

Analisa Reliabilitas dan Simulasi *Reliability Block Diagram* pada Sistem *Straight Run Motor-Gas Compressor*

Hafid Budiman^{1,a*}, Irnanda Rizki M.,^{2,b}, Yudan Whulanza^{3,c}, Warjito^{4,d}

¹PT.Pertamina Refinery Unit III, Plaju, Sumatra Selatan

^{2,3,4} Dept. Tek Mesin UI, Depok, Jawa Barat

Email: ^ahafid.budiman@pertamina.com, ^cyudan@eng.ui.ac.id, ^dwarjito@eng.ui.ac.id

Abstrak

Dalam sebuah industri pengolahan, unit SRMGC memiliki fungsi untuk mengkompresi gas yang didapatkan setelah proses pemisahan antara bahan bakar berbentuk padat, cair, dan gas di Crude Distillation Unit. Ketidakhandalan pada Compressor akan mengakibatkan loss produksi yang sangat mahal. Untuk itu, sangatlah penting untuk mengetahui kehandalan/reliabilitas serta failure modes yang terjadi pada sistem ini sehingga dapat dibuat strategy maintenance yang berakibat pada peningkatan kehandalan peralatan Kompresor. Pada penelitian ini dilakukan analisa reliabilitas Weibull dengan 2-parameter untuk mengetahui nilai reliabilitas dari Compressor. Selanjutnya dilakukan Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) dan simulasi Reliability Block Diagram (RBD) untuk mendapatkan strategy maintenance yang optimal. Hasil perhitungan manual, yang menghasilkan reliabilitas 0,828, divalidasi dengan menggunakan software BlockSim 8 dengan hasil 0,838.

Kata kunci : *Compressor, reliability, failure modes, Weibull, RBD, Maintenance Strategy*

Latar belakang

Saat ini, industri pengolahan (refinery) khususnya minyak bumi dan gas alam memiliki peranan yang sangat penting dalam memimpin sektor-sektor lain menuju kemajuan (R. Yulianti, 2012). Hal ini sangat realistis mengingat minyak bumi dan gas alam merupakan salah satu sumber energi utama yang paling banyak dimanfaatkan di segala bidang mulai dari kegiatan transportasi sehari-hari sampai kegiatan perindustrian berskala besar. Dengan fakta seperti ini maka industri pengolahan dituntut untuk terus meningkatkan kapasitas produksi dengan biaya yang kecil untuk dapat mengakomodir semua kebutuhan masyarakat.

Salah satu sistem yang terdapat dalam industri pengolahan, khususnya minyak bumi, adalah *Straight Run Motor-Gas Compressor* (SRMGC). Unit SRMGC merupakan unit

kompresor yang mendapatkan tenaga dari sebuah motor yang dikopel secara langsung.

Dalam sebuah industri pengolahan, unit SRMGC memiliki fungsi untuk mengkompresi gas yang didapatkan dari produk atas *Crude Distillation Unit* (CDU)

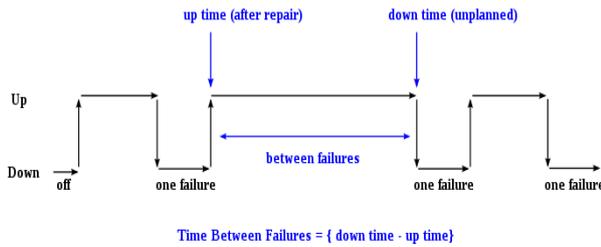
yang merupakan unit primary untuk proses pemisahan crude oil. Dalam paper ini, dilakukan pembahasan permasalahan yang terjadi di unit SRMGC pada sebuah industri pengolahan (*refinery*).

Pembahasan ini dilakukan untuk mengetahui model reliabilitas dari unit tersebut dengan melakukan pengukuran parameter reliabilitas, analisa FMEA, pencarian model yang tepat, dan melakukan simulasi Reliability Block Diagram (RBD) dengan validasi BlockSim 8.

Dasar Teori

Reliabilitas. Dalam dunia pemeliharaan (*maintenance*), reliabilitas dapat diartikan sebagai probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan selama interval waktu tertentu dalam kondisi pengoperasian yang telah ditetapkan (MIL-STD 721C).

Dimana *Mean Time Between Failure* (MTBF) merupakan salah satu parameter yang sangat berpengaruh dalam menentukan reliabilitas dari suatu komponen/ sistem. MTBF (θ) didefinisikan sebagai rata-rata dari waktu antara satu kegagalan dengan kegagalan berikutnya dari suatu komponen/ sistem yang dioperasikan dalam kondisi dan interval tertentu.

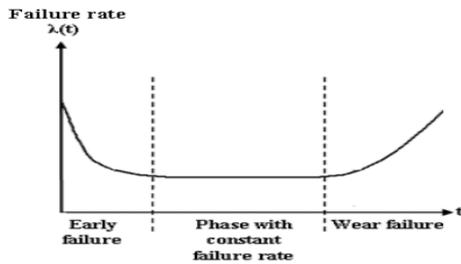


Gambar 2.1. Skema Waktu antar Kegagalan

Secara sederhana, MTBF dapat didefinisikan sebagai total waktu operasi dibagi dengan jumlah kegagalan selama periode pengamatan. (Susan Stanley, 2011)

$$MTBF = \frac{\Sigma(\text{start of 1st downtime} - \text{start of 2nd downtime})}{\text{number of failures}} \quad (2.1)$$

Dalam kondisi yang ideal maka hubungan antara laju kegagalan dengan waktu dapat digambarkan seperti dalam sebuah *bathub curve*.



Gambar 2.2. Bathub Curve

Analisa Weibull. Distribusi Weibull merupakan salah satu pemodelan yang banyak digunakan diseluruh dunia untuk memodelkan *life data*. Distribusi ini dapat mencakup nilai laju kegagalan ketika mengalami kenaikan, penurunan ataupun konstan.

Distribusi Weibull dengan 2-parameter merupakan teknik yang paling banyak digunakan saat ini untuk menganalisa data kerusakan dari suatu komponen/ sistem. Dua parameter yang dimaksud disini adalah β (*shape parameter*) dan η (*scale parameter*). *Shape parameter* (β) menunjukkan bagaimana proses perkembangan kegagalannya selama interval tertentu. Nilai ini juga menunjukkan jenis dan model kegagalan yang terjadi, apakah penurunan laju kegagalan (*infant mortality*), laju kegagalan konstan (*random*) atau penurunan laju kegagalan (*wear-out*). Untuk membuat sebuah plot dari distribusi Weibull, cara yang dapat dilakukan adalah menyusun Weibull probability paper. Dilakukan linearisasi hubungan antara CDF dan waktu dengan menggunakan *log-log scales*. Distribusi fungsi Weibull dapat dinyatakan dalam hubungan:

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\theta)^\beta} \quad (2.2)$$

Dimana, $\theta = MTBF$

$\beta = \text{shape parameter}$

$t = \text{waktu}$

karena

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-(t/\theta)^\beta} \quad (2.3)$$

Dimana, $R(t) = \text{reliabilitas}$

maka persamaan (2.1) dapat juga ditulis sebagai:

$$\frac{1}{1-F(t)} = e^{(t/\theta)^\beta} \quad (2.4)$$

Dengan melakukan perkalian tiap ruas dari persamaan (2.3) dengan $(\lg)^2$ sehingga membentuk suatu persamaan garis linear:

$$\lg \lg \left[\frac{1}{1-F(t)} \right] = \beta \lg t - \beta \lg \theta \quad (2.5)$$

Setelah terbentuk garis lurus dengan persamaan $y = ax + b$ maka kemiringannya adalah nilai *shape parameter* (β).

$$\text{failure rate, } h(t) = \beta \cdot \frac{t^{\beta-1}}{\theta^\beta} \quad (2.6)$$

Failure Modes. Failure mode didefinisikan sebagai suatu cara dari terjadinya sebuah kegagalan. Dengan kata lain ketidaknormalan yang terjadi dan mempengaruhi performa dari suatu komponen/sistem. Failure mode yang dapat terjadi pada suatu komponen/sistem

sangatlah banyak, namun setiap komponen/sistem memiliki failure mode dengan karakteristik tertentu sesuai dengan prinsip kerjanya. (R.R. Mohr, 2002)

Tabel 2.1. Jenis-Jenis *Failure Modes* pada Suatu Sistem (sumber: OREDA Handbook, 2009)

Modus kegagalan	Depenelitian singkat
AIR	abnormal instrument reading
BRD	Breakdown
ERO	erratic output
ELP	external leakage - process medium
ELU	external leakage - utility medium
FTS	fail to start on demand
STP	fail to stop on demand
HIO	high output
INL	internal leakage
LOO	low output
SER	minor in-service problems
NOI	Noise
OTH	Other
OHE	Overheating

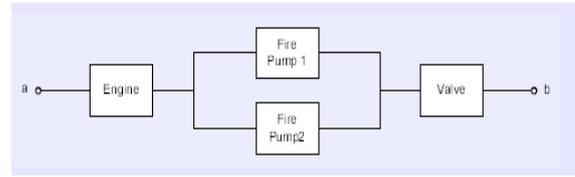
PDE	parameter deviation
UST	spurious stop
STD	structural deficiency
UNK	Unknown
VIB	Vibration

Fault Tree Analysis. Terdapat 2 konsep utama dalam FTA yaitu *event* dan *gate*. *Event* didefinisikan sebagai suatu kejadian yang timbul akibat suatu sebab, sedangkan *gate* adalah kalimat ilustrasi yang digunakan untuk menghubungkan suatu kejadian dengan kejadian lainnya.

Tabel 2.2. Berbagai Jenis *Logic Gate*
(diadaptasi dari table 1: *classis fault tree gates and their traditional RBD equivalents, reliasoft*)

Nama gate	Simbol	Defenelitian	Keekuivale nan RBD
AND		<i>Output event</i> terjadi jika semua <i>input events</i> terjadi	Konfigurasi paralel sederhana
OR		<i>Output event</i> terjadi jika sekurang-kurangnya satu dari <i>input events</i> terjadi	Konfigurasi seri

Reliability Block Diagram. RBD adalah sebuah tools untuk mempermudah dalam hal pemahaman tentang pengaruh suatu komponen terhadap keseluruhan sistem.



Gambar 2.4. Contoh RBD Sebuah *Fire Pump System* (sumber: *Harry G. Kwatny, Drexel University*)

Reliability Block Diagram (RBD) atau yang sering juga disebut sebagai Dependence Diagram (DD) adalah gambaran grafik dari hubungan reliabilitas antar komponen dalam suatu sistem untuk menentukan reliabilitas keseluruhan dari sistem tersebut. (U.S. Department of Defense, 1998)

Dalam RBD dikenal beberapa pola hubungan, tiga diantaranya yang sering digunakan adalah seri (*chain of component*), paralel (*alternative component*), dan *k-out-of-n*. Dalam hubungan seri, nilai reliabilitas sistem (total) dirumuskan dengan:

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n \quad (2.7)$$

Dimana, R_s = reliabilitas seri

R_n = reliabilitas komponen ke-n

sedangkan dalam hubungan paralel nilai reliabilitas sistem dapat dirumuskan sebagai:

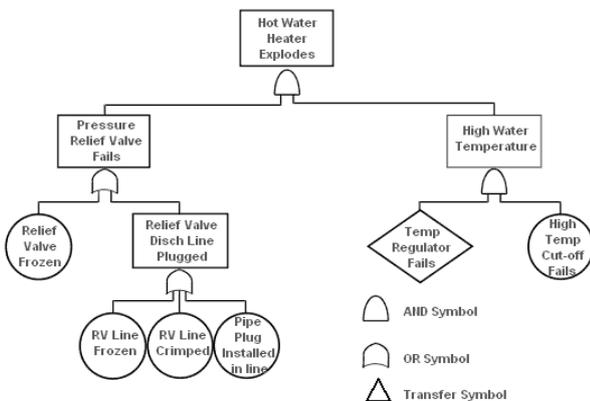
$$R_p = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \dots (1 - R_n)] \quad (2.8)$$

Dimana, R_p = reliabilitas paralel

Metedologi Penelitian

Penelitian pada SRMGC kali ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- Studi Literatur
- Mendapatkan Data dari Suatu Kasus
- Melakukan Perhitungan dan Pemodelan Reliabilitas
- Melakukan Analisa Failure Modes
- Membuat Simulasi RDB
- Validasi Hasil Perhitungan dengan Software ReliaSoft™
- Penulisan Laporan



Gambar 2.3. Contoh FTA untuk *Water Heater* (sumber: *Harry G. Kwatny, Drexel University*)

Hasil Dan Analisa

Sebelum melakukan perhitungan dilakukan, dibuat terlebih dahulu tabel pada excel™ yang memuat kolom fail/4 bulan, PDF, CDF, CDF (%), waktu, log waktu, log(CDF), reliabilitas dan *failure rate*, kemudian data pada gambar 4.1 baru diolah. Nilai PDF didapat dengan cara membagi kegagalan yang terjadi pada tiap interval dengan jumlah semua kegagalan yang terjadi. Sementara itu, nilai CDF didapat dengan menjumlahkan nilai PDF pada interval tersebut dengan interval sebelumnya Sedangkan log dari nilai log dari waktu dan log dari CDF didapat dengan *menlogkan* nilai waktu dan CDF pada tiap-tiap interval.

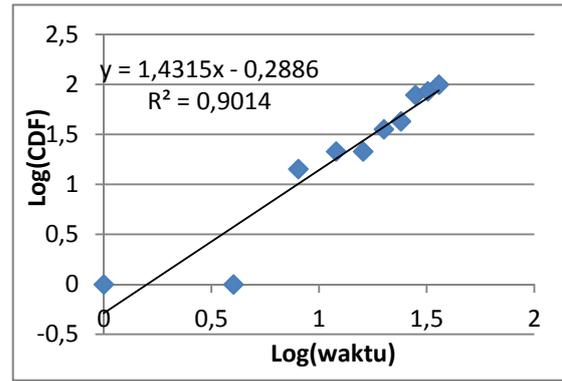
Tabel 4.1. Pengolahan Data Kegagalan SRMGC

F	PDF	CDF	CDF(%)	W	LOG10 (w)	LOG10 (C)	R	FR
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#NUM!	#NUM!	1,00	#DIV/0!
0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,60	#NUM!	0,83	0,07
2,00	0,14	0,14	14,29	8,00	0,90	1,15	0,60	0,09
1,00	0,07	0,21	21,43	12,00	1,08	1,33	0,40	0,11
0,00	0,00	0,21	21,43	16,00	1,20	1,33	0,25	0,12
2,00	0,14	0,36	35,71	20,00	1,30	1,55	0,15	0,13
1,00	0,07	0,43	42,86	24,00	1,38	1,63	0,09	0,15
5,00	0,36	0,79	78,57	28,00	1,45	1,90	0,05	0,16
1,00	0,07	0,86	85,71	32,00	1,51	1,93	0,03	0,17
2,00	0,14	1,00	100,00	36,00	1,56	2,00	0,01	0,17

Ket: F= failure/ 4 bulan
W= waktu
R= reliabilitas
FR= failure rate

Selanjutnya, nilai log(waktu) dan log(CDF) akan digunakan sebagai input dari analisa Weibull yang akan dilakukan untuk menentukan nilai *shape factornya*. Dengan memplot nilai log waktu dan log CDF akan terbentuk garis linear dengan kemiringan tertentu dimana kemiringan tersebut sama dengan *shape factor* pada analisa Weibull. Nilai *shape factor* 1,4315 menunjukkan bahwa sistem ini berada dalam *wear-out failure mode* sehingga nilai reliabilitasnya akan terus menurun.

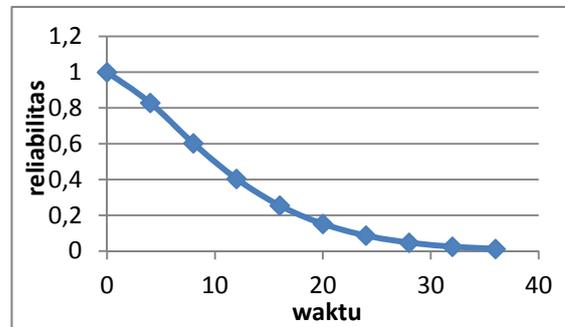
Setelah itu, MTBF dapat dihitung dengan cara membagi waktu operasional dibagi dengan jumlah kegagalan sehingga didapatkan nilai MTBF 12,8 bulan dan *shape factor* 1,43. Kemudian dengan memasukkan nilai-nilai tersebut kedalam persamaan 2.2 dan 2.5 maka nilai reliabilitas dan *failure rate* dapat dihitung. Setelah perhitungan selesai dilakukan, langkah terakhir adalah memplot nilai reliabilitas dan *failure rate* sehingga terlihat tren dari kedua nilai ini pada sistem SRMGC tersebut.



Gambar 4.1. *Shape Factor* untuk Data pada Tabel 4.1

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa sistem SRMGC ini mengalami 14 kegagalan selama 3 tahun. Hal ini membuat nilai reliabilitasnya tidak begitu baik hanya 0,828 dalam 4 bulan pertama. Pada interval kedua, reliabilitas mengalami penurunan yang paling drastis karena terjadi 2 kegagalan diawal pemakaiannya.

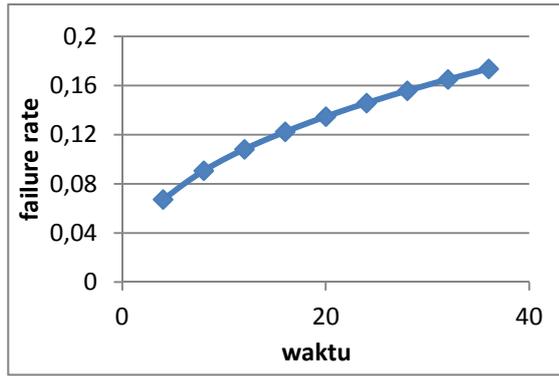
Dalam melakukan analisa *failure modes*, data kegagalan yang terjadi pada SRMGC pertama-tama dibagi kedalam beberapa jenis sesuai dengan *failure mode* yang ada, yaitu: *motor pump* rusak (FM1), filter oli rusak (FM2), *water jacket* rusak (FM3), *other* (FM4) dan *unknown* (FM5).



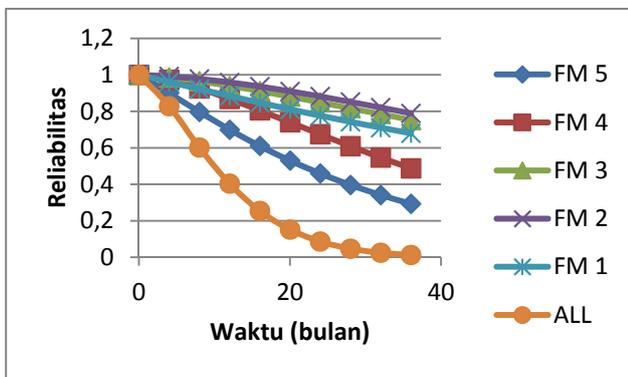
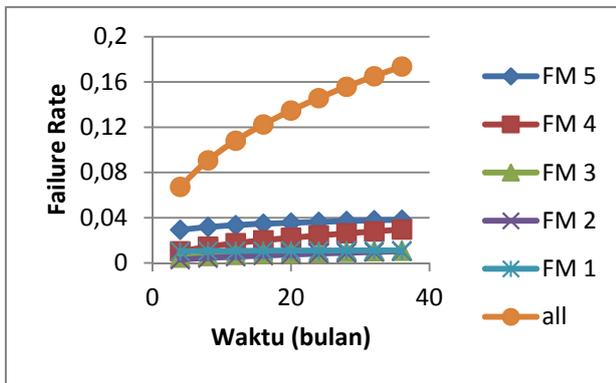
Gambar 4.2. Plot reliabilitas dari Data pada Tabel 4.1

Setelah data kegagalan yang terjadi dibagi berdasarkan *failure modenya*, pehitungan yang sama dilakukan untuk mencari reliabilitas dan *failure rate* dari tiap-tiap *failure mode* sehingga didapatkan hasil:

1. Reliabilitas untuk FM1 adalah 0,96 dengan *shape factor* 1,039
2. Reliabilitas untuk FM2 adalah 0,99 dengan *shape factor* 1,571s
3. Reliabilitas untuk FM3 adalah 0,98 dengan *shape factor* 1,372
4. Reliabilitas untuk FM4 adalah 0,97 dengan *shape factor* 1,479
5. Reliabilitas untuk FM5 adalah 0,9 dengan *shape factor* 1,122

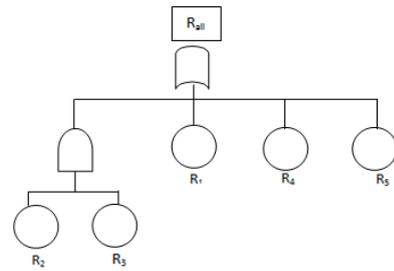


Gambar 4.3. Plot *Failure Rate* dari Data pada Tabel 4.1

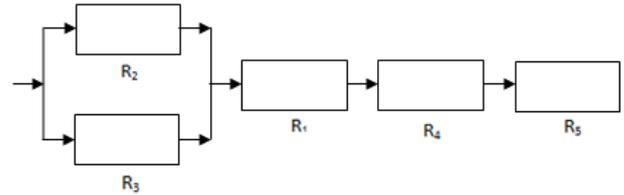


Analisa FTA dan RBD dilakukan dengan mengajukan 4 desain berbeda untuk sistem SRMGC yang kemudian nilai reliabilitasnya disesuaikan dengan yang paling mendekati dengan reliabilitas keseluruhan. Setelah dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 2.6 dan 2.7, diketahui bahwa desain ke-2 adalah yang paling sesuai.

Desain 2:



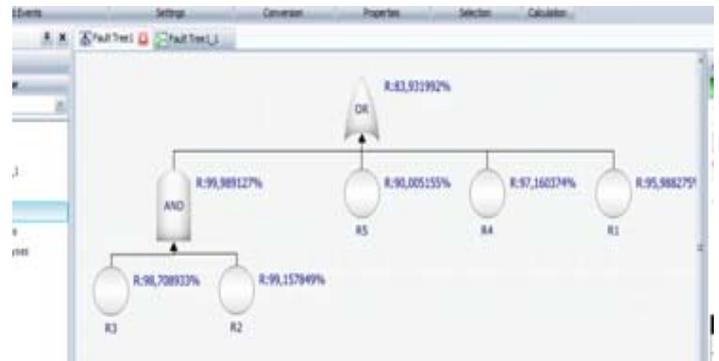
Gambar 4.6. Desain FTA dari SRMGC



Gambar 4.7. Desain RBD dari SRMGC

$$R_{all} = [1 - (1 - R_2) \cdot (1 - R_3)] \times R_1 \times R_4 \times R_5$$

$$= [1 - (1 - 0,99) \cdot (1 - 0,98)] \times 0,96 \times 0,97 \times 0,9 = 0,838$$



Gambar 4.8. Hasil validasi menggunakan BlockSim 8

Berdasarkan hasil analisa Reliabilitas keseluruhan diketahui nilai reliabilitas adalah 0,828 dengan MTBF 12,8 bulan. Secara best practice API 618 usia suatu compressor adalah 3 tahun running tanpa breakdown. Sehingga diperlukan suatu strategy guna peningkatan nilai kehandalan tersebut. Dari gambar 4.5 terlihat trending reliabilitas dari FM 4 (Others) dan FM 5 (Unknown) mengalami penurunan yang tertinggi kedua dan pertama. Maka diperlukan peningkatan nilai reliabilitas dari tiap FM tersebut. Yang memungkinkan adalah peningkatan kehandalan FM 4 dengan cara perbaikan *Annunciator* dan menghilangkan penyebab *High Temp 2nd stage*.

Kesimpulan

Setelah hasil perhitungan dan analisa reliabilitas beserta desain FTA dan RBD dari sistem SRMGC diketahui maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan shape factor, diketahui bahwa semua komponen memiliki nilai β yang berkisar antara 1 sampai 1,6. Hal ini berarti bahwa komponen-komponen dalam sistem SRMGC berada dalam *wear-out failure mode* sehingga Kegagalan yang selama ini terjadi diakibatkan karena faktor usia.
2. Reliabilitas keseluruhan dari sistem SRMGC pada kasus ini adalah 0,828
3. Berdasarkan analisa yang dilakukan terdapat 5 jenis *failure modes* dalam sistem SRMGC, yaitu *motor pump* rusak, filter oli rusak, *water jacket* rusak, *others*, dan *unknown*
4. Berdasarkan hasil perhitungan dalam analisa RBD dan validasi yang dilakukan menggunakan *software* BlockSim 8, desain ke-2 merupakan desain yang paling sesuai untuk menggambarkan hubungan antar komponen dalam sistem SRMGC.
5. MTBF keseluruhan compressor adalah 12,8 bulan. Jika dibandingkan dengan API 618 hal ini masih jauh dari yang di standarkan. Peningkatan terhadap kehandalan FM 4 akan meningkatkan peningkatan kehandalan keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arnljot Hoyland, & Marvin Rausand. *System Reliability Theory*. John Wiley & Sons, Inc.. ISBN 0-471-59397-4
- [2] R.R. Mohr. 2002, *Failure modes and effects analysis*. 8th edition. Jacobs Sverdrup
- [3] Bill Vesely.2002, *Fault Tree Analysis (FTA): Concepts and Applications*. NASA Publication.
- [4] H. Paul Barringer P.E. 1997, *Availability, Reliability, Maintainability, and Capability*. Barringer & Associates, Inc. Texas
- [5] Harry G. Kwatny. *engineering Reliability Fault Trees and Reliability Block Diagrams*. Department of Mechanical Engineering & Mechanics. Drexel University
- [6] OREDA Handbook. 5th edition. 2009. SINTEF Technology and Society. . ISBN 978-82-14-04830-8
- [7] Military Standard. MIL-STD-721C. 1981. U.S. Department of Defense. Washington DC. U.S.
- [8] Susan Stanley. 2011. *MTBF, MTTR, MTTF, & FIT Explanation of Terms*. IMC Networks. Foothill Ranch CA. US.
- [9] Yulianti, R. 2012. *Peranan Sektor Industri Pengolahan dalam Perekonomian Kota Bontang : Analisis Input-Output*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [10] API Standard 618. 4th edition. 1995. American Petroleum Institute