

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eko sasmito hadi, Parlindungan manik. *Analisa keandalan terhadap lifetime system pendingin kapal ikan KM. Rukun arta sentosa 06 menggunakan refrigeran co2 dan kompresi bantu dari energy panas*. Teknik perkapalan FT-UNDIP. Semarang.
- [2] Legisnal hakim. 2014. *Analisa RCM pada motor diesel penggerak generator daya 320 kVA sumber kelistrikan di hotel sapadia rokan hulu*. Jurnal ARTEK Volume 6 Nomor 2.
- [3] Martinus arfendo waroy, Untung budiarto. 2016. *Analisa perawatan berbasis keandalan pada fuel oil system KM. Siguntang dengan metode Reliability centered maintenance (RCM)*. Jurnal teknik perkapalan FT-UNDIP-Volume 4, Nomor 1.
- [4] M. Rusydi Alwi. 2016. *Reliability Centered Maintenance dalam perawatan f.o service pump system bahan bakar kapal ikan*. Jurnal riset dan teknologi kelautan (JRTK) Volume 14, Nomor 1.
- [5] Priyanta, Dwi. 1999. *Studi Desain Pretreatment and HFO Cleaning System Pada Kapal Cargo Yang Berbasis Reliability*. ITS. Surabaya
- [6] Rino Eldika. 2011. *Analisis keandalan sistem instrumentasi pltg di pt. Pln pltd/g teluk lembu pekanbaru*. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Pekanbaru
- [7] Untung B, Eko sasmito. 2008. *Analisa keandalan system bahan bakar motor induk pada KM. Leuser*. Program studi teknik perkapalan FT-UNDIP. Semarang.
- [8] Yuniar E. priharanto, M. zaki latif. 2017. *Penilaian risiko pada mesin pendingin di kapal penangkap ikan dengan pendekatan FMEA*. Politeknik kelautan dan perikanan sorong. Kota sorong.
- [9] Zulkifli, 2000. *Studi Evaluasi Sistem Pendinginan Air Tawar Dan Pemodelan Perawatan Berbasis Keandalan*, ITS. Surabaya.

## **LAMPIRAN 1**

### **KUISIONER FMEA DAN PERHITUNGAN NILAI RPN**

## LAMPIRAN 1

### Kuisisioner FMEA

#### 1. Tangki Induk Air Tawar (Service Tank)

- a. Potensi kegagalan dan penyebab kerusakan pada komponen adalah?

Jawab: Kebocoran tangki karena usia plat tangki yang sudah tua

- b. Apa akibat dari kerusakan pada komponen ?

Jawab: Suply air yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari kurang maksimal

- c. Apa efek lanjutan akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab: Kurangnya volume air dalam tangki

- d. Apa efek akhir akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab: Tangki tidak bisa diisi air karena kebocoran

- e. Metode atau cara untuk mengetahui kerusakan ?

Jawab: Dengan melihat secara visual ada/tidak rembesan air yang keluar dari tangki

- f. Seberapa besar tingkat keparahan dari kegagalan yang dipilih

<b>Tingkat Keparahan (Severity)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1-2	Tidak ada	
3-4	Minor, kerusakan ringan, sistem bekerja kurang maksimal, terdapat redunan	4
5-6	Moderat, menyebabkan sistem terganggu, waktu perbaikan relative singkat, tidak ada redunan	

7-8	Tinggi, membahayakan sistem, menyebabkan sistem down dalam waktu lama	
9-10	Sangat berbahaya, membahayakan sistem dan operator	

g. Berapa skala frekuensi kejadian kegagalan/kerusakan pada komponen

<b>Frekuensi kejadian (Occurrence)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Lebih dari 1 Tahun	1
3	Antara 4-6 bulan	
5	Antara 1-3 bulan	
7	Setiap 1 bulan	
9	Setiap saat	

h. Berapa skala tingkat deteksi yang dapat dilakukan

<b>Deteksi (Detection)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Dapat dideteksi dengan mudah	1
3	Dapat dideteksi dengan peluang tinggi	
5	Dapat dideteksi dengan peluang sedang	
7	Dapat dideteksi dengan peluang kecil	
9	idak dapat terdeteksi	

## 2. Katub (Valve)

a. Potensi kegagalan dan penyebab kerusakan pada komponen adalah?

Jawab: Katub tidak bisa terbuka dengan baik

b. Apa akibat dari kerusakan pada komponen ?

Jawab: Tidak ada suply air ke pompa

c. Apa efek lanjutan akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Tidak adanya suply air menyebabkan pompa bekerja tanpa air bisa menjadi panas

d. Apa efek akhir akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Tidak adanya suply air yang dibutuhkan

e. Metode atau cara untuk mengetahui kerusakan ?

Jawab : Dengan cara over houl katub dan lihat katubnya bekerja dengan baik atau tidak

f. Seberapa besar tingkat keparahan dari kegagalan yang dipilih

<b>Tingkat Keparahan (Severity)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1-2	Tidak ada	
3-4	Minor, kerusakan ringan, sistem bekerja kurang maksimal, terdapat redunan	4
5-6	Moderat, menyebabkan sistem terganggu, waktu perbaikan relative singkat, tidak ada redunan	
7-8	Tinggi, membahayakan sistem, menyebabkan sistem down dalam waktu lama	
9-10	Sangat berbahaya, membahayakan sistem dan operator	

- g. Berapa skala frekuensi kejadian kegagalan/kerusakan pada komponen

<b>Frekuensi kejadian (Occurrence)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Lebih dari 1 Tahun	
3	Antara 4-6 bulan	
5	Antara 1-3 bulan	5
7	Setiap 1 bulan	
9	Setiap saat	

- h. Berapa skala tingkat deteksi yang dapat dilakukan

<b>Deteksi (Detection)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Dapat dideteksi dengan mudah	
3	Dapat dideteksi dengan peluang tinggi	3
5	Dapat dideteksi dengan peluang sedang	
7	Dapat dideteksi dengan peluang kecil	
9	Tidak dapat terdeteksi	

### 3. Filter

- a. Potensi kegagalan dan penyebab kerusakan pada komponen adalah?

Jawab : Kotoran yang masuk ke dalam filter

- b. Apa akibat dari kerusakan pada komponen ?

Jawab : Suply air kurang, bahkan tidak ada

- c. Apa efek lanjutan akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Pompa menjadi panas karena suply air kurang

d. Apa efek akhir akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Tidak adanya air yang masuk ke dalam tangki Hydrophore

e. Metode atau cara untuk mengetahui kerusakan ?

Jawab : Dengan cara filter dibuka dan dibersihkan

f. Seberapa besar tingkat keparahan dari kegagalan yang dipilih

<b>Tingkat Keparahan (Severity)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1-2	Tidak ada	
3-4	Minor, kerusakan ringan, sistem bekerja kurang maksimal, terdapat redunan	3
5-6	Moderat, menyebabkan sistem terganggu, waktu perbaikan relative singkat, tidak ada redunan	
7-8	Tinggi, membahayakan sistem, menyebabkan sistem down dalam waktu lama	
9-10	Sangat berbahaya, membahayakan sistem dan operator	

g. Berapa skala frekuensi kejadian kegagalan/kerusakan pada komponen

<b>Frekuensi kejadian (Occurrence)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Lebih dari 1 Tahun	
3	Antara 4-6 bulan	

5	Antara 1-3 bulan	
7	Setiap 1 bulan	
9	Setiap saat	9

h. Berapa skala tingkat deteksi yang dapat dilakukan

Deteksi (Detection)	Deskripsi	Ket
1	Dapat dideteksi dengan mudah	1
3	Dapat dideteksi dengan peluang tinggi	
5	Dapat dideteksi dengan peluang sedang	
7	Dapat dideteksi dengan peluang kecil	
9	Tidak dapat terdeteksi	

#### 4. Pompa Transfer Air Tawar

a. Potensi kegagalan dan penyebab kerusakan pada komponen adalah?

Jawab : - As Impeller patah  
 - Impeller yang rusak  
 - Mechaical seal bocor

b. Apa akibat dari kerusakan pada komponen ?

Jawab : Pompa bekerja kurang maksimal

c. Apa efek lanjutan akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Kurangnya suply air yang masuk ke tangki Hydrophore

d. Apa efek akhir akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Kurangnya suply air yang dibutuhkan

e. Metode atau cara untuk mengetahui kerusakan ?

Jawab : Dengan cara over haul pompa dan dilihat sub komponen dalam yang rusak

f. Seberapa besar tingkat keparahan dari kegagalan yang dipilih

<b>Tingkat Keparahahan (Severity)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1-2	Tidak ada	
3-4	Minor, kerusakan ringan, sistem bekerja kurang maksimal, terdapat redunan	
5-6	Moderat, menyebabkan sistem terganggu, waktu perbaikan relative singkat, tidak ada redunan	5
7-8	Tinggi, membahayakan sistem, menyebabkan sistem down dalam waktu lama	
9-10	Sangat berbahaya, membahayakan sistem dan operator	

g. Berapa skala frekuensi kejadian kegagalan/kerusakan pada komponen

<b>Frekuensi kejadian (Occurrence)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Lebih dari 1 Tahun	
3	Antara 4-6 bulan	3
5	Antara 1-3 bulan	
7	Setiap 1 bulan	

9	Setiap saat	
---	-------------	--

h. Berapa skala tingkat deteksi yang dapat dilakukan

<b>Deteksi (Detection)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Dapat dideteksi dengan mudah	
3	Dapat dideteksi dengan peluang tinggi	3
5	Dapat dideteksi dengan peluang sedang	
7	Dapat dideteksi dengan peluang kecil	
9	Tidak dapat terdeteksi	

## 5. Tangki Hydrophore Air Tawar

a. Potensi kegagalan dan penyebab kerusakan pada komponen adalah?

Jawab : Terjadi keretakan pada tabung Hydrophore

b. Apa akibat dari kerusakan pada komponen ?

Jawab : Tekanan hydrophore menurun

c. Apa efek lanjutan akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Suply air kurang lancar

d. Apa efek akhir akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Operasional terganggu

e. Metode atau cara untuk mengetahui kerusakan ?

Jawab : Dengan cara dilakukan pengecekan secara visual apabila ada rembesan air di plat bagian luar tangki hydrophore

f. Seberapa besar tingkat keparahan dari kegagalan yang dipilih

<b>Tingkat Keparahan (Severity)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1-2	Tidak ada	
3-4	Minor, kerusakan ringan, sistem bekerja kurang maksimal, terdapat redunan	4
5-6	Moderat, menyebabkan sistem terganggu, waktu perbaikan relative singkat, tidak ada redunan	
7-8	Tinggi, membahayakan sistem, menyebabkan sistem down dalam waktu lama	
9-10	Sangat berbahaya, membahayakan sistem dan operator	

g. Berapa skala frekuensi kejadian kegagalan/kerusakan pada komponen

<b>Frekuensi kejadian (Occurrence)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Lebih dari 1 Tahun	1
3	Antara 4-6 bulan	
5	Antara 1-3 bulan	
7	Setiap 1 bulan	
9	Setiap saat	

h. Berapa skala tingkat deteksi yang dapat dilakukan

<b>Deteksi (Detection)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Dapat dideteksi dengan mudah	1

3	Dapat dideteksi dengan peluang tinggi	
5	Dapat dideteksi dengan peluang sedang	
7	Dapat dideteksi dengan peluang kecil	
9	Tidak dapat terdeteksi	

## 6. Pompa suply Air laut

- a. Potensi kegagalan dan penyebab kerusakan pada komponen adalah?

Jawab : - Kebocoran pipa pada sistem pompa

- Valve yang tidak bekerja dengan baik

- Impeller pompa dan bearing yang rusak

- b. Apa akibat dari kerusakan pada komponen ?

Jawab : Pompa tidak bekerja dengan baik

- c. Apa efek lanjutan akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Tidak adanya suply air untuk sistem pendingin

- d. Apa efek akhir akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Pompa tidak bekerja dengan baik sehingga mengganggu proses pendinginan pada mesin induk

- e. Metode atau cara untuk mengetahui kerusakan ?

Jawab : - Pengecekan secara visual pada sistem perpipaan yang mengalami kebocoran

- Over houl valve apakah sudah terbuka dengan maksimal atau belum

- Pengecekan saringan dari kotoran

- Pengecekan pompa air laut dan dilihat sub komponen dalamnya

f. Seberapa besar tingkat keparahan dari kegagalan yang dipilih

<b>Tingkat Keparahannya (Severity)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1-2	Tidak ada	
3-4	Minor, kerusakan ringan, sistem bekerja kurang maksimal, terdapat redunan	
5-6	Moderat, menyebabkan sistem terganggu, waktu perbaikan relative singkat, tidak ada redunan	6
7-8	Tinggi, membahayakan sistem, menyebabkan sistem down dalam waktu lama	
9-10	Sangat berbahaya, membahayakan sistem dan operator	

g. Berapa skala frekuensi kejadian kegagalan/kerusakan pada komponen

<b>Frekuensi kejadian (Occurrence)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Lebih dari 1 Tahun	
3	Antara 4-6 bulan	3
5	Antara 1-3 bulan	
7	Setiap 1 bulan	
9	Setiap saat	

h. Berapa skala tingkat deteksi yang dapat dilakukan

<b>Deteksi (Detection)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Dapat dideteksi dengan mudah	
3	Dapat dideteksi dengan peluang tinggi	3
5	Dapat dideteksi dengan peluang sedang	
7	Dapat dideteksi dengan peluang kecil	
9	Tidak dapat terdeteksi	

## 7. Fresh Water Cooler

a. Potensi kegagalan dan penyebab kerusakan pada komponen adalah?

Jawab : Tersumbatnya pipa kapiler dalam cooler

b. Apa akibat dari kerusakan pada komponen ?

Jawab : Cooler tidak berfungsi dengan maksimal

c. Apa efek lanjutan akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Menyebabkan mesin menjadi panas

d. Apa efek akhir akibat dari kerusakan komponen ?

Jawab : Bisa membuat kinerja mesin terganggu bahkan menyebabkan kerusakan pada mesin

e. Metode atau cara untuk mengetahui kerusakan ?

Jawab : Dengan cara fresh water coller dibuka dan disogok pada bagian pipa kapilernya untuk membersihkan kotoran yang menyumbat

f. Seberapa besar tingkat keparahan dari kegagalan yang dipilih

<b>Tingkat Keparahan (Severity)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1-2	Tidak ada	
3-4	Minor, kerusakan ringan, sistem bekerja kurang maksimal, terdapat redunan	
5-6	Moderat, menyebabkan sistem terganggu, waktu perbaikan relative singkat, tidak ada redunan	5
7-8	Tinggi, membahayakan sistem, menyebabkan sistem down dalam waktu lama	
9-10	Sangat berbahaya, membahayakan sistem dan operator	

g. Berapa skala frekuensi kejadian kegagalan/kerusakan pada komponen

<b>Frekuensi kejadian (Occurrence)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Lebih dari 1 Tahun	
3	Antara 4-6 bulan	
5	Antara 1-3 bulan	
7	Setiap 1 bulan	
9	Setiap saat	9

h. Berapa skala tingkat deteksi yang dapat dilakukan

<b>Deteksi (Detection)</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Ket</b>
1	Dapat dideteksi dengan mudah	
3	Dapat dideteksi dengan peluang tinggi	3
5	Dapat dideteksi dengan peluang sedang	
7	Dapat dideteksi dengan peluang kecil	
9	Tidak dapat terdeteksi	

Tabel lampiran data perawatan komponen

<b>No.</b>	<b>Nama Komponen</b>	<b>Keterangan Perawatan Komponen</b>
1	Tangki induk	Plat yang keropos di replating
2	Katub (Valve)	Pemberian grease pada valve untuk menghindari karatan
3	Filter	Dibersihkan setiap beberapa hari sekali khususnya apabila melewati perairan yang dangkal/ banyak sampah
4	Pompa transfer air tawar	Penggantian bearing secara berkala dan pengecekan pipa dari kebocoran
5	Tangki hydrophore air tawar	Replating apabila ada kebocoran

6	Pompa suply air laut	Penggantian bearing secara berkala dan cek secara visual kinerja pompa
7	Fresh water cooler	Sogok pipa kapiler pada cooler dengan menggunakan alat seperti kayu, rotan dan alat lainnya

Dengan ini saya berterima kasih kepada narasumber yang telah meluangkan waktu dan kesempatan mengisi kuisisioner untuk pengambilan data penelitian saya, sehingga dari hasil kuisisioner ini saya dapat menggunakan data yang telah saya dapat untuk bahan penelitian.

Mengetahui,  
Narasumber



WAWARU  
(BONTONA - MATARU - SETIANA...)

### **Biodata Beberapa Narasumber**

<b>No.</b>	<b>Nama</b>	<b>Jabatan</b>	<b>Keahlian</b>
1	Setiana	KKM	Mechinery
2	Amim Nursidik	Masinis II	

**Tabel Perhitungan Nilai RPN**

No	Komponen	Fungsi	Potensi Kegagalan dan penyebab kerusakan	Akibat dari kerusakan			Metode untuk mengetahui kerusakan	S	O	D	RPN
				Pada sistem	Efek lanjutan	Efek akhir					
1	Tangki Induk Air Tawar (Service Tank)	Untuk menyimpan kebutuhan air tawar di kapal	Kebocoran tangki karena usia plat tangki yang sudah tua	Suply air yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari kurang maksimal	Kurangnya volume air dalam tangki	Tangki tidak bisa diisi air karena kebocoran	Dengan melihat secara visual ada/tidak rembesan air yang keluar dari tangki	4	1	1	4
2	Katub (Valve)	Untuk mengontrol kecepatan aliran fluida	Katub tidak bisa terbuka dengan baik	Tidak ada suply air ke pompa	Tidak adanya suply air menyebabkan pompa bekerja tanpa air bisa menjadi panas	Tidak adanya suply air yang dibutuhkan	Dengan cara over houl katub dan lihat katubnya bekerja dengan baik atau tidak	3	1	3	9
3	Filter	Untuk menyaring kotoran agar tidak terbawa oleh air masuk ke komponen sistem pendingin lainnya	Kotoran yang masuk ke dalam filter	Suply air kurang, bahkan tidak ada	Pompa menjadi panas karena suply air kurang	Tidak adanya suply air yang masuk ke dalam tangki hydrophore	Dengan cara filter dibuka dan dibersihkan	3	9	1	27
4	Pompa Transfer Air tawar	Untuk memindahkan air tawar dari tangki induk ke tangki Hydrophore	As Impeller patah Impeller yang rusak Mechaical seal bocor	Pompa beerja kurang maksimal	Kurangnya suply air yang mausk ke tangki hydrophore	Kurangnya suply air yang dibutuhkan	Dengan cara over houl pompa dan lihat sub komponen dalam yang rusak	5	3	3	45
5	Tangki Hydrophore Air tawar	Untuk menyimpan kebutuhan air tawar dengan keadaan standby	Terjadi keretakan pada tabung hydrophore	Tekanan hydrophore menurun	Suply air kurang lancar	Operasional terganggu	Dengan cara dilakukan pengecekan secara visual apabila ada rembesan air di plat luar tangki hydrophore	4	1	1	4
6	Pompa Suply Air laut	Untuk memindahkan air laut dari Sc ke cooler	Kebocoran pipa pada sistem pompa, valve yang tidak bekerja dengan baik dan Impeller pompa serta bearing yang rusak	Pompa tidak bekerja dengan baik	Tidak adanya suply air untuk sistem pendingin	Pompa tidak bekerja dengan baik sehingga mengganggu proses pendinginan pada mesin induk	Pengecekan secara visual pada sistem perpipaan yang mengalami kebocoran dan dilakukan over houl pada valve apakah sudah terbuka dengan maksimal atau belum	6	3	3	54
7	Fresh water Cooler	Media untuk mendinginkan air tawar dengan menggunakan air laut	Tersumbatnya pipa kapiler dalam cooler	Cooler tidak berfungsi dengan maksimal	Menyebabkan mesin menjadi panas	Bisa membuat kinerja mesin terganggu bahkan menyebabkan kerusakan pada mesin	Dengan cara fresh water cooler dibuka dan disogok pada bagian pipa kapilernya untuk membersihkan kotoran yang menyumbat	5	9	3	135

**LAMPIRAN 2**  
**PERHITUNGAN RBD & MTF**

## LAMPIRAN 2

### PERHITUNGAN RELIABILITY

Selanjutnya kita akan menghitung nilai Reliability sistem dengan menggunakan rumus umum seperti di bawah ini,

$$R_i = e^{-\lambda_i t}$$

Dimana :  $e = 2,7182$

$t = 50$  jam (diasumsikan sistem bekerja dalam 50 jam)

$$\begin{aligned} R_{10}(t) &= R_1(t) R_2(t) R_3(t) R_4(t) R_5(t) \\ &= e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5) t} \end{aligned}$$

$$R_{11}(t) = R_6(t) R_7(t)$$

$$R_{12}(t) = R_8(t) R_9(t)$$

$$R_{SB} = e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t})$$

Dari persamaan (4.) maka kita mendapatkan persamaan (4.) untuk menghitung nilai Reliability komponen yang standby

$$R_{SB} = e^{-\lambda_{10} t} + \frac{\lambda_{10}}{\lambda_{10} - \lambda_{11}} (e^{-\lambda_{11} t} - e^{-\lambda_{10} t})$$

Setelah mendapatkan persamaan (4.) maka Reliability sistem dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4.)

$$R_s(t) = R_s(t) R_{SB}(t) \tag{4.6}$$

$$R_S(t) = (R_1(t) R_2(t) R_3(t) R_4(t) R_5(t)) e^{-\lambda_{10} t} + \frac{\lambda_{10}}{\lambda_{10} - \lambda_{11}} (e^{-\lambda_{11} t} - e^{-\lambda_{10} t}) \tag{4.7}$$

$$R_S(t) = e^{-(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4+\lambda_5)t} e^{-\lambda_{10}t} + \frac{\lambda_{10}}{\lambda_{10} - \lambda_{11}} (e^{-\lambda_{11}t} - e^{-\lambda_{10}t})$$

$$R_S(t) = 2,7182^{-(0,008219+0,000114+0,000342+0,000570) \times 50} 2,7182^{-0,000185 \times 50} \\ + \frac{0,000185}{0,000185 - 0,000117} (2,7182^{-0,000117 \times 50} - 2,7182^{-0,000185 \times 50})$$

$$R_S(t) = 2,7182^{-0,009245 \times 50} 2,7182^{-0,000185 \times 50} + 2,728614 \\ (2,7182^{-0,000117 \times 50} - 2,7182^{-0,000185 \times 50})$$

$$R_S(t) = 0,624074 + 2,728614(0,994167 - 0,990793)$$

$$R_S(t) = 0,633282$$

#### PERHITUNGAN MTTF

Dan *Mean Time To Failure* (MTTF) untuk sistem di atas adalah :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R_s(t) dt$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda_9 + \lambda_{10}} + \frac{\lambda_{10}}{(\lambda_{10} - \lambda_{11})(\lambda_9 + \lambda_{11})} - \frac{\lambda_{10}}{(\lambda_{10} - \lambda_{11})(\lambda_9 + \lambda_{10})}$$

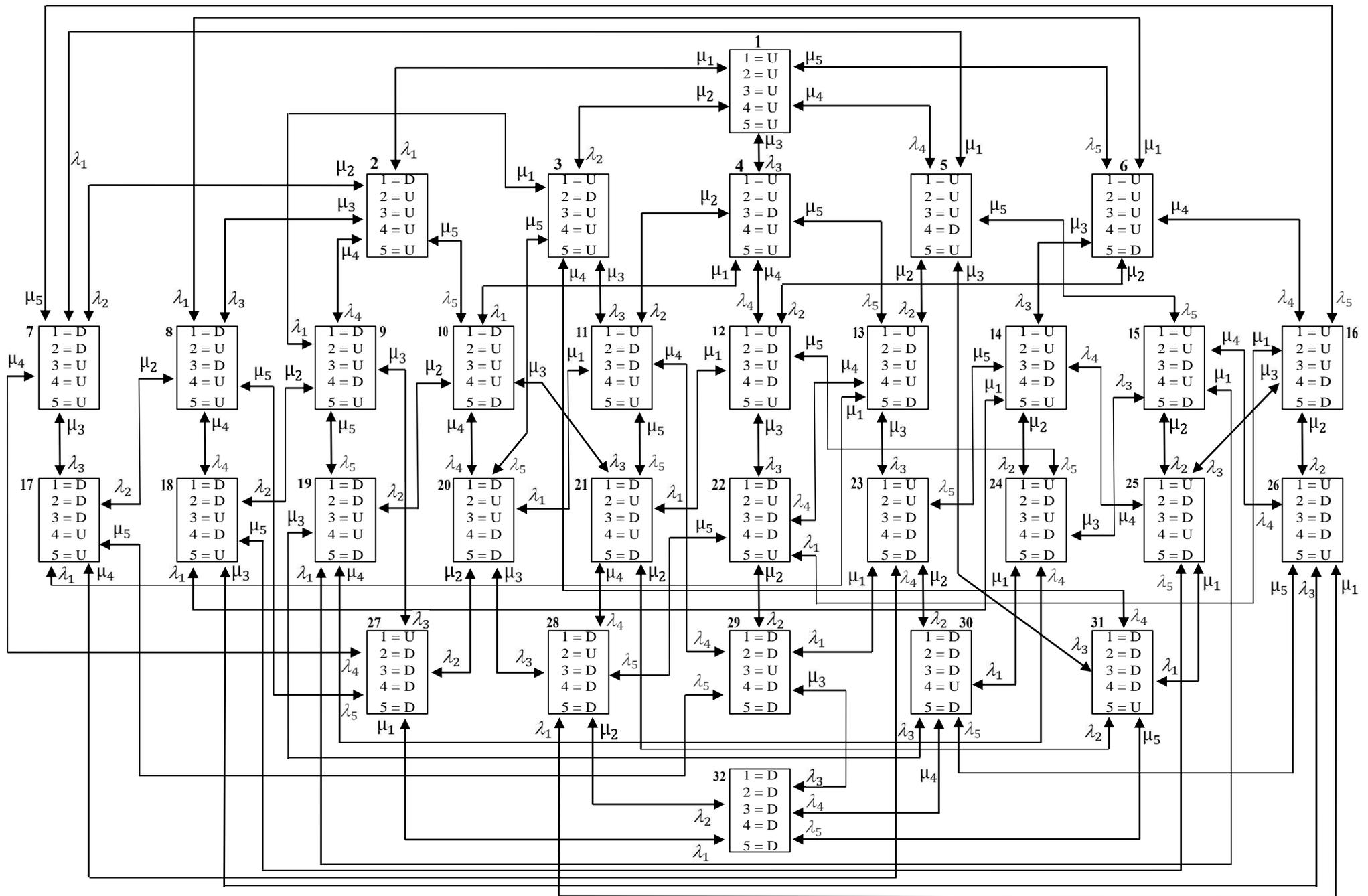
$$MTTF = \frac{1}{0,009245 + 0,000185} + \frac{0,000185}{(0,000185 - 0,000117)(0,009245 + 0,000117)} \\ - \frac{0,000185}{(0,000185 - 0,000117)(0,009245 + 0,000185)}$$

$$MTTF = \frac{1}{0,00943} + \frac{0,000185}{0,0000006348} - \frac{0,000185}{0,0000006394}$$

$$MTTF = 108,14 \text{ jam} \quad (4.8)$$

### **LAMPIRAN 3**

### **STATE SPACE DIAGRAM DAN PERHITUNGAN MATRIKS**



State Space Diagram

	1	2	3	4	5
1	$1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$
2	$\mu_1$	$1 - (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$	-	-	-
3	$\mu_2$	-	$1 - (\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$	-	-
4	$\mu_3$	-	-	$1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$	-
5	$\mu_4$	-	-	-	$1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu_4 + \lambda_5)$
6	$\mu_5$	-	-	-	-
7	-	$\mu_2$	-	-	$\mu_1$
8	-	$\mu_3$	-	-	-
9	-	$\mu_4$	$\mu_1$	-	-
10	-	$\mu_5$	-	$\mu_1$	-
11	-	-	$\mu_3$	$\mu_2$	-
12	-	-	-	$\mu_4$	-
13	-	-	-	$\mu_5$	$\mu_2$
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	$\mu_3$
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	$\mu_4$	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	$\mu_5$	-	$\mu_5$
32	-	-	-	-	-

	6	7	8	9	10
1	$\lambda_5$	-	-	-	-
2	-	$\lambda_1$	$\lambda_1$	$\lambda_1$	$\lambda_1$
3	-	-	-	$\lambda_4$	-
4	-	-	-	-	$\lambda_5$
5	-	$\lambda_2$	-	-	-
6	$1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_5)$	-	$\lambda_3$	-	-
7	-	$1 - (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$	-	-	-
8	$\mu_1$	-	$1 - (\mu_1 + \lambda_2 + \mu_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$	-	-
9	-	-	-	$1 - (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu_4 + \lambda_5)$	-
10	-	-	-	-	$1 - (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_5)$
11	-	-	-	-	-
12	$\mu_2$	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	$\mu_3$	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	$\mu_4$	$\mu_3$	-	-	-
17	-	$\mu_4$	$\mu_2$	-	-
18	-	-	$\mu_4$	$\mu_2$	-
19	-	-	-	$\mu_3$	$\mu_2$
20	-	-	-	-	$\mu_3$
21	-	-	-	-	$\mu_4$
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	$\mu_5$	$\mu_5$	$\mu_5$	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-

	11	12	13	14	15
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	$\lambda_2$	-	-	-	-
4	$\lambda_3$	$\lambda_2$	$\lambda_2$	-	-
5	-	-	$\lambda_5$	$\lambda_3$	-
6	-	$\lambda_4$	-	$\lambda_4$	$\lambda_3$
7	-	-	-	-	$\lambda_5$
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	$1 - (\lambda_1 + \mu_2 + \mu_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$	-	-	-	-
12	-	$1 - (\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_3 + \mu_4 + \lambda_5)$	-	-	-
13	-	-	$1 - (\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_5)$	-	-
14	-	-	-	$1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3 + \mu_4 + \lambda_5)$	-
15	-	-	-	-	$1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3 + \lambda_4 + \mu_5)$
16	-	-	-	-	-
17	-	-	$\mu_1$	-	-
18	-	-	-	$\mu_1$	-
19	-	-	-	-	$\mu_1$
20	$\mu_1$	-	-	-	-
21	$\mu_4$	$\mu_1$	-	-	-
22	-	$\mu_3$	$\mu_3$	-	-
23	-	-	$\mu_4$	$\mu_2$	-
24	-	$\mu_5$	-	$\mu_5$	$\mu_2$
25	-	-	-	-	$\mu_4$
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	$\mu_5$	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-

	16	17	18	19	20
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	$\lambda_1$
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	$\lambda_4$	-	-	-	-
7	$\lambda_5$	$\lambda_1$	-	-	-
8	-	$\lambda_2$	$\lambda_1$	-	-
9	-	-	$\lambda_2$	$\lambda_1$	-
10	-	-	-	$\lambda_2$	$\lambda_4$
11	-	-	-	-	$\lambda_5$
12	-	-	-	-	-
13	-	$\lambda_3$	-	-	-
14	-	-	$\lambda_4$	-	-
15	-	-	-	$\lambda_5$	-
16	$1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu_4 + \mu_5)$	-	-	-	-
17	-	$1 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$	-	-	-
18	-	-	$1 - (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_3 + \mu_4 + \lambda_5)$	-	-
19	-	-	-	$1 - (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_5)$	-
20	-	-	-	-	$1 - (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu_4 + \mu_5)$
21	-	-	-	-	-
22	$\mu_1$	-	-	-	-
23	-	$\mu_4$	-	-	-
24	-	-	-	$\mu_3$	-
25	$\mu_2$	-	$\mu_3$	-	-
26	$\mu_3$	-	$\mu_5$	-	-
27	-	-	-	-	$\mu_2$
28	-	-	-	-	$\mu_3$
29	-	$\mu_5$	-	-	-
30	-	-	-	$\mu_4$	-
31	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-

	21	22	23	24	25
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	$\lambda_3$	-	-	-	-
12	$\lambda_5$	$\lambda_1$	-	$\lambda_2$	-
13	-	$\lambda_3$	$\lambda_3$	-	-
14	-	-	$\lambda_4$	$\lambda_4$	-
15	-	-	-	-	$\lambda_2$
16	-	$\lambda_4$	-	-	$\lambda_3$
17	-	-	$\lambda_5$	-	-
18	-	-	-	-	$\lambda_5$
19	-	-	-	$\lambda_5$	-
20	-	-	-	-	-
21	$1 - (\mu_1 + \lambda_2 + \mu_3 + \lambda_4 + \mu_5)$	-	-	-	-
22	-	$1 - (\mu_1 + \lambda_2 + \mu_3 + \mu_4 + \lambda_5)$	-	-	-
23	-	-	$1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5)$	-	-
24	-	-	-	$1 - (\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_3 + \mu_4 + \mu_5)$	-
25	-	-	-	-	$1 - (\lambda_1 + \mu_2 + \mu_3 + \lambda_4 + \mu_5)$
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	$\mu_2$	$\mu_2$	-	-	-
29	-	$\mu_5$	$\mu_1$	-	-
30	-	-	$\mu_2$	$\mu_1$	-
31	$\mu_4$	-	-	$\mu_3$	$\mu_1$
32	-	-	-	-	$\mu_4$

	26	27	28	29	30
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	$\lambda_2$	-	-	-
8	-	$\lambda_3$	-	-	-
9	-	$\lambda_4$	-	-	-
10	-	-	-	$\lambda_1$	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	$\lambda_2$	-	-	-	-
16	$\lambda_3$	-	-	-	-
17	-	-	-	$\lambda_2$	-
18	$\lambda_4$	-	-	-	-
19	-	-	-	-	$\lambda_1$
20	-	$\lambda_5$	$\lambda_1$	-	-
21	-	-	$\lambda_3$	-	-
22	-	-	$\lambda_4$	$\lambda_4$	-
23	-	-	-	$\lambda_5$	$\lambda_2$
24	-	-	-	-	$\lambda_3$
25	-	-	-	-	-
26	$1 - (\lambda_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \lambda_5)$	-	$\lambda_5$	-	$\lambda_5$
27	-	$1 - (\lambda_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5)$	-	-	-
28	$\mu_1$	-	$1 - (\mu_1 + \lambda_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5)$	-	-
29	-	-	-	$1 - (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_3 + \mu_4 + \mu_5)$	-
30	$\mu_5$	-	-	-	$1 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \lambda_4 + \mu_5)$
31	-	-	-	-	-
32	-	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$

	31	32
1	-	-
2	-	-
3	$\lambda_1$	-
4	-	-
5	$\lambda_2$	-
6	-	-
7	-	-
8	-	-
9	-	-
10	-	-
11	-	-
12	-	-
13	-	-
14	-	-
15	-	-
16	-	-
17	-	-
18	-	-
19	-	-
20	-	-
21	$\lambda_3$	-
22	-	-
23	-	-
24	-	-
25	$\lambda_4$	-
26	-	-
27	-	$\lambda_1$
28	-	$\lambda_2$
29	-	$\lambda_3$
30	-	$\lambda_4$
31	$1 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \lambda_5)$	$\lambda_5$
32	$\mu_5$	$1 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5)$

```

A = [1  0.0005707  0.0003424  0.0001141  0.0082191  0.0000714
      0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
      0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0;
1  -0.0145711  0  0  0  0  0.0005707  0.0005707  0.0005707
   0.0005707  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
   0  0  0  0  0  0  0  0  0  0;
1  0  -0.0171944  0  0  0  0  0  0.0082191  0  0.0003424
   0  0  0  0  0  0  0  0  0.0005707  0  0  0  0
   0  0  0  0  0  0  0.0005707  0;
1  0  0  -0.0174227  0  0  0  0  0  0.0000714  0.0001141
   0.0003424  0.0003424  0  0  0  0  0  0  0  0  0
   0  0  0  0  0  0  0  0  0  0;
1  0  0  0  -0.0038383  0  0.0003424  0  0  0  0  0  0
   0.0000714  0.0001141  0  0  0  0  0  0  0  0  0
   0  0  0  0  0  0  0  0.0003424  0;
1  0  0  0  0  -0.0154107  0  0.0001141  0  0  0
   0.0082191  0  0.0082191  0.0001141  0.0082191  0  0
   0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0;
1  0.0082191  0  0  0.0058241  0  -0.0224478  0  0  0
   0  0  0  0  0.0000714  0.0000714  0.0005707  0  0
   0  0  0  0  0  0  0  0.0003424  0  0  0  0  0;
1  0.0082191  0  0  0  0.0058241  0  -0.0226761  0  0
   0  0  0  0  0  0  0.0003424  0.0005707  0  0  0
   0  0  0  0  0  0.0001141  0  0  0  0  0;

```

1 0.0027397 0.0058241 0 0 0 0 0 -0.0090917 0  
0 0 0 0 0 0 0 0.0003424 0.0005707 0 0  
0 0 0 0 0 0.0082191 0 0 0 0 0;  
1 0.0061644 0 0.0058241 0 0 0 0 0 -0.0206641  
0 0 0 0 0 0 0 0.0003424 0.0082191 0  
0 0 0 0 0 0 0 0.0005707 0 0 0;  
1 0 0.0082191 0.0082191 0 0 0 0 0 0  
-0.0252994 0 0 0 0 0 0 0 0.0000714  
0.0001141 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;  
1 0 0 0.0027397 0 0.0082191 0 0 0 0 0  
-0.011715 0 0 0 0 0 0 0 0.0000714  
0.0005707 0 0.0003424 0 0 0 0 0 0 0 0;  
1 0 0 0.0061644 0.0082191 0 0 0 0 0 0 0  
-0.0232874 0 0 0 0.0001141 0 0 0 0 0.0001141  
0.0001141 0 0 0 0 0 0 0 0;  
1 0 0 0 0.0082191 0 0 0 0 0 0 0  
-0.0119433 0 0 0 0.0082191 0 0 0 0 0.0082191  
0.0082191 0 0 0 0 0 0 0;  
1 0 0 0 0.0082191 0 0 0 0 0 0 0  
-0.0235157 0 0 0 0.0000714 0 0 0 0 0  
0.0003424 0.0003424 0 0 0 0 0 0;  
1 0 0 0 0.0027397 0.0082191 0 0 0 0 0  
0 0 0 -0.0099313 0 0 0 0 0 0.0082191 0

```

0 0.0001141 0.0001141 0 0 0 0 0 0 0;
1 0 0 0 0 0 0.0027397 0.0082191 0 0 0 0
0.0058241 0 0 0 -0.0305528 0 0 0 0 0
0.0000714 0 0 0 0 0 0.0003424 0 0 0;
1 0 0 0 0 0 0 0.0027397 0.0082191 0 0 0
0 0.0058241 0 0 0 -0.0169684 0 0 0 0 0
0 0.0000714 0.0082191 0 0 0 0 0 0 0;
1 0 0 0 0 0 0 0 0.0082191 0.0082191 0 0
0 0 0.0058241 0 0 0 -0.0285408 0 0 0 0
0.0000714 0 0 0 0 0 0.0005707 0 0;
1 0 0.0027397 0 0 0 0 0 0 0.0082191 0.0058241
0 0 0 0 0 0 0 0 -0.0151847 0 0 0 0
0 0 0.0000714 0.0005707 0 0 0 0;
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0027397 0.0027397
0.0058241 0 0 0 0 0 0 0 0 -0.0287691 0
0 0 0 0 0 0.0001141 0 0 0.0001141 0;
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0082191 0.0082191
0 0 0.0058241 0 0 0 0 0 -0.0171967 0 0
0 0 0 0.0082191 0.0082191 0 0 0;
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0027397
0.0082191 0 0 0.0027397 0 0 0 0 0
-0.0180363 0 0 0 0 0 0.0000714 0.0003424 0
0;
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0061644 0

```

```

0.0061644 0.0082191 0 0 0 0.0082191 0 0 0
0 -0.017808 0 0 0 0 0 0.0001141 0 0;
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0027397
0.0082191 0 0.0082191 0 0 0 0 0 0
-0.0313924 0 0 0 0 0 0.0082191 0;
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.0082191 0 0.0061644 0 0 0 0 0 0 0
-0.01982 0 0.0000714 0 0.0000714 0 0;
1 0 0 0 0 0 0.0061644 0.0061644 0.0061644 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0082191 0 0 0
0 0 0 -0.025913 0 0 0 0 0.0005707;
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0.0082191 0.0082191 0.0082191 0 0 0
0.0058241 0 -0.0232897 0 0 0 0.0003424;
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0061644 0 0 0
0 0 0.0061644 0 0 0 0 0.0061644 0.0058241
0 0 0 0 0 -0.0230614 0 0 0.0001141;
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0.0027397 0 0 0 0.0082191 0.0058241 0
0.0061644 0 0 0 -0.0366458 0 0.0082191;
1 0 0.0061644 0 0.0061644 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0.0027397 0 0 0.0082191
0.0058241 0 0 0 0 0 -0.0250734 0.0000714;
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

```
0 0 0 0 0 0 0 0 0.0027397 0 0.0058241
0.0082191 0.0082191 0.0027397 0.0061644 -0.0311664];
```

```
B = A';
```

```
C = [1;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0];
```

```
P = inv(B)*C
```

P =

0.3096  
0.0214  
0.0176  
-0.0014  
0.6838  
-0.0131  
0.0058  
0.0018  
0.0217  
0.0022  
-0.0003  
-0.0177  
-0.0035  
-0.0044  
0.0013  
-0.0190  
-0.0012  
-0.0015  
0.0012  
0.0031  
-0.0004  
-0.0136  
-0.0036  
0.0024  
0.0019  
-0.0021  
0.0070  
-0.0047  
-0.0048  
-0.0000  
0.0104  
0.0001