

PENERAPAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) BERBASIS WEB PADA SISTEM PENDINGIN PRIMER DI REAKTOR SERBA GUNA GA. SIWABESSY

MOHAMMAD TAHRIL AZIS¹, M. SALMAN SUPRAWARDANA¹,
TEGUH PUDJI PURWANTO²

¹*Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN),
Jl. Gajah Mada 8, Jakarta Pusat, 10120*

²*Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik UGM,
Jl. Grafika No.2 Kampus UGM Yogyakarta 55281*

Abstrak

PEMILIHAN METODE RCM (*RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*) PADA SISTEM PENDINGIN PRIMER PADA RSG GA. SIWABESSY. Terkait fungsinya sebagai pendingin utama reaktor RSG GA. Siwabessy, untuk menjamin suhu di dalam teras dan reflektor sesuai batas operasi yang diijinkan selama reaktor beroperasi. Komponen-komponen sistem pendingin primer yang terkait harus mengacu pada daya termal reaktor dan dapat meminimalkan kebolehjadian kegagalan (*failure*) pada komponen supaya dalam pengoperasiannya reaktor aman dan selamat. Pengembangan RCM (*Reliability Centered Maintenance*) berbasis web dengan perangkat lunak *Free Open Source Software* (FOSS) / GPL (*General Public License*), akan membantu sebagai sistem informasi pendukung perawatan yang bisa bekerja dalam jaringan intranet/internet. *Free Open Source Software* (FOSS) merupakan perangkat lunak yang dapat memberikan jaminan kepada penggunaannya untuk melakukan pengembangan, sharing dan melakukan perubahan jika diperlukan, terutama pengguna merasa yakin bahwa software tersebut benar-benar legal dan bebas (*free software*). Metode RCM merekomendasikan sebanyak 52 jenis perawatan dari *task selection* untuk diterapkan pada sistem pendingin primer dengan rincian 35% *time directed* (18 task), 63% *condition directed* (33 task) dan 1% *failure finding* (1 task).

Kata kunci: *Reliability Centered Maintenance, Free Open Source Software, Sistem Pendingin Primer, Web based System*

Abstract

THE SELECTION METHOD OF RCM IN THE PRIMARY COOLING SYSTEM OF RSG GA. SIWABESSY RELATED TO FUNCTIONS AS THE PRIMARY COOLING REACTOR RSG GA. SIWABESSY. Reactor RSG GA. Siwabessy to ensure the temperature inside the reactor core and reflectors within the limits of allowable operations during reactor operation. The primary cooling system components must refer to the thermal power reactors and to minimize failure probability of components to operate the reactor in safe and secure. The RCM

Method Development (Reliability Centered Maintenance) with a web-based Free Open Source Software (FOSS)/GPL (General Public License), will assist the maintenance support information system that can work in the intranet / internet. Free Open Source Software (FOSS) is software that can provide assurance to the user to perform the development, sharing and make changes if necessary, especially users feel confident that the software actually legal and free (free software). The RCM method recommends maintenance types of 52 task selection to be applied in the primary cooling system with details time directed (td) 35% (18 tasks), condition directed (cd) 63% (33 tasks) and 1% failure finding (1 task).

Keywords: Reliability Centered Maintenance, Free Open Source Software, Primary Cooling system , Web based System.

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor penelitian yang digunakan untuk penelitian, melayani kegiatan iradiasi, pendidikan dan pelatihan Fasilitas RSG-GAS dimiliki oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Keselamatan pengoperasian reaktor sangat erat kaitannya dengan konsep keandalan (*reliability*). Konsep tersebut membahas keandalan sistem yang digunakan untuk mengoperasikan reaktor dan keandalan sistem yang digunakan untuk mengantisipasi munculnya kebolehjadian kecelakaan awal. Keandalan pengoperasian reaktor dibangun dari keandalan masing-masing sistem dan keandalan masing-masing komponen penyusun sistem.

Program perawatan peralatan instalasi sistem pendingin primer di Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) terbagi dalam dua bagian yaitu perawatan pencegahan (*Preventive Maintenance*) dan perawatan perbaikan (*Corrective Maintenance*). Perawatan pencegahan terdiri dari kegiatan service, uji operasi dan inspeksi secara rutin yang terjadwal. Sedangkan perawatan perbaikan disebabkan karena gangguan/kerusakan pada sistem atau komponen yang tidak terjadwal.

Penerapan metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*)^[1] sudah lama dipakai di industri khususnya industri penerbangan komersial yang sekarang berkembang di berbagai sektor industri. Pada umumnya perangkat lunak (*software*) komputer untuk RCM merupakan perangkat lunak berlisensi yang tidak gratis dan hanya bisa bekerja atau diinstal untuk satu komputer (*stand alone*) saja. Pengembangan RCM berbasis web merupakan sistem informasi pendukung perawatan yang bisa bekerja dalam jaringan intranet/internet dengan perangkat lunak *Free Open Source Software (FOSS) / GPL (General Public License)*, yaitu perangkat lunak yang memberikan jaminan kepada pengguna untuk melakukan duplikasi (*sharing*) serta melakukan perubahan jika diperlukan pada perangkat lunak yang

didapatkannya, terutama untuk meyakinkan kepada pengguna tersebut bahwa *software* tersebut benar-benar bebas (*free software*).

Penerapan metode RCM akan memberikan keuntungan yaitu : keselamatan dan integritas lingkungan menjadi lebih lebih diutamakan, prestasi operasional yang meningkat, efektifitas biaya operasi dan perawatan yang lebih rendah, meningkatkan ketersediaan dan reliabilitas peralatan, umur komponen yang lebih lama, basis data yang lebih komprehensif, motivasi individu yang lebih besar, dan kerja sama yang baik diantara bagian-bagian dalam suatu instalasi.

Batasan masalah pengerjaan dan pembahasan ini sebagai berikut : (1) penelitian ini dilaksanakan pada sistem pendingin primer di Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS), (2) analisa RCM dilakukan hanya pada komponen utama sistem pendingin primer yaitu pompa, alat penukar panas dan katup dengan menggunakan metode tujuh langkah proses RCM, (3) data kegagalan dan kerusakan yang digunakan adalah data pada periode tanggal 1 Januari 2007 sampai dengan 30 Oktober 2008, dan (4) penelitian ini tidak dilakukan perhitungan biaya hasil pemeliharaan sistem pendingin primer.

Tujuan penelitian ini adalah : (1) mengetahui penerapan metode RCM untuk sistem pendingin primer yaitu dengan mendefinisikan fungsi dan kegagalan fungsi setiap aset-aset dalam sistem pendingin primer, serta mengidentifikasi failure mode, failure cause, dan failure effect dari kegagalan fungsi sistem pendingin primer; (2) pembuatan program komputer metode RCM berbasis web sebagai sistem informasi pendukung perawatan yang bisa bekerja dalam jaringan intranet/internet dengan perangkat lunak Free Open Source Software (FOSS) / GPL (General Public License).

Hasil penelitian ini diharapkan bisa menambah wawasan manajemen perawatan sistem pendingin primer dengan metode RCM (Reliability Centered Maintenance), untuk dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menerapkan kebijakan manajemen perawatan yang lebih baik.

TEORI

Reliability Centered Maintenance (RCM) mempunyai beberapa definisi adalah sebagai berikut :

1. *Reliability Centered Maintenance*^[1] adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dikerjakan untuk menjamin setiap aset fisik tetap bekerja sesuai yang diinginkan atau suatu proses untuk menentukan perawatan yang efektif.
2. *Reliability Centered Maintenance*^[2] adalah suatu pendekatan pemeliharaan yang mengkombinasikan praktek dan strategi dari *preventive maintenance* (*pm*) dan *corective maintenance* (*cm*) untuk

memaksimalkan umur (*life time*) dan fungsi aset / sistem / equipment dengan biaya minimal (*minimum cost*).

Prinsip – Prinsip RCM adalah^[3]: (1) memelihara fungsional sistem, bukan sekedar memelihara suatu sitem/alat agar beroperasi tetapi memelihara agar fungsi sistem / alat tersebut sesuai dengan harapan, (2) lebih fokus kepada fungsi sistem daripada suatu komponen tunggal, yaitu apakah sistem masih dapat menjalankan fungsi utama jika suatu komponen mengalami kegagalan; (3) berbasiskan pada kehandalan yaitu kemampuan suatu sistem/equipment untuk terus beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan; (4) bertujuan menjaga agar kehandalan fungsi sistem tetap sesuai dengan kemampuan yang didesain untuk sistem tersebut; (5) mengutamakan keselamatan (*safety*) baru kemudian untuk masalah ekonomi; (6) RCM mendefinisikan kegagalan (*failure*) sebagai kondisi yang tidak memuaskan (*unsatisfactory*) atau tidak memenuhi harapan, sebagai ukurannya adalah berjalannya fungsi sesuai *performance standard* yang ditetapkan; (7) RCM harus memberikan hasil-hasil yang nyata / jelas, Tugas yang dikerjakan harus dapat menurunkan jumlah kegagalan (*failure*) atau paling tidak menurunkan tingkat kerusakan akaibat kegagalan.

Metode RCM

Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi^[4]

Pemilihan sistem dapat didasarkan pada beberapa aspek kriteria yaitu :

1. Sistem yang mendapat perhatian yang tinggi karena berkaitan dengan masalah keselamatan (*safety*) dan lingkungan
2. Sistem yang memiliki *preventive maintenance* dan/atau biaya *preventive maintenance* yang tinggi.
3. Sistem yang memiliki tindakan *corrective maintenance* dan/atau biaya *corrective maintenance* yang banyak.
4. Sistem yang memiliki kontribusi yang besar atas terjadinya *full* atau *partial outage* (atau *shutdown*)

Dokumen atau informasi yang dibutuhkan dalam analisis RCM antara lain :

1. *Piping & Instrumentation Diagram (P&ID)* merupakan ilustrasi skematik dari hubungan fungsi antara perpipaian, instrumentasi, komponen peralatan dan sistem
2. *Schematic / Block Diagram* merupakan sebuah gambaran dari sistem, rangkaian atau program yang masing-masing fungsinya diwakili oleh gambar kotak berlabel dan hubungan diantaranya digambarkan dengan garis penghubung.
3. *Vendor Manual* yaitu berupa dokumen data dan informasi mengenai desain dan operasi tiap peralatan (*equipment*) dan komponen.

4. Equipment History yaitu kumpulan data kegagalan (*failure*) komponen dan peralatan dengan data *corrective maintenance* yang pernah dilakukan.

Definisi Batas Sistem ^[4]

Definisi batas sistem (*system boundary definition*) digunakan untuk mendefinisikan batasan – batasan suatu sistem yang akan dianalisis dengan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), berisi tentang apa yang harus dimasukkan dan yang tidak dimasukkan ke dalam sistem sehingga semua fungsi dapat diketahui dengan jelas dan perumusan *system boundary definition* yang baik dan benar akan menjamin keakuratan proses analisis sistem.

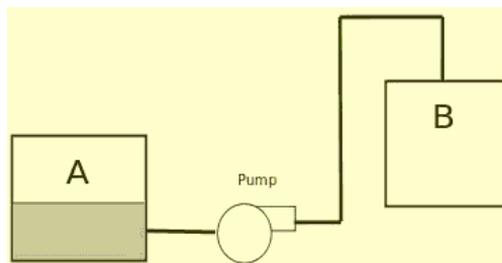
Deskripsi Sistem dan Diagram Blok Fungsional ^[5]

Deskripsi sistem dan diagram blok merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem yang berupa blok – blok yang berisi fungsi – fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut, maka dibuat tahapan identifikasi detail dari sistem yang meliputi :

1. Deskripsi sistem
2. Functional Block Diagram
3. IN / OUT Interface
4. System Work Breakdown System

Fungsi dan Kegagalan Fungsional ^[6]

Fungsi (*Function*) adalah kinerja (*performance*) yang diharapkan oleh suatu sistem untuk dapat beroperasi, misalnya Gambar 1 tentang fungsi pompa. *Functional Failure* (FF) didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu komponen /sistem untuk memenuhi standar prestasi (*performance standard*) yang diharapkan. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Fungsi Pompa : Memompakan Fluida dari Tangki A ke Tangki B dengan Kapasitas 300 m³/Jam

RCM						
Step 4		:	<i>System Function and Functional Failure</i>			
Info		:	<i>Function and Functional Failure</i>			
Plant		:	Reaktor RSG GA Siwabessy	Analyst	:	M. Tahril Azis
System		:	Sistem Pendingin Primer	Date	:	
Komp.		:	Pompa JE 01 AP 01		:	
No	Kode	Nama Item	Functions (F)		Failure Function (FF)	
			Kode	Fungsi	Kode	Kegagalan Fungsi
1	A1		1.1			
1						
1						
1						
2	A2		2.1			
2						
2						

Gambar 2. Form Fungsi Sistem dan Fungsi Kegagalan ^{[6] [7]}

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) ^[6]

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah proses mengidentifikasi kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari sistem. Bentuk FMEA ditunjukkan pada Gambar 3. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* meliputi pengidentifikasian yaitu :

1. *Failure Cause* : penyebab terjadinya *failure mode*
2. *Failure Effect* : dampak yang ditimbulkan *failure mode*, *failure effect* ini dapat ditinjau dari 3 sisi level yaitu :
 - a. Komponen / Lokal
 - b. Sistem
 - c. *Plant*

Logic Tree Analysis (LTA) ^[6]

Penyusunan *Logic Tree Analysis (LTA)* merupakan proses yang kualitatif yang digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing – masing *failure mode*.

Tujuan *Logic Tree Analysis (LTA)* adalah mengklasifikasikan *failure mode* ke dalam beberapa kategori sehingga nantinya dapat ditentukan tingkat prioritas dalam penanganan masing-masing *failure mode* berdasarkan kategorinya . Format LTA pada pompa ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Logic Tree Analysis* pada pompa^[8]

No	Functional Failure	No	Failure Mode	Criticality Analysis				Com
				Evident	Safety	Outage	Category	
.1. 1.1	Air tidak mengalir	1	Bearing rusak	Y	N	Y	B	
		2	Motor terbakar	Y	N	Y	B	
		3	Impeller rusak	Y	N	Y	B	

Tiga pertanyaan tersebut adalah sebagai berikut :

1. **Evident** yaitu : Apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem ?
 2. **Safety** yaitu : Apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
- Outage** yaitu : Apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin berhenti?

RCM										
Step 5		: <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>								
Info		: <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>								
Plant		: Reaktor RSG GA Siwabessy					Analyst		: M. Tahril Azis	
System		: Sistem Pendingin Primer					Date		:	
Komp.		: Pompa JE 01 AP 01								
No	ID	Asset name	F	FF	Failure Mode (FM)	Failure Cause	Failure Effect			LTA
							Local	Syst.	Plant	

Gambar 3. Form *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)^[6]

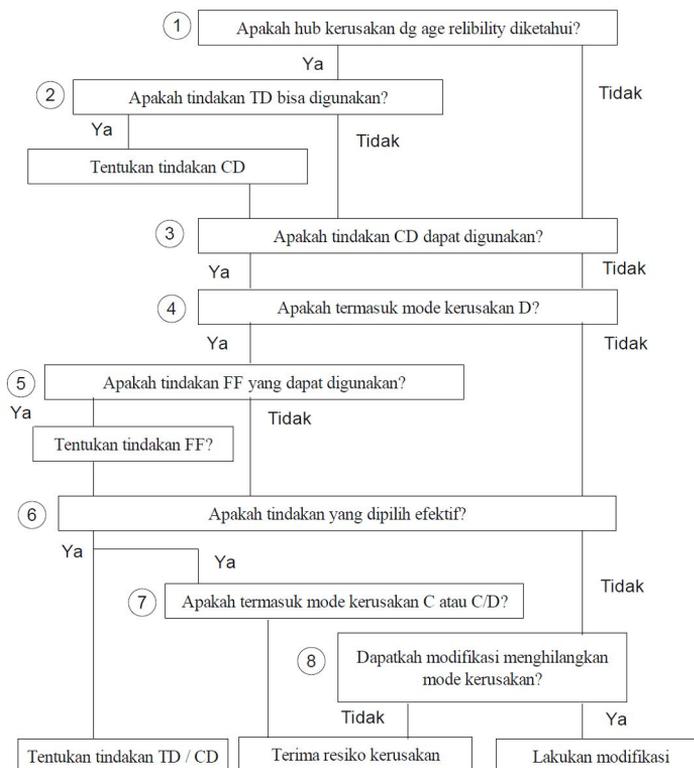
Berdasarkan LTA tersebut *failure mode* dapat digolongkan dalam empat kategori yaitu :

1. **Kategori A**, jika *failure mode* mempunyai konsekuensi *safety* terhadap personel maupun lingkungan.
2. **Kategori B**, jika *failure mode* mempunyai konsekuensi terhadap operasional plant (mempengaruhi kuantitas ataupun kualitas *output*) yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi secara signifikan.
3. **Kategori C**, jika *failure mode* tidak berdampak pada *safety* maupun operasional plant dan hanya menyebabkan kerugian ekonomi yang relatif kecil untuk perbaikan.

4. **Kategori D**, jika *failure mode* tergolong sebagai *hidden failure*, yang kemudian digolongkan lagi ke dalam kategori D/A, kategori D/B, dan kategori D/C.

Pemilihan Tindakan (*Task Selection*)

Pemilihan tindakan merupakan tahap terakhir dari proses analisa RCM. Dari tiap *mode* kerusakan dibuat daftar tindakan yang mungkin untuk dilakukan dan selanjutnya memilih tindakan yang paling efektif. Gambar 4 merupakan diagram alir pemilihan tindakan.



Gambar 4. Diagram Alir Pemilihan Tindakan

Dalam pelaksanaannya pemilihan tindakan dapat dilakukan dengan empat cara yaitu:

1. *Time Directed* (TD)

Suatu tindakan yang bertujuan melakukan pencegahan langsung terhadap sumber kerusakan peralatan yang didasarkan pada waktu atau umur komponen.

2. *Condition Directed* (CD)

Suatu tindakan yang bertujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan cara memeriksa alat. Apabila dalam pemeriksaan ditemukan gejala-gejala

kerusakan peralatan maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.

3. *Failure Finding* (FF)

Suatu tindakan yang bertujuan untuk menemukan kerusakan peralatan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala.

4. *Run to Failure* (RTF)

Suatu tindakan yang menggunakan peralatan sampai rusak, karena tidak ada tindakan yang ekonomis dapat dilakukan untuk pencegahan kerusakan.

METODOLOGI

Metodologi Penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) berbasis Web pada Sistem Pendingin Primer Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy ini dilakukan secara bertahap, yang tersusun dalam langkah – langkah sebagai berikut:

Objek Penelitian

Sistem Pendingin Primer Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) di Serpong, Kabupaten Tangerang.

Data yang digunakan

Data yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini adalah data yang berhubungan dengan objek penelitian yang diperlukan untuk proses analisa RCM yaitu :

1. Dokumen Permintaan Perbaikan dan Ijin Kerja (PPIK)
2. Dokumen Penuan Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS)
3. Laporan Analis Keselamatan (LAK)
4. Manual Operasi Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS)
5. *Maintenance and Repair Manual : Primary Cooling System JE-01.*

Metode Pengumpulan Data

1. Studi Literatur
Studi literatur berkaitan dengan studi dan pencarian literatur, prosiding seminar, journal dan Tugas Akhir yang berkaitan dengan metode *Reliability Cenetered Maintenance* (RCM), seperti perawatan dengan metode RCM dan Sistem Pendingin Primer di RSG-GAS.
2. Studi Lapangan
Melakukan kunjungan langsung ke Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) di Serpong - kabupaten Tangerang, untuk mempelajari dan mengambil data – data yang berkaitan dengan sistem pendingin primer.
3. Tanya Jawab

Wawancara, diskusi atau tanya jawab secara langsung dengan petugas, teknisi lapangan dan pejabat di lingkungan Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).

Pembuatan Program Komputer

Instal Ubuntu 9.04 (*Jaunty Jackalope*)

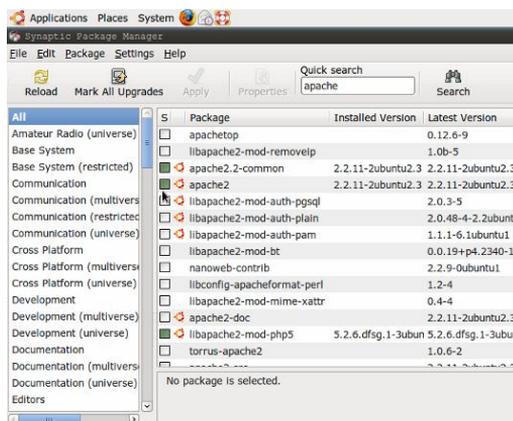
Pembuatan program komputer berbasis web pada tugas akhir ini menggunakan *operating system* (OS) Ubuntu 9.04 *Jaunty Jackalope* yaitu salah satu distribusi linux yang berbasiskan debian yang tersedia secara bebas dan mempunyai dukungan yang berasal dari komunitas linux maupun tenaga profesional, Ubuntu 9.04 disponsori oleh Canonical Ltd. Gambar 5 merupakan tahapan awal instalasi Ubuntu 9.04.

Apache Web server

Sebelum membuat program (*scripting*) komputer, terlebih dahulu harus diinstal apache web server melalui *synaptic package manager* yang terdapat pada menu di ubuntu atau bisa secara manual, seperti pada Gambar 6



Gambar 5. Tahapan Awal Instalasi Ubuntu 9.04



Gambar 6. Instal Apache Web Server melalui *Synaptic Package Manager*

Apache berguna untuk melayani dan memfungsikan web. World Wide Web (www) merupakan aplikasi internet / intranet yang paling sukses dan merupakan komponen utama dari web server.

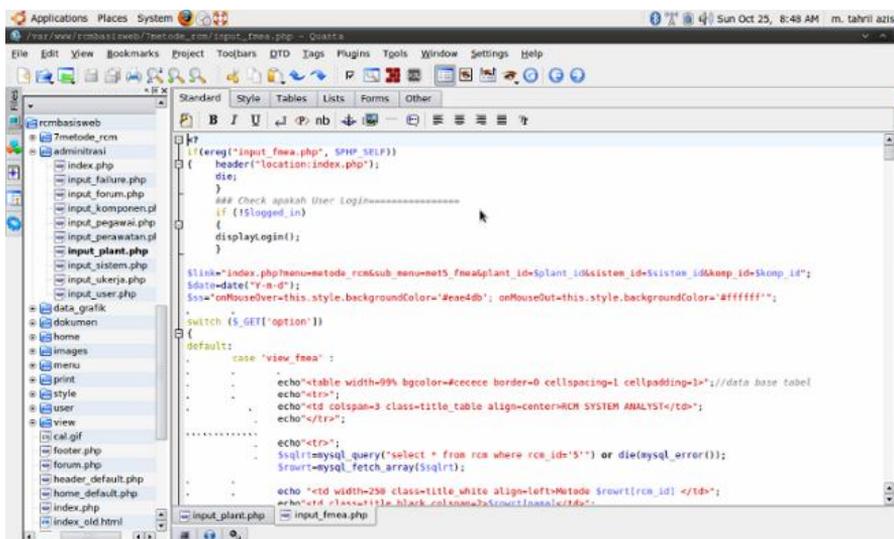
Pembuatan Program dengan *Script PHP*

Pembuatan program komputer menggunakan PHP 5 yaitu bahasa pemrograman *script* yang dinamis dan dapat dijalankan sebagai aplikasi web yang memerlukan web server, PHP merupakan bahasa pemrograman yang kaya dengan *library* untuk pengembangan aplikasi mulai dukungan ke data base management system dan dukungan *library Graphical User Interfaces* (GUI). Gambar 7 merupakan langkah penulisan *script php*.

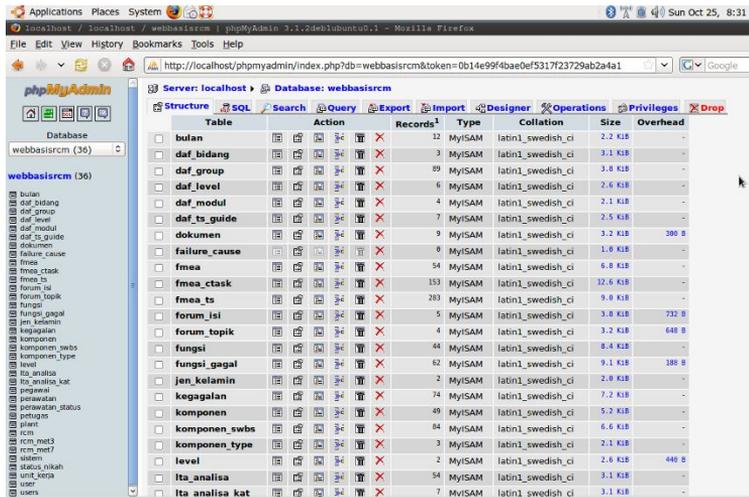
MySQL dan Relational Database Management System (RDBMS)

MySQL merupakan Database Management System SQL open source yang paling populer yang dikembangkan dan didistribusikan dan didukung oleh MySQL AB yaitu sebuah perusahaan *open source* yang didirikan oleh para pengembang MySQL .

Untuk memudahkan pengelolaan database MySQL, perlu alat bantu administrasi data base berbasis web yang dibuat khusus yaitu phpMyAdmin atau phpMyAdmin merupakan *front-end* data base berbasis web seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 8



Gambar 7. Penulisan *Script php* dengan *Quanta Editor*

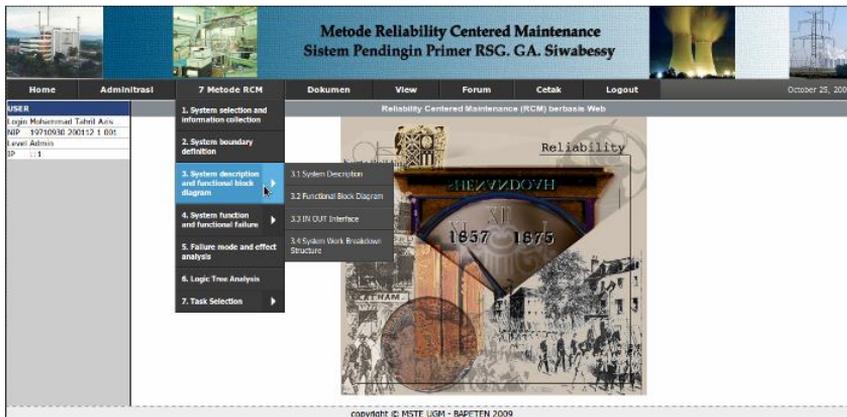


Gambar 8. Sistem Admintrasi Web Data Base dengan *phpmyadmin*

Relational data base menggabungkan tabel-tabel dengan berbagai metode untuk dapat bekerja sama, hubungan – hubungan antar tabel data dapat dibandingkan, disatukan dan ditampilkan dalam *form – form data base*.

Perancangan Web (*Web Design*)

Perancangan halaman web (*web page*) dibuat sedemikian rupa, sehingga tampilannya dapat menarik dan mudah digunakan (*user friendly*), seperti pembuatan halaman login, menu, grafik dan lain-lain. Tampilan ini ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Perancangan web, Halaman Utama dan Menu

HASIL DAN PEMBAHASAN

System Selection and Information Collection

Pemilihan sistem pendingin primer pada RSG – GAS terkait fungsinya sebagai pendingin utama reaktor RSG – GAS, untuk menjamin suhu di dalam teras dan reflektor sesuai batas operasi yang diijinkan selama reaktor beroperasi.

Tabel 2. Data Komponen Sistem Pendingin Primer di RSG GA. Siwabessy

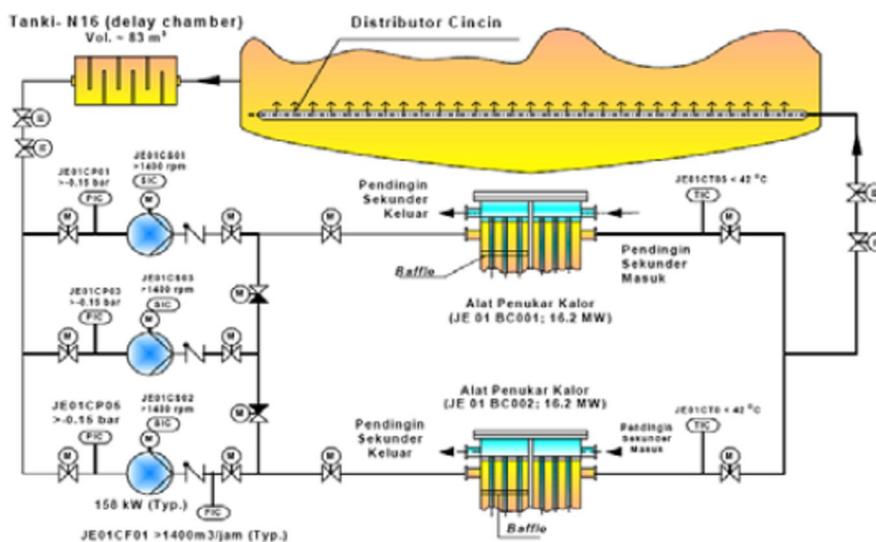
No	Nama Komponen	Kode
1	Pompa	JE 01 AP 01
2	Pompa	JE 01 AP 02
3	Pompa	JE 01 AP 03
4	Katup	JE 01 AA 01
5	Katup	JE 01 AA 02
6	Katup	JE 01 AA 03
7	Katup	JE 01 AA 04
8	Katup	JE 01 AA 05
9	Katup	JE 01 AA 06
10	Katup	JE 01 AA 07
11	Katup	JE 01 AA 08
12	Katup	JE 01 AA 09
13	Katup	JE 01 AA 10
14	Katup	JE 01 AA 11
15	Katup	JE 01 AA 12
16	Katup	JE 01 AA 13
17	Katup	JE 01 AA 14
18	Katup	JE 01 AA 15
19	Katup	JE 01 AA 16
20	Katup	JE 01 AA 17
21	Katup	JE 01 AA 18
22	Katup	JE 01 AA 19
23	Penukar Panas	JE 01 BC 001
24	Penukar Panas	JE 01 BC 002

Komponen – komponen sistem pendingin primer yang terkait harus mengacu pada daya termal reaktor dan dapat meminimalkan kebolehjadian kegagalan (*failure*) pada komponen supaya dalam pengoperasiannya reaktor aman dan selamat. Komponen – komponen dalam sistem pendingin primer yaitu pada Tabel 2.

Sedangkan pengumpulan data – data kegagalan (*failure mode*) dan kerusakan yang digunakan adalah data pada periode tanggal 01 – 01 – 2007 sampai dengan 30 – 10 – 2008

System Boundary Definition

Sistem pendingin reaktor terdiri dari sistem pendingin primer, sistem pendingin sekunder dan sistem pendingin kolam, pada pembahasan ini hanya dipilih sistem pendingin primer, seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Sistem Pendingin Primer

System Description

Sistem pendingin primer berfungsi mengambil panas dari teras dan reflektor, Air pendingin primer diisap melalui teras dan reflektor kemudian keluar melalui pipa outlet utama. Pendingin mengalir melalui pipa tersebut ke dalam *delay chamber* yang berada di sebelah kolam reaktor, untuk memperlambat jalannya aliran sehingga peluruhan N-16 (waktu paroh 7,2 detik) diluruhkan dalam waktu yang cukup kira – kira 50 detik.

Tiga pompa primer mempunyai jenis dan kemampuan sama, pada operasi normal dua pompa beroperasi secara paralel dan pompa ketiga sebagai cadangan (tidak beroperasi bila reaktor sedang dioperasikan).

Air pendingin primer mengalir melewati saluran sel penukar panas, sebelum kembali ke kolam reaktor, outlet kedua penukar panas digabung melewati satu pipa aliran balik, Pipa ini melewati ruang katup kemudian menembus dinding kolam reaktor dan berakhir pada distributor cincin yang berada di dasar kolam (level +4 m) dimana air primer yang telah dingin dipancarkan keluar. Setelah dipancarkan, air diisap ke dalam teras reaktor melalui bagian atas teras.

System function and functional failure

Selanjutnya metode RCM yang ke 4 adalah mendefinisikan fungsi dan kegagalan fungsi. Contoh pendefinisian fungsi dan kegagalan fungsi dari pompa pendingin primer dapat dilihat pada Tabel 3 Fungsi dan kegagalan fungsi.

Tabel 3. Fungsi dan Kegagalan Fungsi dari Pompa

No	Fungsi	Kegagalan fungsi
1	Mengalirkan air pendingin dari teras reaktor menuju satuan penukar panas (HE) dan Menghasilkan aliran yang mencukupi dalam pengambilan panas yang dibangkitkan dari permukaan pelat bahan bakar nuklir.	<p>1.1 Air pendingin yang mengalir dari teras menuju ke HE tidak mencukupi dan Air pendingin yang mengalir melalui teras untuk mendinginkan teras tidak menjadi berkurang</p> <p>1.2 Aliran pendingin sirkulasi primer akan lebih kecil dari 2150 m³/Jam, Panas yang harus dibuang dari elemen bakar nuklir menjadi berkurang, sehingga dapat meningkatkan akumulasi panas pada bundel bahan bakar</p>
2	Menghasilkan tekanan air pendingin dalam loop primer merata di sepanjang pipa, dan mendorongnya ke dalam penukar panas (HE).	2.1 Tekanan air pendingin didalam pipa primer meningkat apabila terjadi penurunan aliran air menjadi > 0,25 Bar

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA mengidentifikasi 54 *failure mode* yang berpotensi menyebabkan terjadinya *functional failure* pada komponen sistem pendingin primer. Dari *failure mode* tersebut diidentifikasi *failure cause* karena kegagalan indikasi pada *mechanical* 59 %, *electrical* 31% dan *instrumentation* 10%. Analisa dilakukan pula pada *failure effect* terhadap *local* (komponen), *system* (pendingin primer) dan *plant* (RSG-GAS).

Selanjutnya dari 54 *failure mode* tersebut akan dianalisis lebih lanjut dengan *Logic Tree Analysis* (LTA). Dasar yang digunakan dalam

menentukan failure mode yang akan dimasukkan dalam LTA adalah efek yang ditimbulkan terhadap sistem.

Logic Tree Analysis (LTA)

Hasil *Logic Tree Analysis* yang ditunjukkan pada Tabel 4, dari total 54 failure mode menunjukkan bahwa 24 % diantaranya adalah kategori A, 65 % kategori A/B, 7% kategori B, 4% kategori C, sedangkan untuk kategori D/A, D/B dan D/C adalah 0% hal ini karena operator mengetahui dalam kondisi normal telah terjadi gangguan dalam sistem, sehingga jarang terjadi peristiwa *hidden failure*. Setiap terjadi gangguan pada sistem langsung ditangani oleh petugas perawatan dari hasil laporan operator pada hari itu juga.

Tabel 4. Hasil *Logic Tree Analysis*

Kategori	Failure Mode	
	Jumlah	%
A	13	24.00%
B	4	7.00%
C	2	4.00%
A/B	35	65.00%
D/A	0	0.00%
D/B	0	0.00%
D/C	0	0.00%

Task Selection

Analisis *task selection* untuk mengidentifikasi *candidate task* terhadap 52 *failure mode* kecuali kategori pada LTA. Tabel 5 merupakan hasil *task selection process* menurut jenis perawatannya.

Tabel 5. Hasil *Task Selection Proses*

Decision Task	Jumlah
<i>Time Directed (TD)</i>	18
<i>Condition Directed (CD)</i>	33
<i>Failure Finding (FF)</i>	1
<i>Run to Failure (RTF)</i>	-

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil analisa dan pembahasan adalah sebagai berikut :

1. Data kegagalan (*failure mode*) pada sistem pendingin primer di RSG-GAS karena kegagalan indikasi pada *mechanical* 59 %, *electrical* 31% dan *instrumentation* 10%.
2. *Logic Tree Analysis* dari total 54 failure mode menunjukkan bahwa 24 % diantaranya adalah kategori A, 65 % kategori A/B, 7% kategori B, 4% kategori C, sedangkan untuk kategori D/A, D/B dan D/C adalah 0%.
3. Metode RCM merekomendasikan sebanyak 52 jenis perawatan dari *Task selection* untuk diterapkan pada sistem pendingin primer dengan rincian 35% *time directed* (18 *task*), 63% *condition directed* (33 *task*) dan 1% *failure finding* (1 *task*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Yusi Eko Yulianto, Dipl.Ing, Kepala Bidang Sistem Reaktor, RSG GA. Siwabessy – BATAN atas waktu, kesempatan dan dukungannya yang diberikan kepada penulis; Ir. Sugeng Sumbarjo.M.Eng, Kepala Biro Perencanaan - BAPETEN, pemerhati dan pelaku Bapeten *Go Open Sources* (BAGOES); Heru Eka Sanjaya, A.Md, atas bantuannya sebagai teman tempat bertanya dan memberikan solusi dalam penyelesaian *scripting* program; dan semua pihak terkait, penulis tidak dapat menyebutkan satu – persatu.

DAFTAR PUSTAKA

1. MOUBRAY, JOHN, 1992, *Reliability Centered Maintenance*, Second Edition, Industrial Press Inc.
2. HENLEY, E.J dan H. KUMAMOTO, 1981, *Reliability Engineering and Risk Assesment*, New Jersey : Prentice Hall.
3. RAUSAND, MARVIN, 1998, *Reliability Centered Maintenance*, Department of Production and Quality Engineering, Norwegian University Science and Technology.
4. DEPHANDE, V.S. and JP MODAK, 2001, *Application of RCM to Medium Scale Industry*, Department of Mechanical Engineering, P.C.E. & A, Nagpur University, Maharashtra, India.
5. IAEA-TEC DOC 658, 1992, “Safety related maintenance in the framework of the reliability centered maintenance concept”, Vienna: IAEA.
6. IAEA-TECDOC 1590, 2007, “Aplication of Reliability Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plant”, Vienna: IAEA.

7. WILDAN, M. WAZIZ, 2009, "Handout Mata Kuliah Sistem Perawatan, Reliability Centered Maintenance (RCM)", Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik UGM,
8. SUPRAWHARDANA, M. SALMAN, SUPRIYONO, 2001, "Uji Mutu Pompa Daya 160KW Menggunakan Analisis Reliabilitas", Laporan Teknis Berkala MIPA Vol. 9 No.1 Maret 2001.