistem permesinan kapal, dan Departemen Perhubungan dengan JICA (2002) yaitu keandalan sistem rata-rata minimum 0.8, [2].

Atau, regulasi pelayaran dari SOLAS (*Safety of Life at Sea*). SOLAS peraturan 3.2 menyebutkan bahwa, penggunaan tangki ballast air laut harus memenuhi syarat keandalan dan prosedur perawatan dengan lapisan pelindung keras atau sejenisnya untuk pencegahan korosi, [3]. SOLAS sudah diratifikasi negara kita sejak 1989. Desain keandalan komponen agar sesuai regulasi sebelum operasional, dilakukan

simulasi dengan pola tindakan manajemen.

*Reliability Requirement Setting Model* (RRS) atau Model Pengaturan Persyaratan Keandalan dan *Management Action Selection Method* (MAS) atau Metode Pemilihan Tindakan Manajemen, diusulkan sebagai koreksi keandalan saat operasional sistem. Usulan solusi ini belum dijumpai sebelumnya. Solusi saat ini adalah prediksi tataran desain keandalan dari dua asumsi yaitu: fungsi laju kegagalan atau pilihan tipe kegagalan. Sistem Pelumas Tanker Ketaling digunakan sebagai penelitian sampai *life time*, 36 tahun.

Tindakan Manajemen dari MAS merupakan bagian RGM (*Reliability Growth Method*) atau Metoda Pertumbuhan Keandalan. RGM bukan metoda untuk menaikkan harga keandalan pada operasi selanjutnya, melainkan agar gradien penurunan keandalan dapat diperkecil. Upaya memperkecil penurunan keandalan saat operasional mempunyai dampak ekonomi sangat berarti.

Sebagai nomenklatur yang digunakan untuk persamaan adalah:  $R_s(t)$  untuk Fungsi Keandalan Selang Pemeliharaan tanpa satuan,  $R_k(t)$  untuk keandalan komponen,  $H(t)$  untuk Fungsi Hazard satuan komponen/tahun, untuk *Deviation Value*,  $\mu$  fase-1 untuk *mean value*, t satuan tahun, parameter A untuk harga integrasi tertentu tanpa satuan,  $\mu$  pada fase-2 untuk harga *Time to Failure* satuan tahun, untuk parameter rasio keandalan komponen akhir fase-2 terhadap akhir keandalan selang, untuk parameter rasio keandalan komponen akhir fase-2 terhadap akhir keandalan selang, dan konstanta waktu operasional awal fase-3 satuan tahun.

## 2. Tinjauan Pustaka

Sampai saat ini, prediksi keandalan desain komponen produk rekayasa dan teknologi manufaktur diberlakukan untuk dua lingkup, yaitu: struktur dan sistem. Prediksi keandalan struktur umumnya menggunakan persamaan Mekanika Kerusakan dan Keretakan (*Fatigue and Fracture Mechanics*). Keandalan struktur diartikan dari berapa umur kekuatan struktur dari menahan retakan awal untuk muncul dan kemudian retakan merambat sampai struktur rusak karena keterbatasan dimensi atau kerusakan dari daya dukung materialnya [4].

*Fatigue and Fracture Mechanics* terdiri dari dua bagian. Pertama, Analisa Fatik (*Fatigue Analysis*) terjadi dari struktur mulus sampai awal retak muncul dengan panjang tertentu sesuai regulasi, misalnya dengan metode *risk assessment method* atau metode penilaian risiko dari data probabilitas kerusakan komponen.

Kemudian, Analisa Pertambahan Retak (*Crack Propagation Analysis*) terjadi dari kondisi retakan setelah mencapai panjang sesuai regulasi ini merambat sampai rusak.

Contoh analisa fatik retakan struktur dilakukan dengan model Monte-Carlo dari asumsi simulasi satu juta siklus beban terhadap probabilitas kejadian kerusakan komponen. Apabila lebih dari satu kerusakan dalam satu juta siklus maka struktur termasuk tidak handal [4]. Kesamaan prediksi keandalan struktur dengan sistem adalah bahwa keduanya menggunakan pendekatan teori atau eksperimen dari laju kegagalan.

Dalam satu sistem, misalnya sistem pelumas, untuk setiap waktu operasional tertentu diusulkan: hanya ada: satu harga *keandalan sistem*, sejumlah harga *keandalan komponen* dengan jumlah sebanyak jumlah komponen yang terlibat dalam sistem tersebut, dan untuk setiap komponen ada sejumlah harga *keandalan selang* dengan harga '=1' pada posisi setelah dilakukan perawatan berkala sesuai jadwal berharga dan '>0' pada akhir selang perawatan.

Saat ini, desain keandalan sistem ditentukan dari dua asumsi: fungsi laju kegagalan (misalnya bentuk bak mandi), atau pilihan tipe kegagalan (misalnya Crow (2004) tipe Bc), [5]. Penelitian ini menggunakan pilihan ke-1, karena penggunaan pilihan ke-2 memerlukan: akurasi tipe kegagalan, dan komponen tipe kegagalan tertentu belum didukung data akurat [6]. Sehingga koreksi keandalan akibat operasional sistem, dilakukan dengan prediksi asumsi desain operasional dengan simulasi.

Survei penggunaan asumsi Fungsi Laju Kegagalan (*Failure Rate Function*) dilakukan oleh, [1] tahun 1976, pada sejumlah pesawat sipil Amerika-Eropa. Hasilnya adalah: prosentase kecil untuk parabola turun kemudian linear turun, 5% parabola naik, 2% bak-mandi, 14% konstan, 5% linear naik, 6% peluru rebah, dan 68% parabola turun. Pertamina dengan *Plan Maintenance System Program* atau PMS, membantu mekanik untuk menentukan jadwal komponen dan prosedur perbaikan manual dari desain keandalan dengan asumsi laju kegagalan kurva bak-mandi, dan persamaan matematik empiris untuk tiga fase yaitu: fase-1 *Infant Mortality*, fase-2 *Random Failure*, dan fase-3 *Wear-out* [7]. Persamaan dasar tiga fase ini merujuk pada, [8] yang dicantumkan bab selanjutnya.

Prediksi keandalan komponen produk rekayasa

dan teknologi manufaktur pertama disampaikan Duane(1961) dengan *experimentation reliability* dan Weibull (1974) dengan *predictable reliability*. Selang perawatan komponen diperoleh dari harga MTBF (*Mean Time To Failure*) sebagai fungsi dari waktu. Nelson (1982) menyatakan  $1/MTBF$  sebagai laju kegagalan rujukan komponen rusak langsung diganti dengan cadangan. Jika *pemasangan* pada selang perawatan maka tipe kegagalan 'Bd', dan jika sistem terus operasi tipe 'A'. Seber-Wild (1989) memunculkan tipe kegagalan lain yaitu: pergantian komponen dilakukan *perawatan* bersamaan dengan sistem operasi, tipe 'Bc'. Crow menegaskan tipe "A" dengan pengujian sistem senjata paralel. [9]

RRS asumsi kurva bak-mandi diberlakukan pada operasional waktu kapanpun. Tujuannya adalah koreksi keandalan dari pilihan 4(empat) usulan MAS. Empat usulan MAS bukan hal baru, tetapi merupakan tindakan manajemen yang sudah dilakukan pakar sebelumnya secara terpisah, misalnya: 'harmonisasi' disampaikan Bieman (2002) dan Pertamina (2007), inovasi dari Kibrio (1989) dan Martin (1994), *resetting* dari Pertamina (2007) dan Groover (1987) dengan *tardiness*, dan revitalisasi dari Rasmussen (1996) dan Atlas (1989), [4].

MAS berbeda dibanding pakar lain dari: penentuan parameter kurva dengan persamaan yang belum pernah digunakan sebelumnya, dan persamaan empiris dari MAS dapat dilakukan untuk mendapatkan koreksi keandalan. Tindak lanjut MAS misalnya adalah rekomendasi perbaikan atau ganti komponen rekayasa dan teknologi manufaktur dengan teknologi terkini. Dua tindakan dalam bahasan khusus pada fase ke-3 ini, memberi minimum penurunan keandalan paling banyak dibandingkan dua fase sebelumnya, [10].

### 3. Metodologi

#### 3.1 Penggunaan RSS dan MAS

Penentuan keandalan dilakukan pada salah satu Sistem Permesinan Tanker Ketaling dari Pertamina yaitu, Sistem Pelumas. Sistem permesinan lain dari tanker ketaling adalah: Sistem Bahan Bakar, Sistem Pendingin Air Laut, Sistem Pendingin Air Tawar, Sistem Air Starting, dan Sistem Engine. Berikut ini adalah bagan sistem pelumas Ketaling, [11], **gambar-1**.

Keandalan selang akhir selang dan keandalan selang akhir setiap fase merupakan harga yang menentukan

untuk pijakan mendapatkan koefisien pada persamaan keandalan komponen. 6(enam) distribusi dipilih untuk keandalan 'selang', yaitu: eksponensial, gamma, Weibull, modifikasi nilai ekstrem, *the truncated normal*, dan *the log normal*,[12].

Operasional sistem menimbulkan penyimpangan desain keandalan. Penyimpangan ini dapat disengaja karena menguntungkan antara lain: penghematan, penggunaan komponen teknologi terkini, atau inovasi komponen. Penyimpangan keandalan dikoreksi dengan persamaan empiris RRS pada persamaan distribusi asumsi laju kegagalan kurva bak-mandi, sebagai berikut, [8]:

#### Fase-1 infant mortality

Fase ini menggunakan distribusi dua parameter ' ' dan 'μ', integrasi *hazard rate* atau 'H(t)'.

#### a.Distribusi Lognormal

Persamaan keandalan komponen dari *hazard rate* yaitu:

$$H(t) = dR_k(t) / dt = \frac{1}{(t \sqrt{2f})t} e^{-\frac{1}{2t^2}(\log t - \mu)^2} \quad (1)$$

Keandalan komponen 'R<sub>k</sub>(t)' dinyatakan sebagai integral H(t) dengan,

$$R_k(t) = A \int \frac{1}{t} e^{-\frac{1}{2t^2}(\log t - \mu)^2} dt \quad (2)$$

Jika  $u = \log t - \mu$  maka  $du = (1/t) \ln 10 dt$ , atau untuk  $dt = (t/\ln 10) du$  dengan ekspresi integral parsial diperoleh,

$$R_k(t) = \frac{t}{\sqrt{2f} \ln 10} e^{-\frac{1}{2t^2}(\log t - \mu)^2} \quad (3)$$

#### b.Distribusi Normal

Keandalan komponen diturunkan untuk *hazard rate* distribusi normal dari:

$$f(t) = \frac{1}{t \sqrt{2f}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{t - \mu}{t} \right)^2} \text{ menjadi } H(t) = -\frac{1}{t \sqrt{2f}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{t - \mu}{t} \right)^2}$$

Dengan diasumsikan,

$$\int f(t) dt = \int \frac{1}{t \sqrt{2f}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{t - \mu}{t} \right)^2} dt = \quad (4)$$

$$\text{atau} \quad = \int \frac{1}{t \sqrt{2f}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{t - \mu}{t} \right)^2} dt \quad (5)$$

$$\text{diperoleh,} \quad R_k(t) = 1 - \quad (6)$$

#### Fase-2 Random Failure

Fase ini menggunakan distribusi eksponensial satu parameter 'λ'. Sehingga 'H(t)' konstan, sama dengan 'λ'. Hubungan fungsi keandalan dengan distribusi eksponensial menjadi:

$$f(t) = -\frac{dR_k(t)}{dt} \quad (7)$$

$$\text{diperoleh, } R_k(t) = R_{k-1}(t)e^{-\lambda t} \quad (8)$$

### Fase-3 Ware-out

Fase ini menggunakan distribusi Weibull tiga parameter  $\lambda, \beta, \gamma$ . Hazard rate dinyatakan dalam distribusi Weibull menjadi,

$$H(t) = \frac{\lambda}{\gamma} \left(\frac{t}{\gamma}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{t}{\gamma}\right)^\gamma} \quad (9)$$

Hubungan Hazard Rate dengan keandalan,

$$dR_k(t) = \frac{\lambda}{\gamma} \left(\frac{t}{\gamma}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{t}{\gamma}\right)^\gamma} dt \quad (10)$$

Jika dinyatakan  $u = -\left(\frac{t}{\gamma}\right)^\gamma$  dengan  $du = -\gamma \left(\frac{t}{\gamma}\right)^{\gamma-1} dt$  atau  $dt = -\frac{du}{\gamma}$  maka,

$$R(t) = \int_{-\infty}^u \lambda e^u du \quad (11)$$

$$\text{diperoleh, } R_{wo}(t) = R_{Rf}(t)e^{-\left(\frac{t}{\gamma}\right)^\gamma} \quad (12)$$

'Keandalan komponen' operasional selanjutnya selalu menjadi lebih kecil atau berkurang. RSS mengupayakan gradien penurunan tidak menjadi tajam. Aplikasi persamaan koreksi keandalan dari RRS ini harus didukung dengan pilihan MAS. Detail persamaan MAS untuk 4(empat) pilihan dinyatakan dalam [6], termasuk aturan perhitungan sederhana untuk 'keandalan sistem'.

'Keandalan sistem' merupakan akumulasi dari 'keandalan komponen' dan dievaluasi agar sesuai persyaratan sebagai dasar digunakan pilihan MAS. Pilihan tersebut antara lain adalah:

1. Harmonisasi terhadap selang perawatan komponen yang berbeda *significant* untuk disatukan pada selang pemeliharaan tertentu sehingga perawatan hemat
2. Jika terjadi *hazard* atau inovasi penggunaan komponen tidak standar sehingga mengurangi efektifitas maka evaluasi dilakukan setelah jadwal harmonisasi dan harus dilakukan re-harmonisasi
3. Pergantian komponen dengan peningkatan efektifitas mempertimbangkan pilihan MAS sebelumnya terlebih lagi waktu pergantian dekat selang perawatan berikutnya (boleh jadi komponen dengan inovasi tinggi belum perlu digunakan)
4. Operasional berhenti diluar jadwal (misalnya akibat *hazard* yang menyebabkan *delay time* berkepanjangan) tidak boleh menggunakan pilihan MAS 'ganda', dan jika terdapat komponen yang berdasarkan desain adalah ideal andal sampai akhir umur sistem maka

komponen tersebut tetap diikuti dalam konfigurasi dengan harga keandalan '=1'.

### 3.2 Model dan Konfigurasi

Oli pendingin engine di-supply dari dua siklus yaitu: pengisian/penggunaan. Siklus penggunaan atau penyaringan [11], berawal dari oli melalui *Fitting Pipe* (A) kondisi panas setelah mendinginkan engine. Kemudian oli dialirkan pada *Setting Tank* (B) yang ditempatkan paralel dengan *Grafiti Tank* (C) untuk disaring. Oli yang masih kotor dari setting tank diisikan pada *Sludge Tank* (D), dan sebagian lagi oli panas dari *Grafiti Tank* dalam kondisi bersih dari kotoran dipompa oleh dua *Main Pump* (E) paralel menuju *Coller* (F). Penempatan Dua pompa bertujuan untuk pengamanan apabila ada satu pompa yang tidak berfungsi langsung diganti. Oli dari *cooler* selain dingin juga memunculkan koagulan untuk disaring *Full Flow Filter* (G).

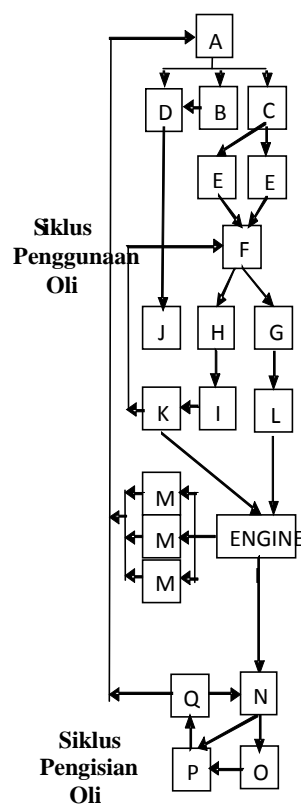
Sebagian oli dari *cooler* ditampung *Supply Tank* (H) untuk dipompa oleh *Feed Pump* (I) bersama dengan oli yang sudah dikondisikan oleh *Feed Preheater* (J) untuk menuju *Feed Purifier* (K), kembali oli masuk *Cooler*. Oli lain yang masuk *Feed Preheater* ini berasal dari *Sludge Tank* apabila dibutuhkan. Sementara itu oli yang dialirkan *Full Flow Filter* sebelum masuk *engine*, suhunya diseragamkan dengan *Thermo Static Valve* (L). Pendinginan *engine* menjadikan oli menetes sepanjang permukaan *engine*. Tetesan tersebut ditampung oleh tiga *Discharge Filter* (M) untuk dikumpulkan dan dialirkan pada *Fitting Pipe*. Demikian seterusnya siklus berulang, menurut [11].

Disebut siklus pengisian oli karena siklus ini hanya kembali mengalirkan oli setelah digunakan untuk pendingin engine karena oli keluar dalam kondisi tidak terlalu panas dan relatif sedikit kotoran, [11]. Oli ditampung *Drain Tank* (N) dan dipompa dengan *Cylinder Pump* (O), kemudian oli dilewatkan *Measurement Tank* (P) untuk mengisi *Storage Tank* (Q). Oli dari tangki ini dialirkan ke *Fitting pipe* untuk melakukan siklus selanjutnya. Oli dari *Storage Tank* apabila dalam kondisi berlebih dialirkan kembali ke *Drain Tank*, [11]. **Gambar-1.**

Konfigurasi komponen adalah hubungan seri atau paralel, dan hubungan ada dimunculkan syarat misalnya: murni (*pure*) bila semua komponen operasi penuh, *stand by* bila ada komponen yang tidak operasi sementara yang lain operasi, dan *intermittent* bila komponen

bekerja tidak seluruh waktu. Setiap komponen dilengkapi komponen bantu misalnya *valve*. Konfigurasi *valve* mempengaruhi ‘keandalan sistem’.

Komponen terdiri dari utama dan pendukung. Komponen pendukung selalu ada misalnya *valve* atau katup dan *pressure flow* sebagai pembatas tekanan. ‘Keandalan komponen’ merupakan akumulasi dari komponen utama dan pendukung. Data laju kegagalan komponen utama merupakan informasi pabrik atau dari bengkel pembuat. Data laju kegagalan komponen pendukung umumnya produk standar dan diasumsikan data empiris kesamaan parameter, tertentu, [13].



**Gambar 1. Bagan Sistem Pelumas Kapal [11]**

*Main pump* paralel bekerja bila ada oli yang harus dialirkan ke *Cooler*. Bila ada salah satu main pump rusak maka langsung diganti dengan komponen yang sudah disediakan. Katup kontrol dipasang pada setiap aliran masuk dan aliran keluar, hal yang sama diberlakukan *cooler*. Hubungan seri main pump dengan dua katup adalah lebih kritis dibanding kondisi paralel dua pump. Kemudian keandalan meninjau syarat operasional *intermittent*. ‘Keandalan komponen’ dengan *intermittent* lebih besar dari keandalan syarat murni *full* operasi sistem. Kedua kondisi keandalan ini,

masih lebih besar dengan keandalan syarat komponen *stand by*.

### 3.3 Prosedur Metodologi

Dalam industri, komponen rekayasa dan teknologi manufaktur, menjadi bagian dari sistem pemeliharaan sebagai salah satu metodologi. Aplikasinya menjadi kewenangan Manajer Pemeliharaan (*maintenance manager*). Manager ini bertanggung jawab terhadap operasional sistem sesuai prosedur dan manual.

Prosedur metodologi penentuan ‘keandalan sistem’ pelumas Tanker Ketaling dengan asumsi kurva bak mandi untuk laju kegagalan adalah:

1. Memilih komponen sistem untuk analisa dan memilah komponen dengan keandalan sempurna atau ‘=1’ untuk tidak dianalisa, tetapi diikutsertakan dalam konfigurasi
2. Menentukan pengulangan selang pemeliharaan (MTBF atau TTF), atau periodik waktu setiap pergantian, atau perawatan dari LBD (*Log Book Data*) komponen
3. Memilih distribusi ‘keandalan selang’ setiap komponen (dari enam pilihan distribusi) dan menentukan ‘Keandalan Selang’ akhir selang
4. Menentukan parameter statistik pengujian komponen untuk diterapkan pada persamaan ‘Keandalan Komponen’
5. Menentukan harga ‘Parameter Distribusi’ dari persamaan ‘Keandalan Komponen’ setiap fase kurva bak mandi untuk setiap komponen asumsi operasional sampai akhir *life time*
6. Membuat kurva desain ‘Keandalan Komponen’ setiap komponen mengikuti persamaan fase kurva bak-mandi
7. Membuat kurva desain ‘Keandalan Sistem’ sesuai kondisi konfigurasi komponen
8. Melakukan evaluasi kurva desain terhadap regulasi, dan umumnya awal operasional keandalan masih memenuhi regulasi sampai operasional tertentu
9. Apabila sampai operasional tertentu, regulasi tidak dipenuhi maka dibuat simulasi operasional agar regulasi tercapai tetapi umumnya simulasi dibuat lebih sekali untuk pencapaian regulasi
10. Setiap simulasi dicek regulasi, bila belum tercapai, simulasi diatur kembali.

Kurva desain ‘keandalan komponen’ dan ‘keandalan sistem’ dengan kurva yang sama hasil penertapan RRS dan MAS untuk setiap waktu operasional tertentu merupakan salah satu acuan penentuan dari: waktu periodik sistem kapan dilakukan *maintenance*, dan tindakan

perbaikan atau ganti komponen tertentu pada selang perawatan tersebut jika ada.

### 3.4 Data TTF dan Pilihan MAS

Data awal diambil setelah *sorting* TTF dan LBD dari, [11]. Kecuali data komponen pendukung seperti *valve* dan *pipe* diperoleh dari [13]. Tanker Ketaling Pertamina sampai April 2014 dalam kondisi riil dioperasikan perusahaan Singapura setelah membeli dari Pertamina untuk pengangkutan minyak mentah Pertamina. Alasan penjualan waktu itu adalah, sejak Nopember-2012 Sistem Permesinan Ketaling sudah masuk fase-3, sehingga selang perawatan menjadi tidak beraturan dan boros. Tetapi tidak demikian halnya setelah dibeli, Singapura menerapkan prosedur khusus Sistem Pemeliharaan untuk fase-3 dengan dukungan iptek teknik dari RGM.

Simulasi operasional sistem ini menggunakan 9000 jam efektif atau setara dengan 1.5 tahun sebagai asumsi awal diberlakukan RRS dan MAS. *Life time* sistem selama 36 tahun, dengan 6 tahun fase-1, dan 6 tahun fase-3 atau operasional fase-2 menjadi 24 tahun atau 144.000 jam efektif, [11].

Konfigurasi Keandalan Sistem Pelumas, terdiri dari: 2(dua) rangkaian seri yaitu seri-1 terdiri dari komponen-A dan komponen-(selain-A). Komponen-(selain-A) merupakan rangkaian paralel dengan 2(dua) komponen yaitu: komponen-B1 dan komponen-B2. Komponen-B1 terdiri dari 3(tiga) rangkaian seri dengan rangkaian terakhir merupakan rangkaian paralel, sebut saja, komponen-C1, komponen-C2 dan komponen-C3 (paralel). Komponen-C1 merupakan rangkaian seri dari: komponen-C, rangkaian paralel dua komponen dengan *redundant* murni dari komponen-E, dan komponen-F.

Komponen-C2 adalah rangkaian seri dari komponen-G dan komponen-L. Komponen-C3 merupakan rangkaian paralel dengan paralel-1 adalah: komponen-N, komponen-D, komponen-F, dan komponen-O, dengan komponen paralel-2 yaitu komponen-M, dimana komponen-M merupakan sistem paralel dengan 3(tiga) komponen. Rangkaian seri-2 terdiri tiga kelompok yaitu: kelompok pertama adalah komponen-B, kelompok ke-2 adalah posisi paralel dua lajur yaitu: lajur komponen-H, dan lajur komponen seri dari komponen-D dan komponen-J. Kelompok ke-3 merupakan rangkaian seri dari komponen-I dan komponen-K.

## 4. Hasil dan Pembahasannya.

Hasil kaji teoritis ‘keandalan selang’ diperoleh. Harga awal posisi operasional berapapun ‘=1’ dan akhir selang menjadi misalnya 0.962897181 untuk *Grafiti Tank* dan 0.999228693 untuk *Feed Preheater & Discharge Filter* juga *Cylinder Pump*. Sebenarnya ketiga komponen yang disebut terakhir mempunyai ‘keandalan selang’ berbeda. Tetapi agar hemat, harmonisasi dilakukan sebelum operasional. Penelitian harmonisasi ini belum menjangkau aspek biaya. Sebelum komponen dioperasikan, harmonisasi juga diperlakukan misalnya untuk: komponen (A, E, G, H, I, K, Q), dan komponen (F, dan P).

Kemudian, prediksi ‘keandalan selang’ akhir setiap fase, dan koefisien persamaan ‘keandalan komponen’ dapat diperoleh, dari kurva ‘keandalan komponen’ *basic*. Hasil penelitian ‘keandalan komponen’ dengan awal operasional ‘=1’ menjadi pada *life time* sistem. terendah 0.128375155 untuk *Gravity Tank* dan tertinggi 0.860203764 untuk *Main Pump*.

Dengan memperhatikan konfigurasi sistem untuk operasional dengan perawatan wajar, satu harga ‘keandalan sistem’ setiap waktu operasi diperoleh. ‘Keandaan sistem’ *life time* adalah 0.238537755, dan ‘keandalan sistem’ ini lebih kecil dari 0.45 sehingga tidak memenuhi syarat BKI. Syarat BKI dicapai pada operasional 33 tahun dengan prediksi keandalan 0.45324116. Pemeriksaan kenyamanan berdasar JICA dilakukan dengan integrasi harga keandalan untuk setiap tahun operasi. Hasilnya prediksi ‘keandalan sistem’ lebih dari 0.8 dicapai sampai operasional 14 tahun, operasional selebihnya tidak memenuhi syarat.

Perbaikan ‘keandaan sistem’ agar memenuhi syarat, dilakukan simulasi dengan pilihan MAS. Simulasi tersebut adalah: *resetting* dengan *overhaul* setiap 5 tahun sekali, inovasi pada operasional setelah 14 tahun, asumsi inovasi untuk setiap 10 tahun, dan revitalisasi akibat kemajuan peralatan pendukung perbaikan komponen. ‘Keandalan komponen’ setelah *resetting* dianggap sama dengan keandalan sebelum *resetting* diberlakukan.

Setelah *overhaul* sampai 7 kali, syarat keselamatan BKI untuk ‘keandalan sistem’ *life time* terpenuhi dengan prediksi ‘keandalan sistem’ 0.700911958 dan lebih besar dari 0.45. Hasil lain setelah *overhaul* ke-7, prediksi keandalan lebih dari 0.8 bergeser dari posisi *basic* operasional tahun ke-14 menjadi pada posisi tahun ke-18. ‘Keandalan sistem’ plus

hasil inovasi setiap sepuluh tahun masih belum cukup untuk syarat JICA, yaitu 'keandalan sistem' setelah inovasi 0.78487819. Inovasi memberikan kenaikan prediksi 'keandalan sistem' belum signifikan. Keandaan lebih besar dari 0.8 setelah inovasi turun dari operasional tahun ke-18 menjadi operasional tahun ke-23.

Inovasi memperkecil gradien penurunan keandalan, sedang revitalisasi memperpanjang selang perawatan. 'Keandalan selang' akhir, diasumsikan sama dengan sebelum dilakukan revitalisasi. Umumnya revitalisasi fokus pada perbaikan prosedur perawatan komponen seperti tangki. Sistem pelumas ini mempunyai 6(enam) tangki yaitu: *Setting Tank*, *Gravity Tank*, *Sludge Tank*, *Drain Tank*, *Measurement Tank*, dan *Storage Tank*. Revitalisasi hanya dapat diberlakukan pada 6 tangki tersebut. 'keandalan komponen' *life time* hasil revitalisasi terkoreksi, misalnya: *Gravity Tank* dengan keandalan *life time* sebelum revitalisasi 0.128375155 sesudah revitalisasi menjadi 0.786674051.

6(enam) komponen setelah revitalisasi memberikan pertambahan 'keandalan sistem' *life time* yaitu: dari basic 0.700911958, hasil inovasi menjadi 0.761268357, setelah revitalisasi menjadi 0.825486621 dan lebih besar dari 0.8 sesuai syarat JICA.

## Kesimpulan

Keandaan sistem maintenance wajar adalah 0.238537755. Harga ini  $< 0.45$  sehingga tidak memenuhi BKI. Simulasi yang disarankan adalah: *resetting* dari *overhaul* 5 tahun sekali, inovasi setelah 14 tahun untuk setiap 10 tahun, dan 6(enam) komponen diberlakukan revitalisasi akibat kemajuan prosedur perbaikan komponen. Setelah simulasi, keandaan sistem *life time* 0.700911958  $> 0.45$ , 'keandalan sistem' rata-rata *life time* menjadi 0.825486621  $> 0.8$ , sesuai syarat JICA.

## Ucapan Terima Kasih

Makalah ini merupakan salah satu keluaran hasil penelitian yang didanai DIPA Kopertis Wilayah VII Surabaya. Ucapan terima kasih kami tujukan kepada Bapak Daniel M. Rosyid dan Bapak I Ketut Buda Artana atas kesempatan diskusi dan kesediaan untuk memberi ulasan dan saran perbaikan terhadap penelitian ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada DIPA Kopertis Wilayah VII Surabaya atas pendanaan penelitian

ini sesuai kontrak nomor DIPA SP-DIPA-023.04.2.415015/2014

## Daftar Pustaka

- [1] Moubray, J., (1992), "*Reliability Centered Maintenance*", (1992), Second Edition, Industrial Press Inc., 200 Madison Avenue, New York, Amerika Serikat.
- [2] Suef, M., dan Erwin, W., "Perancangan Sistem Manajemen Perawatan Kapal", (2008), Dalam *Prosiding Seminar Nasional, Peran Manajemen Teknologi dalam Meningkatkan Kinerja yang Dinamis—MMT VII 2008*, pp. A-14-1 sd. A-14-10.
- [3] IMO, (2004), 'Safety Life of Sea (SOLAS)', Laporan berdasar Consolidated Edition, International Marine Organization, 1 Juli 2004, London, UK.
- [4] Moran, B. M., Zulfikar, A., Sukumar, N., dan Xu, Y., (2004), '*Failure Prediction Methodology for Fatigue Reliability*, a post - doctoral research, Princeton University, Faculty of Civil Re-engineering, University of California, January 2001, Amerika Serikat.
- [5] Syamsuri, dan Bhimadi, T., "Management Decision Making for Extended Crow Method to Predict Reliability of Ship Oil System", (2011), Dalam *Proceeding of Annual Indonesian Scholar Conference in Taiwan, March 17-19*, pp. 77-82.
- [6] Bhimadi, T., "Tindakan Manajemen untuk Sistem Pelumas Kapal Caraka Niaga-III Berbasis Keandalan", (2013), Dalam *jurnal IPTEK Media Komunikasi Teknologi ITATS-Surabaya*, pp. 86-95.
- [7] Pertamina Shipping, (2007), '*Planned Maintenance System Manual*', Direktorat Pemasaran dan Niaga Perkapalan, PT. Pertamina (Persero), Jakarta.
- [8] Priyatna, D. , (2008), "Keandalan dan Perawatan", Laporan Berdasar Pelaksanaan Program Pendidikan Tinggi Teknik, Register NE 1602, FT-ITS, Surabaya.
- [9] Hananto, W., Bhimadi, T., "Kaji Laju Kerusakan Komponen Sistem Propulsi Pada Model Keandalan Sistem Kompleks

- Dalam Kapal Tanker”, (2010), Dalam *Proceeding Seminar Nasional Rekayasa Teknik Industri dan Informasi, 18 Desember, Sekolah Tinggi Teknik Nasional, Yogiakarta*, pp. 46-51.
- [10] Artana, K. B., dan K. Ishida, “Spreadsheet Modelling of Optimal Maintenance Schedule for components in Wear-out Phase”, (2001), Dalam *Journal of Reliability Engineering and System Safety*. Reiburg, Germany, 17 (2002), pp. 81-91.
- [11] Pertamina Shipping, (2008), “Equipment Status Report”, Output Program *Planned Maintenance System Tanker* Ketaling, issue, 4 Juni 2011, Jakarta.
- [12] Barlow ,R. E., “Mathematical Theory of Reliability” (1996) SIAM edition, John Willey and Sons Inc., New York, Amerika Serikat.
- [13] Denson,W., Chandler, G., Crowell, W., dan Wanner, R., (1991), “Nonelectronic Parts Reliability Data 1991”, Laporan berdasar kontrak *Reliability Analysis Center Lab*. Roma, register NY 13441-5700, Itali.