

Analisis Keandalan dan *Safety Integrated Level* pada Stripper PV-3900 di Industri Pengolahan Minyak

Risa Ayu Faizah, dan Ir. Ya'umar, MT.

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: risaayuzaizah@gmail.com

Abstrak— Pada industri pengolahan minyak, salah satu stripper yang digunakan yaitu stripper PV-3900, yang mulai beroperasi sejak tahun 2004. Stripper ini dilengkapi dengan beberapa sistem pengendalian, antara lain sistem pengendalian aliran, sistem pengendalian tekanan gas, dan sistem pengendalian level minyak. Masing-masing sistem pengendalian tersebut, terdiri dari beberapa komponen. Selama 10 tahun beroperasi, Stripper PV-3900 sering mengalami kegagalan kerja komponen sehingga mempengaruhi produksi minyak dan gas, serta menyebabkan kerugian. Oleh karena itu dilakukan analisis *reliability*, *safety*, dan *risk management* pada masing-masing komponen sistem pengendalian. Hasil analisis menunjukkan bahwa *reliability* Stripper PV-3900 dapat memenuhi target 0,8 selama lebih dari 15000 jam. Semua sistem pengendalian pada stripper PV-3900 berada pada tingkat *safety* SIL 1. Sedangkan total biaya yang ditanggung oleh perusahaan dalam kurun waktu 5 tahun adalah sebesar Rp. 175.966.396.887

Kata Kunci—Stripper, keandalan, *safety*, *risk management*

I. PENDAHULUAN

PT. JOB Pertamina-Petrochina East Java merupakan salah satu perusahaan dengan produksi minyak dan gas terbesar di Indonesia. Pada sebuah industri minyak dan gas, kualitas hasil produksi harus ditunjang dengan peralatan produksi yang baik serta kontrol yang efektif dan efisien.

Salah satu instrumen penunjang dalam industri minyak dan gas yaitu stripper. Stripper merupakan kolom destilasi yang berfungsi untuk memisahkan minyak dari gas H₂S.

Di PT. JOB Pertamina-Petrochina East Java, salah satu stripper yang digunakan yaitu stripper PV-3900, yang mulai beroperasi sejak tahun 2004 [1]. Stripper ini dilengkapi dengan beberapa sistem pengendalian, antara lain sistem pengendalian aliran, sistem pengendalian tekanan gas, dan sistem pengendalian level minyak. Masing-masing sistem pengendalian tersebut, terdiri dari beberapa komponen.

Apabila terdapat komponen yang tidak berjalan dengan baik, maka akan mengakibatkan menurunnya unjuk kerja stripper. Hal tersebut dapat mengakibatkan produk yang dihasilkan memiliki kualitas kurang baik. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi kinerja dari setiap komponen.

Evaluasi dilakukan melalui perhitungan nilai *reliability*, *safety*, dan manajemen resiko. Dari evaluasi tersebut, nantinya dapat dilakukan rekomendasi penjadwalan *preventive maintenance* dan perkiraan biaya yang akan

ditanggung perusahaan ketika melakukan *preventive maintenance*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Keandalan

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas suatu komponen, sub-sistem, atau sistem untuk menjalankan fungsinya tanpa mengalami kegagalan dalam periode waktu yang telah ditentukan. [2]. Keandalan suatu sistem merupakan faktor yang penting pada sebuah peralatan atau sistem, karena semakin rendah nilai keandalan suatu peralatan atau sistem, artinya peralatan tersebut semakin sering membutuhkan perbaikan (*maintenance*). [3]

Keberhasilan suatu komponen atau sistem untuk beroperasi dalam jangka waktu yang telah ditentukan, akan mempengaruhi hasil produksi pada sebuah industri. Apabila terdapat komponen atau sistem yang memiliki kehandalan rendah, hasil produksi akan menurun, begitu juga sebaliknya.

Analisis keandalan dapat membantu untuk menentukan peluang suatu komponen atau sistem mengalami kegagalan dalam melakukan fungsinya dalam jangka waktu tertentu.

Untuk menentukan keandalan dalam pengertian operasional, perlu diperhatikan tiga hal, antara lain:

1. Kegagalan harus jelas dan dapat diamati.
2. Waktu kegagalan harus dapat diidentifikasi.

Sistem diamati dalam kondisi normal.

B. Fungsi *Reliability*

Fungsi keandalan (*reliability*) dinotasikan sebagai $R(t)$ dari sistem jika dipakai selama t (satuan waktu).

Probabilitas sistem dapat berfungsi dengan baik selama pemakaian $[0, t]$. [2]

Fungsi keandalan terhadap waktu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (1)$$

Dimana:

$F(t)$ = fungsi distribusi kegagalan

$R(t)$ = keandalan (*reliability*)

$f(t)$ = probabilitas kegagalan

C. Maintainability

Maintainability adalah probabilitas suatu komponen yang rusak untuk diperbaiki ke dalam kondisi tertentu dan dalam periode waktu tentu, sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. [4]

D. Availability

Availability didefinisikan sebagai kemampuan suatu komponen untuk menjalankan fungsinya dalam jangka waktu yang telah ditentukan. [2]

Secara matematis, *availability* dapat dituliskan dalam persamaan:

$$A(i) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \tag{2}$$

Dimana:

MTBF = Rata-rata waktu antar kegagalan

MTTR = Rata-rata waktu perbaikan kegagalan

Nilai *availability* yang berubah terhadap waktu, dituliskan dalam persamaan: [4]

$$A(t) = 1 - \left[\left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) - \left(\frac{\mu}{\mu + \lambda} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right] \tag{3}$$

Dimana :

λ = failure rate

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \tag{4}$$

E. Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu, dengan total waktu operasi komponen, subsistem, atau sistem. [5]

Secara matematis, laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{f}{T} \tag{5}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \tag{6}$$

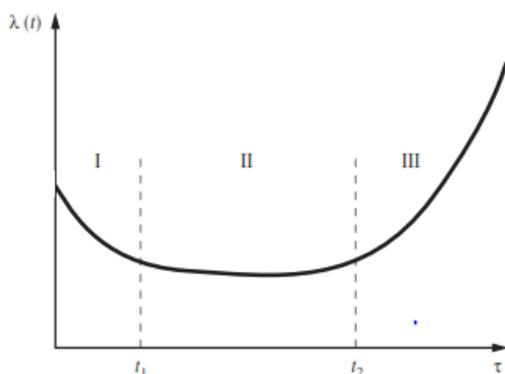
Dimana :

f = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T = total waktu operasi

F. Karakteristik Kegagalan

Laju kegagalan komponen di plot dalam sebuah kurva, yang dinamakan Kurva Bathub, seperti gambar dibawah ini:



Gambar. 1. Kurva Bathub

Pada kurva tersebut, daerah I merupakan fase pemanasan (*Burn-in*). Kurva menunjukkan laju kegagalan komponen mengalami penurunan dalam periode 0 sampai dengan t_1 , disebut juga DFR (*Decreasing Failure Rate*).

Daerah II merupakan fase *useful life* atau disebut juga masa berguna suatu komponen. Laju kegagalan yang sangat kecil dan cenderung konstan dalam periode t_1 sampai dengan t_2 , disebut juga CFR (*Constant Failure Rate*).

Daerah III merupakan masa aus (*wear out*) suatu komponen. Kurva menunjukkan laju komponen mengalami peningkatan dalam periode t_2 dan seterusnya, disebut juga IFR (*Increasing Failure Rate*).

G. Preventive Maintenance

Preventive Maintenance dapat dideskripsikan sebagai perawatan atau servis yang dilakukan oleh individu yang terlibat dengan perawatan, untuk menjaga suatu peralatan agar tetap dalam kondisi yang baik saat beroperasi dengan menyediakan pemeriksaan, deteksi dan koreksi yang sistematis terhadap kegagalan yang belum maupun akan terjadi. [3]

Tujuan utama dilakukannya *preventive maintenance* antara lain:

1. Meningkatkan *useful life* peralatan
2. Mengurangi kerusakan pada komponen penting
3. Memungkinkan adanya perencanaan dan penjadwalan yang baik untuk kegiatan *maintenance*
4. Meminimalkan kerugian produksi akibat kegagalan alat.

Kegiatan *preventive maintenance* dapat meningkatkan keandalan (*reliability*) suatu komponen atau sistem. Dalam persamaan matematis, dituliskan:

$$R_m(t) = R(T)^n R(t - nT) \tag{7}$$

untuk:

$$nT \leq t < (n+1)t$$

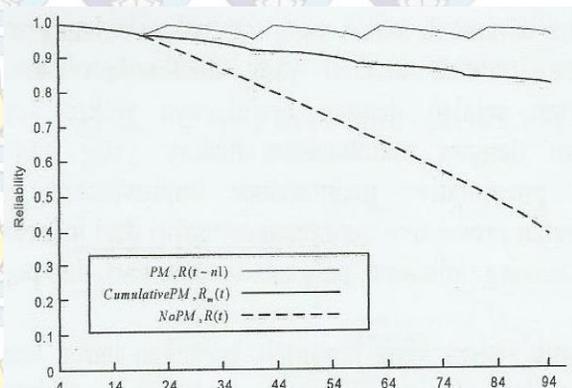
$$n = 0, 1, 2, \dots$$

Dimana :

$R(T)^n$ = probabilitas ketahanan sampai dengan *preventive maintenance* ke-n

$R(t-nT)$ = probabilitas ketahanan selama jangka waktu $t-nT$ yang telah ditentukan sebelumnya pada kondisi awal.

Grafik keandalan sistem dengan *preventive maintenance* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar. 2. Grafik keandalan sistem dengan *preventive maintenance*

H. SIL (Safety Integrated Level)

SIL merupakan tingkatan keamanan dari suatu komponen *instrument* yang dikonfigurasi dengan *Safety Instrumented System* (SIS) [7]. Nilai SIL dapat ditentukan melalui range dari nilai PFD.

PFD (*Probability of Failure on Demand*) secara matematis dapat dituliskan:

$$PFD = \frac{\lambda \cdot T_i}{2} \tag{8}$$

dimana λ adalah laju kegagalan komponen, dan T_i adalah *test interval* yang digunakan.

Setelah mendapatkan nilai PFD masing-masing komponen, tingkatan nilai SIL dapat dilihat pada tabel 2.1 sesuai dengan standar IEC 61508.

Tabel 1.
Tingkatan SIL

Safety Integrity Level	Probability of Failure on Demand (PFD)	Risk Reduction Factor (RRF)
4	< 0,0001	>10.000
3	0,001-0,0001	1.000-10.000
2	0,01-0,001	100-1000
1	0,1-0,01	10-100

RRF (*Risk Reduction Factor*) merupakan tingkat penurunan risiko suatu komponen. Besarnya RRF dituliskan dalam fungsi matematis:

$$RRF = \frac{1}{PFD} \tag{9}$$

Sesuai dengan (9), besarnya RRF berbanding terbalik dengan nilai PFD. Maka, semakin besar PFD, akan semakin kecil tingkat penurunan risiko suatu komponen, dan sebaliknya.

I. Manajemen Risiko

Manajemen risiko adalah kegiatan mengendalikan risiko dengan manajemen yang lebih baik untuk menangani kerugian perusahaan. Melalui manajemen risiko, perusahaan dapat mengambil keputusan yang efisien ketika terjadi kegagalan komponen.

- **Initiating Risk Management Process**
Beberapa cara untuk merencanakan proses manajemen risiko antara lain [7]:
 1. Membuat SOP mengenai kemungkinan masalah yang timbul beserta penanganannya
 2. Mengumpulkan informasi mengenai penyebab suatu bahaya
 3. Mengambil keputusan secara tepat dalam waktu yang cepat.
- **Risk Assesment**
Risk assesment disebut juga proses identifikasi kerusakan. Sebelum terjadi kerusakan, terlebih dahulu harus mengenali dan mendeskripsikan masalah yang kemungkinan akan terjadi.

- **Kriteria Risiko**
Kriteria risiko dibedakan menjadi dua, yaitu kriteria konsekuensi dan *probability / likelihood*.

Kriteria konsekuensi memberikan informasi mengenai kerugian yang dialami perusahaan dari segi waktu, biaya perbaikan, serta *health and safety* personal.

Kriteria *probability/likelihood* memberikan informasi mengenai seberapa sering suatu komponen mengalami kegagalan selama beroperasi. Secara matematis, nilai *probability/likelihood* dapat dituliskan:

$$Likelihood = \frac{waktu\ operasional}{MTTF} \tag{10}$$

- **Risk Analysis**
Risk analysis memberikan informasi mengenai biaya yang ditanggung perusahaan ketika terdapat komponen sistem yang mengalami kerusakan.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai risiko tenaga kerja (RTK) seperti pada (11).

$$RTK = Likelihood \times MTTR \times Total\ upah\ per\ jam \tag{11}$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tinjauan Plant

Peninjauan plant dilakukan secara langsung di PT. JOB Pertamina Petrochina East Java.

B. Identifikasi Komponen-komponen Pengendalian pada Stripper PV-3900

Dari tinjauan plant yang telah dilakukan, diketahui bahwa terdapat 3 sistem pengendalian pada stripper PV-3900 dengan masing-masing komponen penyusun nya. Sistem pengendalian pada stripper antara lain sistem pengendalian *flow* (FT, 3912, FIC 3912, FCV 3912), sistem pengendalian tekanan gas (PI 3906, PIC 3906, PCV 3906), dan sistem pengendalian level minyak (LT 3902, LIC 3902, LCV 3902).

C. Pengambilan Data

Setelah diketahui sistem pengendalian yang terdapat pada stripper beserta komponen-komponen penyusunnya, dilakukan pengambilan data berupa P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*), data kerusakan (*maintenance*) dan sepeifikasi masing-masing komponen.

D. Pengolahan Data TTF dan TTR

Data TTR diperoleh dari *daily report* PT. Pertamina-Petrochina East Java. Dari Data TTR tersebut dilakukan perhitungan sehingga didapatkan TTF.

Kemudian dilakukan pengujian distribusi yang tepat menggunakan *Reliasoft Weibull 6++*, sehingga didapatkan parameter untuk masing-masing distribusi.

E. Perhitungan Nilai Reliability, Maintainability, dan availability tiap Komponen

Untuk menghitung nilai *reliability, availability*, dan *maintainability* digunakan persamaan seperti yang tercantum pada BAB II. Parameter yang digunakan didapatkan dari hasil uji distribusi menggunakan *Reliasoft Weibull 6++*.

Nilai *reliability* dianggap memenuhi jika mencapai nilai 0,8. Apabila keandalan komponen telah terpenuhi, maka dilanjutkan dengan perhitungan lamda dan PFD untuk menentukan nilai SIL.

Namun, apabila nilai keandalan komponen belum mencapai 0,8, maka dilakukan penentuan *preventive maintenance*. Setelah *reliability* setiap komponen dihitung, dilanjutkan dengan perhitungan *reliability* Stripper PV-3900 dengan menggunakan metode RCA (*Root Cause Analysis*).

F. Penentuan Lamda (λ) tiap Komponen

Nilai lamda ditentukan berdasarkan parameter yang didapatkan dari distribusi yang sesuai. Perhitungan dilakukan dengan variasi nilai t (waktu) dari 0 hingga 15.000 jam menggunakan (5).

G. Penentuan Nilai SIL

Setelah didapatkan lamda (λ) tiap komponen, dihitung PFD masing-masing komponen. Dari nilai PFD masing-masing komponen, dihitung nilai PFD rata-rata untuk masing-masing sistem pengendalian. Nilai PFD rata-rata tersebut digunakan untuk menentukan nilai SIL sesuai dengan range PFD yang didapatkan. Range PFD untuk masing-masing tingkatan SIL dapat dilihat pada standar IEC 61058.

H. Penentuan Probability dan Konsekuensi Risiko

Perhitungan nilai *probability* risiko dilakukan menggunakan MTTF masing-masing komponen.

Penentuan konsekuensi risiko dibagi menjadi dua yaitu berdasarkan waktu dan berdasarkan biaya perbaikan. Untuk kerugian berdasarkan waktu, dicari dengan menggunakan persamaan MTTR. Sedangkan untuk kerugian berdasarkan biaya dihitung berdasarkan informasi yang didapatkan dari PT. Pertamina-Petrochina East Java.

I. Penentuan Risiko Tenaga Kerja

Setelah dicari *probability* dan konsekuensi risiko, perhitungan total risiko tenaga kerja sesuai dengan (11).

IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kuantitatif

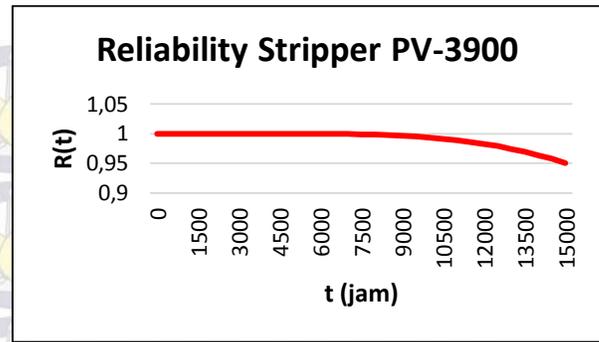
Reliability stripper PV-3900 dihitung menggunakan metode RCA (*Root Cause Analysis*).

Stripper PV-3900 dilengkapi dengan tiga sistem pengendalian. Masing-masing sistem pengendalian dilengkapi dengan 3 komponen yang terdiri dari sensor, *transmitter*, dan aktuator.

Hubungan setiap komponen pada masing-masing sistem pengendalian menggunakan logika OR, atau sistem paralel. Begitu juga dengan hubungan masing-masing sistem pengendalian pada Stripper PV-3900.

Dari hubungan tersebut, disusun diagram *Root Cause Analysis* dengan logika OR. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan 4:

$$R_s(t) = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)(1 - R_n) \tag{12}$$



Gambar. 3. Grafik Keandalan Stripper PV-3900

Pada Gambar 3, dapat dilihat bahwa keandalan Stripper PV-3900 dapat memenuhi target, yaitu 0,8 pada waktu lebih dari 15000 jam.

B. Analisis Safety

Analisis *safety* Stripper PV-3900 dilakukan dengan menghitung nilai PFD (*Probability Failure on Demand*) untuk menentukan SIL (*Safety Integrity Level*) setiap komponen.

Perhitungan PFD dilakukan pada t=8760 jam, atau 1 tahun. Hasil perhitungan nilai PFD masing-masing komponen dapat dilihat pada lampiran C.

Evaluasi *safety* untuk sistem pengendalian pada stripper PV-3900 dengan menggunakan persamaan:

Tabel 2
Hasil Evaluasi *Safety* Sistem Pengendalian pada Stripper PV-3900

Sistem	λ (t)	PFD	PFD average	RRF	SIL
Level Minyak	0,00004	0,0576	0,09724 925	10,28286	SIL 1
	1,79E-05	0,025789			
	9,63E-06	0,01386			
Pressure Gas	1,32E-05	0,019005	0,09401 472	10,63663	SIL 1
	1,37E-05	0,019714			
	3,84E-05	0,055296			
Flow Steam	5,71E-05	0,082244	0,12802 406	7,811032	SIL 1
	1,18E-05	0,01698			
	0,00002	0,0288			

C. Analisis Manajemen Risiko

Analisis manajemen risiko dilakukan untuk mengetahui risiko yang ditanggung perusahaan apabila terdapat komponen yang mengalami kegagalan.

- Penentuan *likelihood* risiko
Likelihood risiko bergantung pada nilai MTTF masing-masing komponen, yang telah dihitung menggunakan rumus MTTF sesuai distribusinya. *Probability/likelihood* risiko dihitung menggunakan (10).

Tabel 3
Nilai *Likelihood* 5 Tahun

Komponen	MTTF (jam)	Likelihood (kali/5 tahun)
LT 3902	5000	8,76
LIC 3902	11200	3,9107143
LCV 3902	20800	2,1057692
PI 3906	15136,03	2,8937575
PIC 3906	19024,15	2,3023368
PCV 3906	5826,318	7,5176123
FT 3912	4824,373	9,0789003
FIC 3912	5000	8,76
FCV 3912	10000	4,38

Dari tabel 3 terlihat bahwa komponen FT 3912 memiliki frekuensi kerusakan paling besar yaitu 9,07 kali selama kurun waktu 5 tahun.

- Penentuan Konsekuensi Risiko
Konsekuensi risiko dihitung berdasarkan kerugian dari segi waktu serta biaya perbaikan dan tenaga kerja.
- Kerugian Berdasarkan Waktu
Setiap kerusakan yang terjadi akan mengakibatkan kerugian dari segi waktu

Tabel 4
Nilai *Likelihood* dan MTTR

Komponen	MTTR	Likelihood (kali/tahun)
LT 3902	3,843555	1,752
LIC 3902	5	0,7821429
LCV 3902	5,860211	0,4211538
PI 3906	6,665158	0,5787515
PIC 3906	6,929854	0,4604674
PCV 3906	6,8	1,5035225
FT 3912	6,669677	1,8157801
FIC 3912	5,6667	1,752
FCV 3912	7,452058	0,876

Dari tabel 4 terlihat bahwa komponen FCV 3912 memiliki rata-rata waktu perbaikan paling besar, yaitu sebesar 7,45 jam. dengan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan, menyebabkan jumlah jam operasional perusahaan akan berkurang

- Kerugian Biaya Perbaikan dan Tenaga Kerja
Kerugian dari segi biaya dihitung dari biaya pergantian komponen, serta biaya tenaga kerja yang melakukan perbaikan.
Biaya pergantian komponen adalah biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk pengadaan komponen ketika terdapat komponen yang mengalami kegagalan. Biaya pergantian masing-masing komponen dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 5
Biaya Pergantian Komponen

Nama Komponen	Biaya Pergantian Komponen (rupiah)
LT 3902	34.400.000
LIC 3902	36.550.000
LCV 3902	41.800.000
FT 3912	37.200.000
FIC 3912	39.480.000
FCV 3912	40.700.000
PI 3906	34.000.000
PIC 3906	37.250.000
PCV 3906	45.660.000
TOTAL (rupiah)	347.040.000

Biaya tenaga kerja dihitung berdasarkan jumlah tenaga kerja yang melakukan perbaikan, beserta gaji yang diterima pekerja setiap melakukan perbaikan.

Rincian banyaknya tenaga kerja dan gaji yang diterima dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 6
Biaya Tenaga Kerja

Nama Komponen	Jumlah Tenaga Kerja	Total Upah Perjam (rupiah)
LT 3902	3	60000
LIC 3902	2	39500
LCV 3902	2	48000
FT 3912	3	60000
FIC 3912	2	39500
FCV 3912	3	72000
PI 3906	3	57000
PIC 3906	3	61500
PCV 3906	3	70000
TOTAL (rupiah)		507.500

- Kerugian Berdasarkan Hasil Produksi
Dalam satu hari, PT. JOB Pertamina-Petrochina East Java mampu memproduksi *crude oil* sebanyak 800 barel pad A dalam kondisi operasi normal (tanpa *maintenance*). Apabila terdapat instrument yang mengalami kerusakan sehingga harus dilakukan *maintenance*, maka perusahaan akan mengalami kerugian.

Kerugian produksi dihitung dari rata-rata hasil produksi setiap tahun selama lima tahun dikalikan dengan nilai hasil produksi dalam rupiah (harga *crude oil*).

DAFTAR PUSTAKA

Tabel 7
Kerugian Produksi Selama 5 Tahun

Tahun	MTTF (jam)	Loss Produksi (Barrel)	Harga Crude Oil (rupiah/barrel)	Kerugian (rupiah)
2009	775	16146	680777	10991716823
2010	1249	26021	683657	17789324854
2011	994	20698	951825	19700794531
2012	1340	27917	974190	27196131917
2013	1000	20833	1061108	22106416667
2014	3040	63333	1228697	77817476667
TOTAL				175601861458

- Risiko Tenaga Kerja
Biaya total tenaga kerja atau total konsekuensi risiko tenaga kerja dihitung menggunakan persamaan (2.30).

Tabel 8
Rincian Total Konsekuensi

Nama Komponen	Konsekuensi Risiko selama 5 Tahun (rupiah)
LT	2020173
LIC	772366
LCV	592332
PI	1099379
PIC	981224
PCV	3578383
FT	3633200
FIC	1960792
FCV	2350081
TOTAL	16987929

Berdasarkan tabel 8, dapat dilihat konsekuensi risiko tenaga kerja yang ditanggung perusahaan kurun 5 tahun (2009-2014) adalah sebesar Rp. 16.987.929.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan yang didapatkan dalam tugas akhir ini adalah:aaaaazmmh

1. Kandalan (*reliability*) Stripper PV-3900 dapat memenuhi target ($R(t)=0,8$) dalam waktu lebih dari 15000 jam.
2. Sistem pengendalian pada Stripper PV-3900 berada pada tingkat SIL 1.
3. Total biaya yang ditanggung oleh PT. JOB Pertamina Petrochina East Java dalam kurun waktu 5 tahun (2009-2014) adalah sebesar Rp. 175.966.396.887.

[1] Arsip PT JOB Pertamina-Petrochina East Java.
 [2] C. E. Ebeling, **An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering**, Singapura: Mc-Grow Hill Book.co, 1997.
 [3] B. Dhillon, **Engineering Maintenance : A Modern Approach**, United States of America: CRC Press LLC, 2002.
 [4] Sudarta, **Evaluasi Reliability Pada Sistem Crusher Untuk Memperbaiki Kinerja Maintenance Di PT. SEMEN GRESIK**, Surabaya: Departement of Engineering Physics, 2008.
 [5] Yuhelson, Bustami Syam, Sukaria Sunalingga, Ikhwansyah Isranuri, **Analisis Reliability dan Availability Mesin Pabrik Kelapa Sawit PT. Perkebunan Nusantara 3**, Medan: Jurnal Dinamis, 2010.
 [6] R. Ramakumar, **“Engineering Reliability,” dalam The Electrical Engineering Handbook**, CRC Press LLC, 2000.
 [7] D. N. Rahmawati, **Evaluasi Reliability dan Safety Pada Sistem Pengendalian Level Syn Gas 2nd Interstage Separator di PT. Petrokimia Gresik**, Surabaya: Departement of Engineering Physics ITS, 2013.
 [8] Edward M Marszhal, scharpf, Ercic W, **Safety Integrity Level Selection-Systematic Methods Including Layer of Protection Analysis**, ISA, 2002, p. 258.
 [9]“Index Mundi,” [Online]. Available: www.indexmundi.com. [Diakses 15 April 2015].