

**ANALISIS RPN TERHADAP KEANDALAN INSTRUMENTASI
KOMPRESOR UDARA MENGGUNAKAN METODE FMEA**



- *Liliana*
- *Ade Heri Sumantri*

**Lembaga Penelitian Dan Pengembangan Kepada Masyarakat
Universitas Islam Negeri
SULTAN SYARIF KASIM
RIAU**

**ANALISIS RPN TERHADAP KEANDALAN INSTRUMENTASI
KOMPRESOR UDARA MENGGUNAKAN METODE FMEA**

Liliana
Ade Heri Sumantri

Kutipan Pasal 44 ayat 1 dan 2
Undang - Undang Republik Indonesia
Tentang
HAK CIPTA

Tentang Sanksi Pelanggaran Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002 tentang HAK CIPTA sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang No. 7 Tahun 1987 jo. Undang-Undang No. 12 Tahun 1997 Bahwa :

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau menyebarkan sesuatu ciptaan sebagaimana yang dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,- (*satu juta rupiah*), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,- (*lima miliar rupiah*).
2. Barang siapa dengan sengaja menyebarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,- (*lima ratus juta rupiah*).



LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
2014

**ANALISIS RPN TERHADAP KEANDALAN INSTRUMENTASI
KOMPRESOR UDARA MENGGUNAKAN METODE FMEA**

© Liliana
Ade Heri Sumantri

Edisi Pertama, Cetakan Ke-1

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Penerbit pada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini dengan cara apapun,
termasuk dengan cara penggunaan mesin fotocopy, tanpa seizin dari penerbit.

Desain Cover : Liliana/Ade Heri Sumantri
Lay-out :

Perpustakaan Nasional : Katalog Dalam Terbitan (KDT)
Pekanbaru : Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
2014

Edisi : 1 Cetakan 1
viii + 144 halaman; 14 x 20,5 cm

ISBN : 978-602-1366-42-4

Penerbit :
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
Jl. H.R. Subrantas No. 155 KM. 15 Simpang Panam
Pekanbaru - Riau 28293 PO. BOX 1004
Telp. 0761 561657 Fax. 0761 562052
Email : lpp_uinsuskariau@yahoo.com

Percetakan :

**KATA SAMBUTAN
REKTOR UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SULTAN SYARIF KASIM RIAU**

Aassalamu'alaikum Wr Wb.

Untuk meningkatkan mutu Ilmiah seluruh tenaga Educative dilingkungan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, telah melakukan berbagai usaha dan upaya. Salah satu usaha yang dijalankan adalah menerbitkan buku-buku karya ilmiah dan hasil-hasil penelitian para tenaga educative dilingkungan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Riau. Dengan diterbitkan buku-buku hasil karya ilmiah dan hasil penelitian para tenaga educative di lingkungan Universitas Islam Negeri, Sultan Syarif Kasim, Riau, diharapkan usaha penerbitan ini dapat memacu semangat para tenaga educative, untuk meningkatkan kemampuannya dalam penulisan karya ilmiah dan hasil-hasil penelitian yang dilakukan.

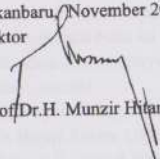
Kami sebagai Rektor mengucapkan terima kasih kepada Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat dan Kepala-kepala Pusat di lingkungan LP2M dan seluruh yang terlibat dalam proses penerbitan buku ini. Ucapan terima kasih dan penghargaan kepada seluruh tenaga educative yang menyumbangkan karya ilmiah dan hasil-hasil penelitiannya, sehingga dapat diterbitkan.

Kami mengharapkan agar buku ini dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya dalam upaya meningkatkan kualitas proses pembelajaran di lingkungan UIN Sultan Syarif Kasim Riau khususnya dan umumnya kepada seluruh pengguna atau yang memanfaatkan buku ini.

Akhirnya kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh yang terlibat dalam proses penerbitan buku ini. Dan Kepada para pembaca dimohon memberikan saran perbaikannya bilamana menjumpai kesalahan atau kekeliruan dalam buku ini, sebagai bahan penyempurnaan pada penerbitan selanjutnya.

Semoga seluruh sumbang saran dan pemikirannya, baik moril dan materi mendapat imbalan yang setimpal dari Allah SWT,

Pekanbaru, November 2014
Rektor


Prof. Dr. H. Munzir Htami, MA

Alhamdulillah, atas berkat rahmat Allah SWT, akhirnya buku ini dapat terbitkan, dan saat ini berada ditangan para pembaca sekalian. Semoga buku ini bermanfaat dan dapat menambah khazanah pengetahuan para pembaca sekalian.

Untuk sebuah perguruan tinggi, kegiatan penelitian dan penulisan karya ilmiah, merupakan sesuatu yang mutlak dilakukan oleh seluruh tenaga pendidik di samping pengabdian kepada masyarakat serta pendidikan dan pengajaran. Ketiga hal tersebut di kenal dengan istilah *Tri Darma Perguruan Tinggi*. Bagi seorang tenaga pendidik tidak semata-mata melakukan proses pembelajaran, namun tugas yang tidak kalah pentingnya adalah penelitian dan pengabdian kepada masyarakat, oleh karena itu kegiatan penelitian, merupakan upaya untuk memperbarui dan menemukan sesuatu, bagi perkembangan ilmu Pengetahuan Sain dan Teknologi.

Sesuai dengan visi UIN Sultan Syarif Kasim Riau, yaitu menjadi Universitas terkemuka di rantau Asia dan Dunia Internasional, maka kegiatan riset dan publikasi Ilmiah sesuatu yang tidak dapat ditawar-tawar. Untuk menjadi sebuah Universitas terkemuka di kawasan Asia khususnya dan Dunia Internasional, maka kegairahan intelektual dan kultur akademik harus hidup di Universitas Islam Negeri, Sultan Syarif Kasim Riau. Selain itu tenaga educative di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, dituntut untuk melakukan inovasi, inspiratif dan refovlusioner sebagai sebuah universitas yang dapat dibanggakan. Andai kata tidak demikian visi tersebut hanya sebuah mimpi yang sukar untuk diwujudkan dalam bentuk riil. Sebuah Universitas yang berbasis Riset yang dilakukan oleh kalangan Akademika di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Dalam perjalanan selalu menemukan sesuatu yang dapat memberikan pengalaman kepada para peneliti dan penulis tentang sesuatu yang baru dan dapat diterima oleh semua kalangan. Universitas yang berbasis riset dapat melahirkan publikasi - pulikasi yang cemerlang, maka terjadilah perubahan perubahan yang luar bisa dalam perjalanan peradaban umat manusia.

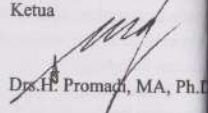
Publikasi hasil penelitian dan karya ilmiah, diharapkan dapat menjadi inspirasi dan spirit kalangan intelektual dan dapat menumbuhkan kebanggaan kultur akademik. Buku ini karya ilmiah tenaga educatif di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau tahun anggaran 2014. Penerbitan buku ini adalah untuk mendokumentasikan sekaligus dapat mengaplikasikan dan nanitanya dapat dijadikan sebagai Political Well baik secara Internal dan external.

Sebagai Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UIN Sultan Syarif Kasim Riau, mengucapkan terima kepada Bapak Rektor UIN Sultan syarif Kasim Riau, Bapak Wakil Rektor I, Wakil Rektor II, Wakil Rektor III

kepala Biro dan Dekan dan wakil Dekan yang telah memberikan dukungan atas terbitnya buku ini. Ucapan terimakasih kepada penulis yang telah menghasilkan pemikirannya baik dalam bentuk karya ilmiah murni maupun hasil penelitian. Sebagai Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LP2M) sangat apresiasi dan penghargaan yang tulus kepada seluruh jajaran Kepala Pusat di lingkungan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UIN Sultan Syarif Kasim Riau dan seluruh staf dan pegawai yang telah terlibat dalam penerbitan buku ini.

Semoga seluruh sumbang saran dan pemikirannya, baik moril dan materi mendapat imbalan yang setimpal dari Allah SWT,

Pekanbaru, Nopember 2013
Ketua


Drs. H. Promadi, MA, Ph.D.

KATA PENGANTAR

Dalam kesempatan yang sangat berbahagia ini, rasanya tiada satu kata pun yang paling layak yang pertama-tama diungkapkan, selain puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan pertolongan dan petunjuk-Nya, serta teriring salawat dan salam dipanjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang membawa manusia dari alam kegelapan ke alam yang terang benderang, sehingga buku yang berjudul **ANALISIS RPN TERHADAP KEANDALAN INSTRUMENTASI KOMPRESOR UDARA MENGGUNAKAN METODE FMEA** ini mampu kami selesaikan.

Buku ini salah satu bentuk sumbangsiah penulis dalam memberikan masukan maupun kontribusi pada dunia Industri untuk menganalisa tingkat resiko kegagalan suatu peralatan khususnya peralatan instrumentasi.

Tahap tahap penelitian dijabarkan dengan lengkap mulai dari pencarian literatur, pencarian data, dan analisis pada peralatan instrumentasi menggunakan metoda FMEA yang memiliki kelebihan untuk menjawab tingkat resiko kegagalan suatu peralatan berdasarkan nilai *severity*, *occurance* dan *detection*. Metoda ini tidak hanya menganalisis peralatan yang mengalami kegagalan saja namun deteksi mulai dilakukan pada peralatan yang mengalami gangguan ringan sehingga hasil dari analisis metode ini dapat membantu mencegah lebih dini kegagalan yang mungkin terjadi bila gejala suatu peralatan bisa dideteksi sedini mungkin.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan buku ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritikan yang membangun untuk penyempurnaan buku ini.

Akhirnya penulis berharap semoga buku ini bermanfaat bagi kita semua, khususnya dalam pengembangan ilmu pengetahuan di Jurusan Teknik Elektro.

Pekanbaru, Juli 2013
Penulis

Liliana
Ade Heri Sumantri

KATA PENGANTAR

Dalam kesempatan yang sangat berbahagia ini, rasanya tiada satu katapun yang paling layak yang pertama-tama diungkapkan, selain puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan pertolongan dan petunjuk-Nya, serta teriring salawat dan salam dipanjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang membawa manusia dari alam kegelapan ke alam yang terang benderang, sehingga buku yang berjudul **ANALISIS RPN TERHADAP KEANDALAN INSTRUMENTASI KOMPRESOR UDARA MENGGUNAKAN METODE FMEA** ini mampu kami selesaikan.

Buku ini salah satu bentuk sumbangsih penulis dalam memberikan masukan maupun kontribusi pada dunia Industri untuk menganalisa tingkat resiko kegagalan suatu peralatan khususnya peralatan instrumentasi.

Tahap tahap penelitian dijabarkan dengan lengkap mulai dari pencarian literatur, pencarian data, dan analisis pada peralatan instrumentasi menggunakan metoda FMEA yang memiliki kelebihan untuk menjawab tingkat resiko kegagalan suatu peralatan berdasarkan nilai *severity*, *occurance* dan *detection*. Metoda ini tidak hanya menganalisis peralatan yang mengalami kegagalan saja namun deteksi mulai dilakukan pada peralatan yang mengalami gangguan ringan sehingga hasil dari analisis metode ini dapat membantu mencegah lebih dini kegagalan yang mungkin terjadi bila gejala suatu peralatan bisa dideteksi sedini mungkin

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan buku ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritikan yang membangun untuk penyempurnaan buku ini.

Akhirnya penulis berharap semoga buku ini bermanfaat bagi kita semua, khususnya dalam pengembangan ilmu pengetahuan di Jurusan Teknik Elektro.

Pekanbaru, Juli 2013

Penulis

Liliana

Ade Heri Sumantri

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR NOTASI	vii
DAFTAR SINGKATAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II METODE PENELITIAN	
2.1. Penelitian Awal	8
2.1.1. Identifikasi Masalah	8
2.1.2. Studi Lapangan	8
2.1.3. Studi Pustaka	8
2.2. Pengumpulan Data	9
2.3. Pengolahan Data	9
2.4. Analisa Data	9
2.5. Kesimpulan dan Saran	11
BAB III TINJAUAN PUSTAKA	
3.1. Pengertian Kompresor	15
3.1.1. Kompresor Pemindahan Positif (<i>Positive Dispacement Compressor</i>)	16
3.1.2. Kompresor Dinamik (<i>Dynmic Compressor</i>)	18
3.2. Kompresor Udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai	20
3.2.1. <i>Lubrication System</i> (Sistem Pelumasan)	25
3.2.2. <i>Water System</i> (Sistem Air)	25
3.2.3. <i>Air Filter</i> (Penyaring Udara)	26
3.2.4. <i>Driyer</i> (Pengering)	26
3.2.5. <i>Inlet Control Valve</i> (ICV)	26
3.2.6. <i>Unloading Control Valve</i> (UCV)	27
3.2.7. <i>Control System</i>	27
3.2.8. Instrumentasi pada kompresor udara	28

3.3.	Metode <i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (FMEA)	50
3.4.	Penetapan Nilai <i>Severity</i> , <i>Occurrence</i> dan <i>Detection</i> Pada Instrumentasi Kompresor Udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai	57
3.4.1.	Penetapan <i>Saverity</i>	57
3.4.2.	Penetapan <i>Occurrence</i>	58
3.4.3.	Penetapan <i>Detection</i>	60
3.5.	Diagram Pareto	60
3.6.	Keandalan (<i>Reliability</i>)	61
3.7.	Analisa Ketersediaan (<i>Availability</i>)	62
BAB IV HASIL DAN ANALISA		
4.1.	Analisa Keandalan Instrumentasi Kompresor Udara PT. Pertamina (Persero) <i>Refinery Unit</i> II Dumai	64
4.1.1.	Analisa Instrumentasi Kompresor Udara 910-C-1A	
4.1.2.	Analisa Instrumentasi Kompresor Udara 910-C-1B	117
4.1.3.	Analisa Instrumentasi Kompresor Udara 910-C-1C	133
4.1.4.	Analisa Instrumentasi Kompresor Udara 910-C-1D	134
4.2.	Analisa ketersediaan (<i>Availability</i>)	137
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	144
5.2.	Saran	144
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

2.1 <i>Flowchart</i> metode penelitian	7
2.2. <i>Flowchart</i> analisa penelitian	11
3.1. Pembagian kompresor	15
3.2. <i>Reciprocating compressor</i>	17
3.3. <i>Rotary helical screw compressor</i>	18
3.4. <i>Axial compressor</i>	19
3.5. <i>Centrifugal compressor</i>	20
3.6. Kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai	21
3.7. <i>Block diagram</i> sistem udara <i>PAP Plus air compressor</i>	22
3.8. <i>Block diagram</i> sistem kontrol kompresor udara PT. Pertamina RU II Dumai	23
3.9. DCS kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II	24
3.10. Skema sistem pelumasan kompresor udara	25
3.11. Pengering (<i>Dryer</i>)	26
3.12. <i>Inlet control valve</i>	27
3.13. Skema diagram sistem kontrol kompresor udara	28
3.14. Sistem Pengukuran Umum	36
3.15.(a) Linieritas terminal, (b) Linieritas Independen © Linieritas kesesuaian kuadrat terkecil	39
3.16. Histerisis	40
4.1. Grafik diagram pareto kompresor udara 910-C-1A	87
4.2. Grafik diagram pareto kompresor udara 910-C-1B	103
4.3. Grafik diagram pareto kompresor udara 910-C-1C	121
4.4. Grafik diagram pareto kompresor udara 910-C-1D	136

DAFTAR TABEL

3.1. Langkah kerja metode FMEA	51
3.2. <i>Worksheet</i> FMEA	53
3.3. Kriteria <i>Severity</i> kompresor udara di Pertamina (Persero) RU II Dumai	57
3.4. Kriteria <i>occurence</i> kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai	59
3.5. Kriteria <i>Detection</i> kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai	60
4.1. <i>Worksheet</i> FMEA pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1A di PT. Pertamina (Persero) <i>Refinery Unit</i> II Dumai selama periode Januari 2009 sampai 2011	72
4.2. RPN rata-rata instrumen pada kompresor udara 910-C-1A	83
4.3. Persentase kumulatif instrumen kompresor udara 910-C-1A	85
4.4. Total kumulatif instrumentasi kompresor udara 910-1-1A untuk diagram pareto	85
4.5. <i>Worksheet</i> FMEA pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1B di PT. Pertamina (Persero) <i>Refinery Unit</i> II Dumai selama periode Januari 2009 sampai 2011	87
4.6. RPN rata-rata instrumen kompresor udara 910-C-1B	99
4.7. Persentase kumulatif instrumen kompresor udara 910-C-1B	101
4.8. Total kumulatif instrumentasi kompresor udara 910-C-1B untuk diagram pareto	102
4.9. <i>Worksheet</i> FMEA pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1C di PT. Pertamina (Persero) <i>Refinery Unit</i> II Dumai selama periode Januari 2009 sampai 2011	104
4.10. RPN rata-rata instrumentasi kompresor udara 910-C-1C	117
4.11. Persentase kumulatif instrumen pada kompresor udara 910-C-1C	
4.12. Total kumulatif RPN instrumentasi kompresor udara 910-1-1C Untuk diagram Pareto	119
4.13. <i>Worksheet</i> FMEA pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1D di PT. Pertamina (Persero) <i>Refinery Unit</i> II Dumai selama periode Januari 2009 sampai 2011	122
4.14. RPN rata-rata instrumentasi kompresor udara 910-C-1D	133
4.15. Persentase kumulatif instrumentasi kompresor udara 910-C-1D	135
4.16. Total kumulatif RPN instrumentasi kompresor udara 910-1-1D Untuk diagram pareto	136
4.17. Analisa ketersediaan instrumentasi kompresor udara 910-C-1A	139
4.18. Analisa ketersediaan instrumentasi kompresor udara 910-C-1B	140

4.19. Analisa ketersediaan instrumentasi kompresor udara 910-C-1C	141
4.20. Analisa ketersediaan instrumentasi kompresor udara 910-C-1D	142

DAFTAR NOTASI

λ = Laju kegagalan persatuan waktu.

μ = Waktu perbaikan rata-rata.

A= *Availability* (ketersediaan).

DAFTAR SINGKATAN

AOPS	: <i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>
ATTR	: <i>Air Temperature Teansmitter</i>
CS	: <i>Control Selector</i>
CV	: <i>Control Valve</i>
DCS	: <i>Distributed Control System</i>
DET	: <i>Detection</i>
DIAPS	: <i>Differential Inlet Pressure Switch</i>
DOPS	: <i>Differential Oil Pressure Switch</i>
FMEA	: <i>Failure Mode And Effects Analysis</i>
HATS	: <i>High Air Temperature Switch</i>
HOTS	: <i>High Oil Temperature Switch</i>
ICV	: <i>Inlet Control Valve</i>
LOLS	: <i>Low Oil Level Switch</i>
MOP	: <i>Main Oil Pump</i>
MTTF	: <i>Mean Time To Failure</i>
MTTF	: <i>Mean Time To Repair</i>
OCC	: <i>Occurence</i>
PI	: <i>Pressure Indicator</i>
RPN	: <i>Risk Priority Number</i>
SEV	: <i>Severity</i>
SUPS	: <i>Surge Pressure Switch</i>
UCV	: <i>Unloading Control Valve</i>
VM	: <i>Vibrastion Monitor</i>

1.1. Latar Belakang

Minyak dan gas bumi merupakan sumber bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable resources*) yang sangat berperan penting dalam kebutuhan energi dan perekonomian suatu negara. Kebutuhan akan minyak bumi yang semakin meningkat harus diikuti dengan kemampuan dalam mengolah dan memproduksi. Untuk menjaga ketersediaan produksi bahan bakar minyak yang sangat vital, suatu industri harus dapat berkerja secara maksimal, maka sangat perlu dilakukan perawatan (*maintenance*), dan perbaikan mesin secara berkala. Salah satu industri berkerja di bidang ini adalah PT. Pertamina (Persero) *Refinery Unit II Dumai*.

PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai merupakan industri perminyakan yang bergerak di bidang hilir yang mengolah minyak mentah (*crude oil*) menjadi produk-produk BBM (Bahan Bakar Minyak) dan non BBM (Antoni, 2008). Dalam pengoperasian PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai memiliki kilang dengan beberapa bagian unit yang sangat penting salah satunya pada unit *Maintenance Area (MA) III*. Unit MA III berfungsi sebagai pembangkit untuk penyediaan energi listrik, suplai udara kompresi, dan air bersih, mempunyai peranan penting dalam kelangsungan operasi kilang, kegagalan yang terjadi dalam pengoperasian mesin di unit ini dapat mempengaruhi seluruh kegiatan operasional kilang yang dapat berakibat kehilangan atau menurunnya kapasitas produksi kilang.

Bagian dari unit *Maintenance Area III* adalah mesin kompresor udara. Mesin kompresor udara ini berfungsi menaikkan tekanan udara dan menyuplai udara menuju *plant* dan *air instrument* yang membutuhkan tekanan pneumatik dari kompresor di semua area kilang seperti untuk MA I, MA II, MA III dan *utilities* dalam memenuhi kebutuhan proses operasi kilang.

Berdasarkan gangguan dan kerusakan yang terjadi, dapat dijadikan rujukan dalam penelitian ini untuk proses analisa kegagalan, dampak yang ditimbulkan, menghitung serta menganalisa keandalannya. Salah satunya terjadi pada mesin kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai.

Maintenance Area III di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai memiliki 4 unit kompresor udara jenis *sentrifugal* dengan penggerak (*driver*) motor listrik dan turbin uap masing-masing 2 unit, dengan *range* kecepatan putaran 2973-3600 rpm.

Kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) RU II pernah mengalami gangguan sistem, diantaranya pada sistem instrumentasi. Gangguan sistem berakibat menurunkan performansi kompresor udara dengan terjadi kerusakan komponen, *overload*, *surgings*,

vibrasi atau temperatur tinggi, sehingga suplai udara kompresi tidak dapat memenuhi untuk kebutuhan area lain. Hal ini melatarbelakangi penulis untuk melakukan analisa pada kompresor udara. Beberapa alat instrumentasi pada kompresor udara antara lain seperti: *vibration monitor, control valve, temperature switch, presurre switch, pressure gauge* dan sebagainya.

Untuk analisa keandalan sistem instrumentasi kompresor udara penulis akan menggunakan metode *Failure Mode And Effects Analysis* (FMEA). Alasan pemilihan metode ini adalah FMEA merupakan suatu metode yang mengidentifikasi mode-mode dari penyebab kegagalan yang ditimbulkan oleh setiap komponen terhadap suatu sistem, akibat dan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dari kegagalan. Metode FMEA belum diaplikasikan oleh PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai untuk menganalisa kegagalan sistem khususnya instrumentasi kompresor udara.

Metode FMEA juga merupakan metode pendekatan kualitatif yang menerapkan suatu metode pentabelan yang dapat mempermudah peneliti dalam menganalisa data kegagalan yang nantinya bisa dijadikan acuan dalam melakukan tindakan pencegahan sebelum terjadinya masalah, mendata alat yang mengalami kegagalan, sehingga dapat meningkatkan keandalan.

Dalam metode FMEA dilakukan perhitungan RPN untuk menentukan tingkat resiko kegagalan tertinggi, dengan menghubungkan tiga kriteria yaitu *severity* (keparahan), *occurrence* (kejadian), dan *detection* (deteksi). Semakin tinggi nilai RPN maka tingkat resiko kegagalan akan meningkat sehingga dapat menurunkan keandalan komponen suatu sistem.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah menganalisa nilai RPN terhadap keandalan instrumentasi kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) *Refinery Unit II Dumai* dengan menggunakan metode FMEA serta menentukan nilai ketersediaan (*availability*). Untuk memecahkan permasalahan tersebut terdapat beberapa hal yang perlu dirumuskan dalam penelitian ini yaitu:

1. Instrumen apa saja yang mengalami gangguan pada kompresor udara?
2. Apa saja mode kegagalan, pengaruh kegagalan, penyebab kegagalan, dan bentuk pengendalian pada instrumen kompresor udara?
3. Bagaimana menentukan kriteria dari *severity, occurence* dan *detection*?
4. Bagaimana menentukan RPN terhadap keandalan instrumen pada kompresor udara?
5. Berapa *availability* instrumen pada kompresor udara?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini pembahasan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Membahas sistem pada instrumentasi kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai.
2. Metode yang digunakan dalam menganalisis adalah menggunakan metode FMEA untuk menentukan tingkat keandalan suatu sistem berdasarkan nilai RPN, nilai RPN diperoleh dari berdasarkan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*.
3. Untuk menentukan grafik dari RPN menggunakan diagram Pareto.
4. Menentukan *availability* (ketersediaan) berdasarkan laju kegagalan persatuan waktu (λ), waktu perbaikan rata-rata (μ), *Mean Time To Repair* (MTTR) dan *Mean Time To Failure* (MTTF).
5. Data yang digunakan selama 3 tahun dari periode Januari 2009 sampai Desember 2011.

1.4. Tujuan

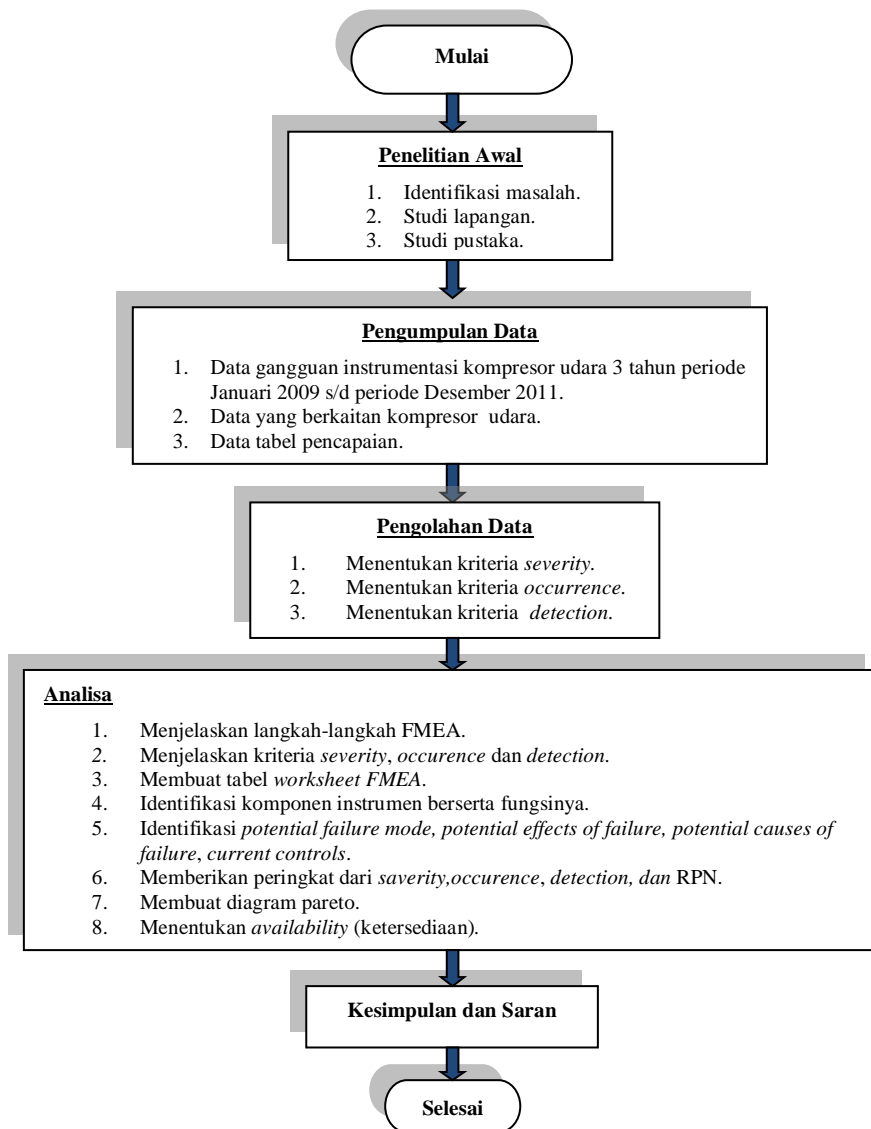
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *Risk Priority Number* (RPN) terhadap keandalan instrumentasi kompresor udara di PT. Pertamina (persero) *Refinery Unit* II Dumai dengan menggunakan metode FMEA.

1.5. Manfaat Penelitian

Ada beberapa manfaat dari penelitian menggunakan metode FMEA ini yaitu:

1. Bagi peneliti dapat memperoleh pengetahuan dan pengalaman dengan menerapkan metode FMEA dalam permasalahan yang terjadi dalam proses produksi industri khususnya pada instrumentasi kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai.
2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan atau rekomendasi bagi perusahaan untuk mengetahui seberapa besar keandalan dan pertimbangan dalam melakukan perawatan kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai.

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan latar belakang, tujuan serta permasalahan yang akan diteliti, yaitu melakukan analisa RPN terhadap keandalan instrumentasi kompresor udara menggunakan metode FMEA PT. Pertamina (Persero) *Refinery Unit* II Dumai. Untuk mendapatkan hasil analisa, ada beberapa tahapan metode penelitian yang perlu dilakukan. Tahapan penelitian ini digambarkan pada gambar *flowchart* dibawah ini:



Gambar 1.1. *Flowchart* metode penelitian.

Berikut dijelaskan metode penelitian berdasarkan gambar 1.1 di atas :

1. Penelitian Awal

Tahap ini bertujuan untuk menentukan latar belakang, merumuskan permasalahan yang akan dijadikan bahan penelitian, menetapkan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian, dan menentukan batasan masalah. Ada beberapa cara dilakukan antara lain:

- Identifikasi masalah

Langkah identifikasi ini dilakukan untuk menemukan permasalahan yang terjadi pada kompresor udara yang terjadi di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai dan menemukan metode analisa yang akan digunakan.

- Studi Lapangan

Pada tahap ini dilakukan pengamatan dalam rangka mengetahui sistem yang sebenarnya akan diteliti yaitu:

1. *Interview* yaitu melakukan wawancara dan berdiskusi pada pembimbing perusahaan di PT Pertamina (Persero) RU II Dumai bagian instrumentasi.
2. Observasi yaitu melakukan pengamatan atau studi lapangan secara langsung.

- Studi Pustaka

Studi ini bertujuan menemukan referensi yang berkaitan tentang kompresor udara, instrumentasi, teori *reliability*, dan metode FMEA untuk memperkuat hasil penelitian tugas akhir. Sumber-sumber studi kepustakaan yang diperoleh melalui buku dan jurnal.

Sumber buku dan jurnal untuk studi kepustakaan seperti:

1. *Engineering Design A Material And Processing Approach.*
2. *Reliability and Maintainability Engineering.*
3. Analisa *Reliability Instrument* menggunakan Metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) Pada *Boiler Feed Pump Turbin.*
4. Analisa *Reliability* Pada *Pumping Unit* Dengan Menggunakan Metode FMEA.
5. *The Basic Of FMEA.*
6. *Potential Failure Mode And Effects Analysis Reference Manual.*
7. *Compressor Handbook.*

2. Pengumpulan Data

Dalam tahapan ini dilakukan pengumpulan data dari perusahaan, data-data mengenai kegagalan instrumentasi kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai dan data penunjang lainnya. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Data gangguan instrumentasi kompresor udara selama 3 tahun, periode Januari 2009 sampai dengan Desember 2011.
2. Data yang berkaitan kompresor udara di perusahaan mengenai sistem kerja mesin, instrumentasi, dan pengukuran.
3. Data target pencapaian perusahaan.

3. Pengolahan Data

Data yang didapat diolah untuk menentukan 3 kriteria yaitu *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang dijabarkan dalam bentuk tabel. *Kriteria severity*, *occurrence*, dan *detection* didasari *reference manual failure mode and effects analysis* dari *Automotive Industry Action Group* (AIAG) yang menggambarkan industri otomotif yang

kemudian dimodifikasi agar disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Dalam aplikasinya, objek penelitian dalam penelitian ini difokuskan pada analisa instrumentasi kompresor udara.

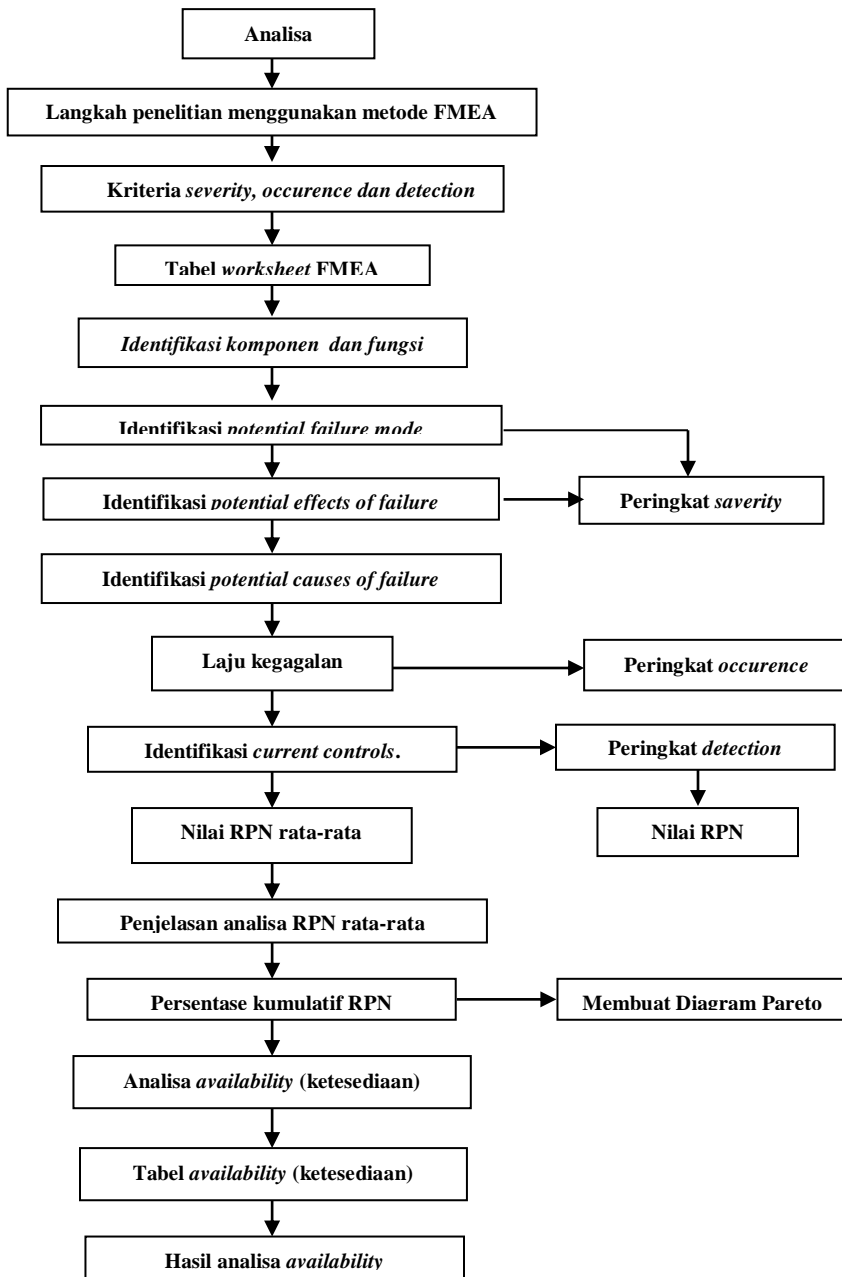
Nilai *severity* didapatkan berdasarkan dampak yang ditimbulkan oleh komponen yang mengalami gangguan yaitu dengan menentukan dampak dari keparahannya. Besarnya dampak yang dihasilkan dapat diklasifikasikan dimulai dampak yang tertinggi sampai yang terendah atau tidak ada efek sama sekali, kriteria peringkat kegagalan yang terjadi di lapangan berdasarkan peringkat 1 (tidak ada efek) sampai 10 (bahaya tanpa tanda-tanda).

Nilai *occurrence* didapatkan berdasarkan seberapa sering akibat tersebut muncul oleh karena penyebab tertentu dalam periode Januari 2009 sampai Desember 2011. Digunakan peringkat 1 (permasalahan yang jarang terjadi) sampai peringkat 10 (munculnya permasalahan sangat tinggi).

Nilai *detection* didapatkan dengan melakukan penilaian dalam seberapa besar alat mampu mendeteksi atau mengontrol kegagalan yang terjadi dan tindakan perbaikannya. Digunakan peringkat 1 (pasti terdeteksi) sampai 10 (tidak terdeteksi).

4. Analisa

Dari pengolahan data sebelumnya, kemudian dilakukan analisa data yang bertujuan mendapatkan hasil dari nilai RPN terhadap keandalan insrumentasi kompresor udara, ada beberapa tahapan dalam analisa data yaitu:



Gambar 1.2. Flowchart analisa penelitian.

Penjelasan *flowchart* analisa penelitian:

1. Langkah penelitian menggunakan metode FMEA.
Menjelaskan langkah-langkah yang akan disusun dalam menganalisa instrumentasi kompresor udara menggunakan metode *Failure Mode And Effects Analysis* (FMEA) dalam penelitian.
2. Kriteria *severity*, *occurrence* dan *detection*.
Menjelaskan tingkatan kejadian gangguan berdasarkan kriteria *severity*, *occurrence* dan *detection*. masing-masing kriteria terdapat 1 sampai dengan 10 peringkat.
3. Tabel *worksheet* FMEA.
Membuat tabel *worksheet* FMEA untuk kompresor udara berdasarkan referensi *manual failure mode and effects analysis* dari *Automotive Industry Action Group (AIAG)*. Ada 4 tabel *worksheed* yang dibuat yaitu untuk analisa instrumentasi masing-masing kompresor udara 910-C-1A/1B/1C/1D.
4. Identifikasi komponen dan fungsi.
Mengidentifikasi jenis komponen dan fungsi instrumen yang mengalami kegagalan tersebut.
5. Identifikasi *potential failure mode* (potensi mode kegagalan).
Mengidentifikasi potensi mode/bentuk kegagalan yang terjadi pada instrumen kompresor udara di lapangan.
6. Identifikasi *potential effects of failure* (potensi efek kegagalan).
Mengidentifikasi potensi efek atau akibat kegagalan yang dapat ditimbulkan pada kompresor udara di lapangan.
7. Peringkat *saverity* (keparahan).
Memberikan perangkaan atau peringat berdasarkan mode dan efek kegagalan yang terjadi dilapangan berdasarkan kriteria *severity*.
8. Identifikasi *potential causes of failure* (potensi penyebab kegagalan).
Identifikasi potensi penyebab kegagalan kompresor udara berdasarkan kejadian dilapangan.
9. Laju kegagalan (λ)
Menemukan laju kegagalan atau banyaknya kejadian kegagalan yang terjadi selama selang periode 2009 s/d 2011.
10. Peringkat *occurrence* (frekuensi kejadian).
Memberikan peringkat berdasarkan laju kegagalan yang terjadi selama periode 2009 s/d 2011 berdasarkan kriteria *occurence*.
11. Identifikasi *current controls* (bentuk pengendalian).
Bentuk pengendalian dalam memecahkan masalah dengan melakukan tindakan perbaikan atau perawatan untuk mengurangi atau menghilangkan kegagalan.

12. Peringkat *detection* (deteksi).
Memberikan peringkat berdasarkan bentuk pengendalian yang terjadi dilapangan berdasarkan kriteria *severity*.
13. Nilai *Risk Priority Number* (RPN).
Melakukan perhitungan nilai RPN dengan mengkalikan ketiga kriteria *severity*, *occurence* dan *detection* yang didapat.
14. RPN rata rata
Nilai RPN yang sudah didapatkan kemudian diolah untuk mendapatkan RPN rata-rata setiap instrumen.
15. Penjelasan analisa RPN rata-rata.
Membuat tabel RPN rata-rata kemudian memberikan penjelasan hasil dari analisa nilai RPN rata-rata instrumentasi kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai.
16. Persentase kumulatif RPN
Menentukan persentase kumulatif instrumentasi kompresor udara untuk membuat grafik diagram pareto.
17. Membuat diagram pareto.
Membuat grafik diagram pareto menggunakan *software Microsoft Excel* berdasarkan persentase kumulatif.
18. Analisa *availability* (ketersediaan).
Melakukan analisa ketersediaan dengan menentukan waktu operasi, menghitung laju kegagalan, *mean time to failure* (MTTF) dan *mean time to repair* (MTTR) berdasarkan data gangguan *instrument* kompresor udara pada lampiran.
19. Tabel *availability* instrumentasi kompresor udara.
Membuat tabel ketersediaan pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1A/B/C/D berdasarkan analisa *availability* di atas.
20. Hasil analisa *availability*.
Menjelaskan nilai ketersediaan terendah pada komponen instrumentasi kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai dan perbandingan target standar dari perusahaan.

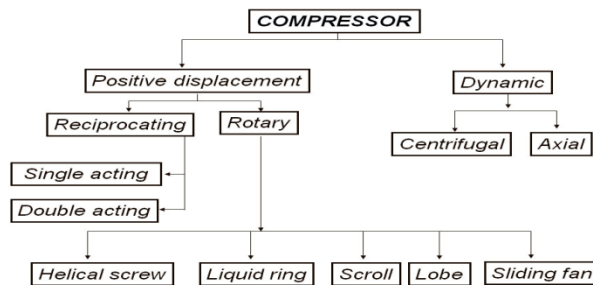
8. Kesimpulan dan Saran

Menjelaskan hasil rangkuman dari analisa data yang didapat dari penelitian keandalan instrumentasi kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

2.1. Pengertian Kompresor

Kompresor adalah mesin mekanik yang digunakan untuk menghasilkan udara atau gas bertekanan dengan cara memampatkannya. Kompresor bekerja dengan menghisap udara atau gas dari atmosfer untuk menghasilkan udara bertekanan agar dapat mengalirkan udara sesuai dengan kebutuhan proses di industri. Karena proses pemampatan, udara mempunyai tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan udara lingkungan (1atm). Dalam keseharian, kita sering memanfaatkan udara mampat baik secara langsung atau tidak langsung. Sebagai contoh, udara mampat yang digunakan untuk mengisi ban mobil atau sepeda motor, udara mampat untuk membersihkan bagian-bagian mesin yang kotor di bengkel-bengkel dan manfaat lain yang sering dijumpai sehari-hari. Pada industri, penggunaan kompresor sangat penting, baik sebagai penghasil udara mampat atau sebagai satu kesatuan dari mesin-mesin. Kompresor banyak dipakai untuk mesin pneumatik, sedangkan yang menjadi satu dengan mesin yaitu turbin gas, mesin pendingin dan lainnya.

Berdasarkan kompresinya terdapat dua jenis kompresor yaitu kompresor pemindahan positif (*positive displacement compressor*) dan kompresor dinamis (*dynamic compressor*) seperti gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1. Pembagian kompresor.
(Sumber: US DOE, 2003)

2.1.1. Kompresor Pemindahan Positif (*Positive Displacement Compressor*)

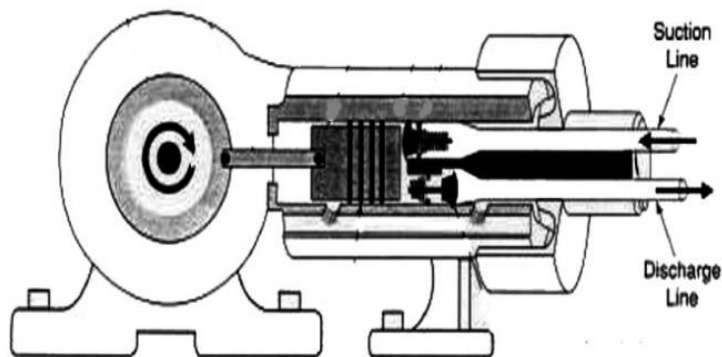
Kompresor pemindahan positif berkerja dengan memberikan tekanan udara. Gaya yang diberikan mengakibatkan terjadinya kenaikan tekanan yang menyebabkan udara keluar. Kompresor ini dibagi 2 yaitu: kompresor piston (*reciprocating compressor*) dan kompresor putar (*rotary compressor*).

1. Kompresor Piston (*Reciprocating Compressor*)

Kompresor piston merupakan salah satu jenis kompresor yang telah digunakan untuk aplikasi yang sangat luas. Prinsip kerja kompresor ini adalah pada saat piston ditarik *volume* akan membesar, tekanan akan menurun. Pada saat tekanan menurun udara yang memiliki tekanan lebih tinggi akan memasuki ruangan melalui katup isap. Pada saat piston bergerak menekan, maka volume udara akan mengecil sehingga tekanan akan membesar. Dengan tekanan yang lebih besar dari tekanan di luar, maka udara akan bergerak dari ruangan menuju keluar melalui katup tekan. Kompresor jenis ini dilengkapi dua jenis katup yaitu katup isap dan katup tekan. Katup isap berfungsi sebagai saluran masuk udara sebelum dikompresi. Setelah dikompresi udara tersebut akan dialirkan ke katup tekan.

Kompresor piston tidak dapat melakukan putaran tinggi, karena dapat menghasilkan gaya inersia akibat gerak bolak-baliknya. Sehingga dengan putaran yang tinggi akan mengakibatkan gaya inersia juga tinggi, hal ini akan menimbulkan getaran yang tinggi dan dapat memicu kerusakan komponen-komponen mekanik kompresor (Hanlon, 2001).

Kompresor yang kompresinya hanya pada satu sisi disebut *single acting compressor*. Kompresor yang terdiri dari dua sisi kompresi disebut *double acting compressor*. Susunan yang terdiri dari satu atau banyak silinder dan dihubungkan secara paralel disebut *single stage compressor*.

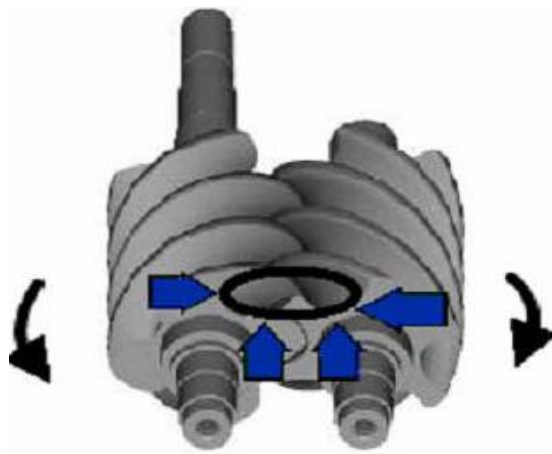


Gambar 2.2. *Reciprocating compressor*
(Sumber: Julie King, 2003)

2. Kompresor Putar (*Rotary Compressor*)

Kompresor jenis putar ini dapat menghasilkan tekanan yang tinggi, kompresor ini menghasilkan getaran yang relatif kecil dan menghasilkan keluaran lebih tinggi dibandingkan dengan kompresor piston. Hal ini disebabkan sudu-sudu pada kompresor putar, yang merupakan elemen bolak-balik, mempunyai massa yang jauh lebih kecil dari pada piston. Selain itu kompresor putar tidak memerlukan katup (Hanlon, 2001).

Kompresor putar menggunakan media air sebagai pendingin, pendinginan dilakukan pada bagian dalam kompresor agar temperatur operasi yang tinggi tidak akan terjadi, Sehingga keamanan komponen dapat terjaga. Kompresor putar ini ada beberapa model yaitu: *Helical Screw, liquid ring, lube, scroll* dan *sliding fan*.



Gambar 2.3. *Rotary helical screw compressor*.
(Sumber: Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia, 2006)

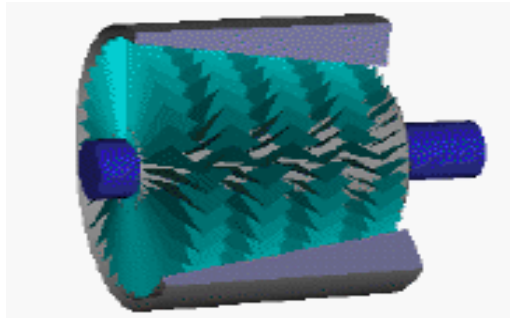
2.1.2. Kompresor Dinamik (*Dynamic Compressor*)

Kompresor ini bekerja dengan cara memindahkan energi pada *impeller* dengan dasar pembelokan aliran sehingga energi kinetik dalam kompresor akan bertambah seiring bertambahnya kecepatannya. Kompresor jenis ini dibagi dua yaitu: kompresor *sentrifugal* dan kompresor *axial*.

1. Kompresor Aksial (*Axial Compressor*)

Pada kompresor aksial aliran udara paralel terhadap sumbu putar. Kompresor ini tersusun atas beberapa tingkat *impeller*, beberapa tingkat tersebut disebut rotor yang

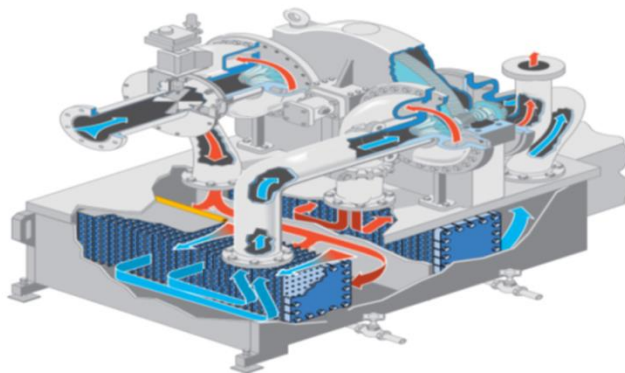
dihubungkan dengan poros sentral yang berputar dengan kecepatan tinggi. Arah aliran udara yang masuk searah dengan udara yang digunakan oleh kompresor. Kompresor ini banyak digunakan untuk industri pesawat terbang.



Gambar 2.4. *Axial compressor.*
(Sumber: Julie King, 2003)

2. Kompresor *Sentrifugal*

Kompresor *sentrifugal* termasuk bagian dari kompresor dinamis, prinsip kerja tergantung pada masukan energi dari *impeller* berputar ke udara. Proses kompresi atau penekanan pada kompresor *sentrifugal* terdiri dari beberapa tahap. Udara dihisap memasuki kompresor melewati sebuah pipa masuk. Kemudian pada waktu udara melewati sudu-sudu putar (*impeller*), gaya tersebut ditransmisikan atau dipindahkan untuk menambah energi kinetik aliran dengan memberikan percepatan pada udara. Sesudah udara melewati *impeller*, udara memasuki *difuser* yang merubah energi kinetik menjadi energi potensial tekanan. Kompresor udara *sentrifugal* menggunakan media pendingin air. Kompresor *sentrifugal* lebih sesuai diterapkan untuk kapasitas besar seperti untuk industri



Gambar 2.5. *Centrifugal air compressor.*
(Sumber: FS-Elliott, 2005)

Kompresor jenis *sentrifugal* ini digunakan pada industri perminyakan di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai di bagian *Maintenance Area III* sebagai pembangkit untuk menyuplai udara bertekanan menuju unit atau bagian kilang yang membutuhkan udara kompresi seperti untuk *air instrument system* dan *plan air system*. Kompresor udara ini menggunakan penggerak (*Driver*) dari tubin uap dan motor listrik. Pada penelitian ini penulis hanya membahas kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai jenis *sentrifugal*.

2.2. Kompresor Udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai

Udara bertekanan dari kompresor udara dimanfaatkan untuk menyuplai kebutuhan *plant air system* dan *instument air system*. Kompresor udara yang dimiliki PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai di *Maintenance Area III* sebanyak 4 unit, 2 unit digerakkan oleh motor dan 2 unit lagi oleh turbin uap. Merek kompresor udara yang digunakan adalah *Pap Plus Compressor United Tecnologies Elliott, Elliott Company Pennesylvanio, USA*.



Gambar 2.6. Kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai.

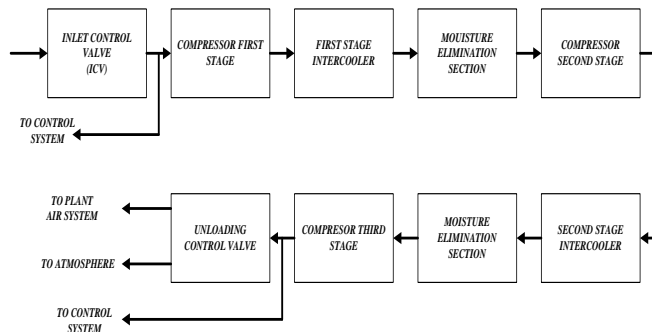
Prinsip kerja dari operasi kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai sebagai berikut:

Udara dari atmosfer dihisap oleh kompresor dari *inlet*, udara disaring melalui *air filter* untuk menghilangkan debu, kotoran atau uap air yang dapat mengganggu atau merusak komponen. Volume udara yang masuk dikontrol oleh sebuah *inlet control valve*, Selanjutnya udara masuk melalui sudu-sudu putar tahap pertama (*first stage impeller*), dan udara diteruskan melewati sebuah pendingin tahap pertama (*first stage intercooler*) untuk menurunkan temperatur dari hasil kompresi pertama. Udara kemudian dikompresi kembali melalui sudu-sudu putar kedua (*second stage impeller*) dan dilanjutkan ke pendingin tahap dua (*second stage intercooler*). Setelah melalui pendingin tahap kedua, udara dikompresi untuk ketiga kalinya melalui sudu-sudu putar ketiga (*third stage*

impeller), dan udara didinginkan lagi di *third stage intercooler* untuk menurunkan temperaturnya kembali.

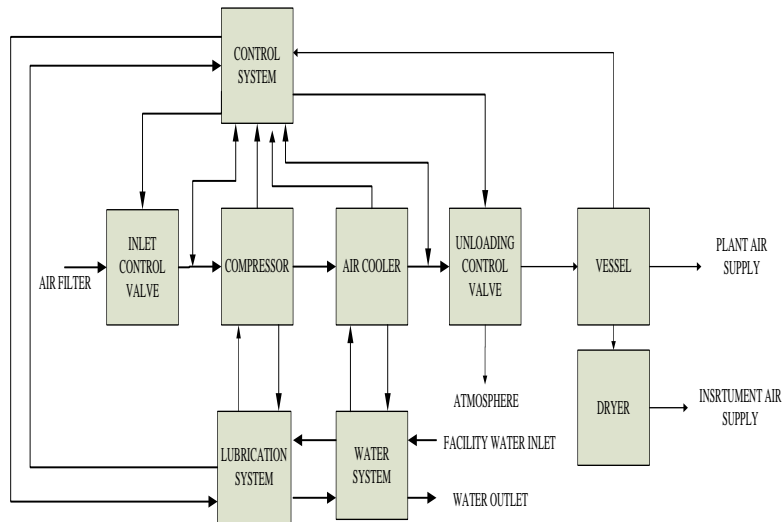
Udara kompresi kemudian dilewatkan melalui *filter* dan ditampung pada tangki *vessel* yang nanti akan digunakan untuk kebutuhan kilang. Udara bertekanan ini akan digunakan sebagai suplai untuk *plant* dan *air instrument* yang membutuhkan tekanan pneumatik di unit lain. Untuk kebutuhan suplai *air instrument* udara harus melalui unit pengering (*dryer*) untuk menghilangkan uap air yang masih tersisa dari proses. Kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai memiliki dua fungsi, yaitu sebagai *plant air supply* untuk menyuplai udara kompresi untuk kebutuhan perawatan dan pembersihan pada peralatan atau mesin di area kilang. Sementara untuk *instrument air supply* digunakan menyuplai udara kompresi untuk peralatan instrumentasi yang membutuhkan tekanan pneumatik diantaranya *control valve*, *control pneumatic*, dan *transmitter pneumatic*. Peralatan industri yang membutuhkan tekanan pneumatik dari kompresor udara yaitu pada boiler, *demineralizer*, PLTU, *deaerator* dan lainnya.

Unloading Control Valve (UCV) akan berkerja ketika keluaran tekanan udara yang dihasilkan melebihi kapasitas tekanan atau terjadi *surgings*. UCV berkerja membuka katup untuk membuang udara ke atmosfer dan akan menutup bila tekanan kembali normal.

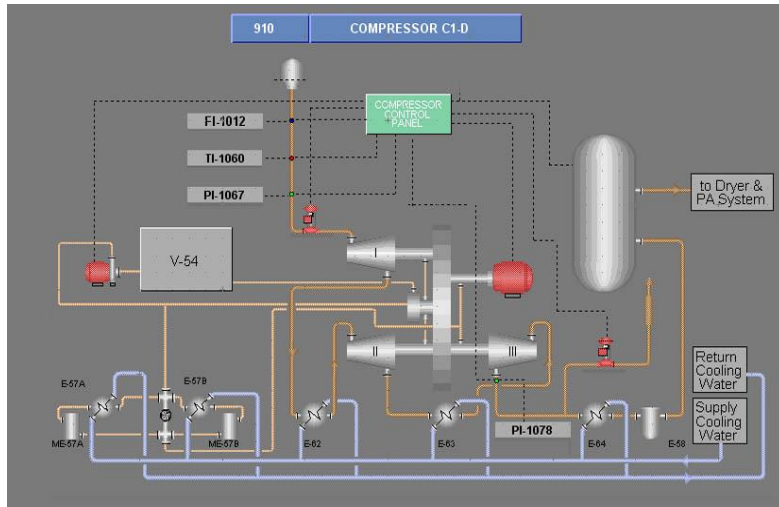


Gambar 2.7. Block diagram sistem udara PAP Plus air compressor.
(Sumber: *Technical Manual Prepared United Technologies Elliot, 1977*)

Sistem pelumasan (*Lubrication system*) berfungsi sebagai pelumas oli sangat penting dalam menjaga agar *bearing* dan *gear* kompresor dalam keadaan baik serta menjaga dari keausan komponen. Untuk *water system* digunakan sebagai pendingin atau pelembap udara yang telah di kompresi pada *intercooler* agar temperatur udara dan oli dapat diturunkan karena temperatur yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada komponen atom mesin kompresor udara.



Gambar 2.8. *Block diagram* sistem kontrol kompresor udara PT. Pertamina RU II Dumai. (Sumber: *United Technologies Elliot, 1977*)



Gambar 2.9. DCS kompresor udara dengan penggerak motor listrik di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai. (Sumber: PT. Pertamina RU II Dumai)

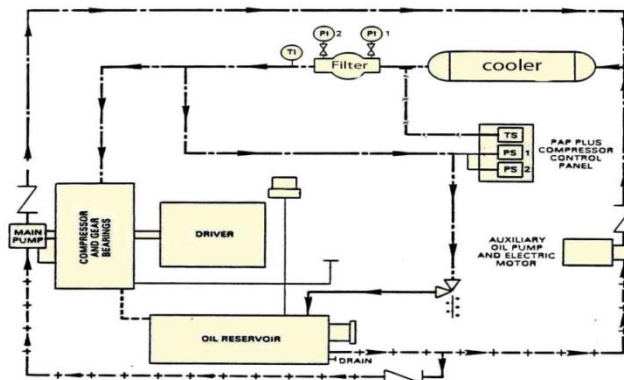
Kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) RU II digerakan (*driver*) oleh turbin uap dan motor listrik dengan kecepatan 2960 s/d 3600 rpm. Untuk menggerakkan turbin uap energi

berasal dari uap air bertekanan tinggi (*high pressure steam*) yang dihasilkan dari proses penguapan air di boiler. Turbin uap ini mengubah energi potensial menjadi energi kinetik yang kemudian di ubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran rotor, sedangkan pada motor listrik energi dihasilkan dari pembangkit listrik PLTU dan PLTD milik Pertamina.

Ada beberapa bagian atau sistem yang penting dalam menunjang kinerja suatu kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai yaitu:

2.2.1. *Lubrication System* (Sistem Pelumasan)

Sistem pelumasan (*lubrication system*) sangat penting digunakan di dalam kompresor. Sebelum kompresor *start*, oli sebagai pelumas *bearing* dan *gear* harus dalam keadaan baik. Oli masuk ke *bearing* dan *gear* yang dialirkan oleh *auxiliary oil pump* yang berfungsi memompa oli. *Auxiliary oil pump* bekerja saat tekanan 20 psi (1.4 bar). Setelah kompresor udara berkerja maka *main oil pump* kompresor akan mengambilalih kerja *auxiliary oil pump*. Oli tersebut berfungsi sebagai pelumas dan sekaligus pendingin kerja *bearing* dan *gear* untuk mencegah terjadinya keausan yang merusak komponen di dalam kompresor. Di dalam sistem ini terdapat *instrument* yang mengukur temperatur, level, dan tekanan antara lain: *Low Oil Level Switch* (LOLS), *High Oil Temperature Switch* (HOTS), *Differensial Oil Pressure Switch* (DOPS) dan *Auxiliary Oil Pump Switch* (AOPS).



Gambar 2.10. Skema sistem pelumasan kompresor udara.
(Sumber: *United Technologies Elliot, 1977*)

2.2.2. *Water System* (Sistem Air)

Sistem ini berkerja untuk menyuplai air pendingin (*supply water cooling*) yang berfungsi sebagai pendingin udara (*air coolers*) dan pendingin oli (*oil coolers*) untuk mengendalikan temperatur di dalam kompresor, serta menjaga agar kompresor tetap berkerja optimal, temperatur air 35°C. *Instrument* yang terdapat pada *water system* ini adalah *temperature indicator*.

2.2.3. Air Filter (Penyaring Udara)

Air filter ini berfungsi menyaring udara masuk pada tekanan atmosfer untuk mendapatkan udara yang bersih dari kotoran, debu dan juga untuk menghilangkan kelembapan masuk ke kompresor yang dapat menyebabkan kerusakan pada *impeller*. Udara yang masuk diproses oleh kompresor untuk menghasilkan udara bertekanan. *Instrument* yang terdapat pada *air filter* yaitu *Air Temperature Transmitter* (ATTR) dan *Differential Inlet Air Pressure Switch* (DIAPS).

2.2.4. Dryer (Pengering)

Udara bertekanan masuk ke tangki pengering (*dryer*). Udara yang masih mengandung uap air akan dikeringkan pada unit *dryer* yang di dalamnya terdapat bahan *katalist* yang menyerap air sehingga udara yang dihasilkan kering tidak mengandung uap air lagi. *Dryer* digunakan untuk kebutuhan suplai *air instrument*.



Gambar 2.11. Pengering (*Dryer*).

2.2.5. Inlet Control Valve (ICV)

Berdasarkan sinyal yang dikirim dari *controller*, *inlet control valve* berkerja untuk membuka membuka atau menutup aliran udara masuk pada kompresor. Perubahan *temperature* atau *pressure* yang di ukur oleh ATTR (*air temperature transmitter*) akan mempengaruhi posisi bukaan ICV. Jenis *inlet control valve* yang digunakan adalah *butterfly valve*. Fungsi *inlet control valve* untuk mengatur udara yang akan masuk dari *filter* udara ke *impeller* di dalam kompresor. *Inlet control valve* bekerja dengan sinyal pneumatik 3-15 psi, apabila sinyal hilang maka *valve* akan menutup.



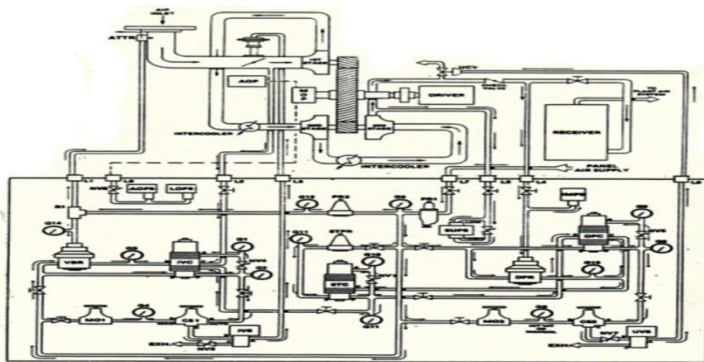
Gambar 2.12. *Inlet control valve.*
(Sumber: PT. Pertamina RU II Dumai)

2.2.6. *Unloading Control Valve (UCV)*

Dari *stage third impeller* dihasilkan udara bertekanan yang akan dialirkan ke *plant air system*. Apabila tekanan udara *discharge* yang dihasilkan sangat tinggi maka *unloading control valve* berkerja membuka katup dan udara akan dibuang ke atmosfer. UCV akan menutup kembali jika tekanan kembali normal. UCV pada kompresor udara menggunakan tipe *throttling plug* dan bekerja dengan sinyal pneumatik 3-15 psi.

2.2.7. *Control System*

Control system adalah proses pengaturan ataupun pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (*parameter*) sehingga berada pada suatu harga (*range*) tertentu. *Control system* ini mengatur aliran udara melalui kompresor dengan mengutamakan udara masuk ke kompresor *inlet control valve* dan pembuangan udara melalui *unloading control valve* ketika kompresor mengalami *surgin* atau berhenti. Sistem kontrol bekerja secara otomatis mendeteksi, mengukur dan mengontrol kerja kompresor udara dan memberikan tanda *alarm* (peringatan) hingga memerintahkan untuk melakukan *shutdown*, yaitu ketika temperatur udara antar *stage* tinggi, temperatur oli tinggi, vibrasi rotor tinggi, tekanan udara, dan tekanan oli rendah.



Gambar 2.13. Skema diagram sistem kontrol kompresor udara.
(Sumber: *United Technologies Elliot, 1977*)

2.2.8. Instrumentasi pada Kompresor Udara

Instrumentasi adalah alat-alat atau piranti (*device*) yang dipakai untuk pendeteksian, pengukuran dan pengendalian dalam suatu sistem yang lebih besar dan lebih kompleks. Secara umum instrumentasi mempunyai 3 fungsi utama :

a. Alat pengukuran

Fungsi alat ukur adalah untuk meraba atau mendeteksi parameter yang terdapat dalam proses industri atau penelitian ilmu pengetahuan seperti : tekanan, temperatur, aliran, gerakan, resistansi, tegangan, arus listrik, dan daya. Alat ukur harus mampu mendeteksi tiap perubahan dengan teliti dan dapat membangkitkan sinyal peringatan yang menunjukkan perlunya dilakukan pengaturan secara manual atau mengaktifkan peralatan otomatis. Untuk mendapatkan sifat unjuk kerja yang optimum maka perlu diperhatikan sejumlah karakteristik dasar. Adapun karakteristik dasar alat ukur dapat dijabarkan sebagai berikut (Samadikun, 1989) :

- Ketelitian (*accuracy*)

Ketelitian pengukuran atau pembacaan merupakan hal yang sifatnya relatif. Pada pengukuran, ketelitian dipengaruhi kesalahan statis, kesalahan dinamis, drift/sifat berubah, reproduksibilitas dan non-linier. Ketelitian didefinisikan sebagai kedekatan (*closeness*) pembacaan terhadap harga standar yang diterima atau harga benar. Ketelitian yang absolute tidak punya arti dalam pengukuran besaran fisika. Dari hasil percobaan, ketelitian dipengaruhi oleh batas-batas kesalahan intrinsik, batas variasi pada indikasi, ketidakstabilan listrik nol (*electrical zero*) dan lingkungan. Harga kesalahan ini sama dengan derajat kesalahan pada hasil akhir. Ketelitian ditentukan dengan mengkalibrasi pada kondisi kerja tertentu dan dinyatakan diantara plus dan minus suatu prosentasi harga pada harga skala yang ditentukan. Semua instrumen ditentukan dalam klasifikasi yang disebut kelas atau tingkat (*grade*) yang tergantung dari ketelitian produk itu.

Ketelitian dari sistem yang lengkap tergantung pada ketelitian individual dari elemen peraba (*sensing element*) primer dan elemen sekunder, dan menentukan ketelitian. Bila A adalah ketelitian seluruh sistem, maka $A = \pm (a_1 + a_2 + a_3 + \dots)$ dimana $\pm a_1, \pm a_2, \pm a_3, \dots, \pm a_n$ adalah ketelitian dari tiap elemen pada sistem instrumen itu. A tersebut merupakan ketelitian terendah. Dalam praktek dipakai harga rms (*root mean square*) dari ketelitian masing-masing. Dapat ditulis : $A = \pm a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_n^2$. Hal ini dapat dipakai mengingat tidak mungkin semua bagian dari sistem berada dalam kesalahan statis terbesar pada tempat sama dan waktu yang sama.

- Ketepatan

Karakteristik lain pada instrumen adalah ketepatan divais/alat. Ketepatan adalah merupakan kedekatan pengukuran masing-masing yang didistribusikan terhadap

harga rata-ratanya. Maksudnya merupakan ukuran kesamaan terhadap angka yang diukur sendiri dengan alat yang sama, jadi tidak dibandingkan dengan harga standar/baku. Ketepatan ini berlainan dengan ketelitian, dan ketepatan yang tinggi tidak menjamin ketelitian yang tinggi (ketelitian dibandingkan dengan harga baku).

- **Kesalahan**

Terdapat hubungan antara yang diukur (*measurand*) dengan output teoritis atau ideal dari sebuah transduser. Pada transduser ideal outputnya memberikan harga yang benar. Pada kenyataannya tidak demikian. dalam batas jangkauan tertentu dari sebuah transduser terdapat hubungan antara output transduser dengan kurva teoritis. Hubungan ini dapat dinyatakan dengan persamaan matematika, grafik atau harga tabel. Harga output ideal tidak memperhatikan keadaan lingkungan (*sabient environ-mental*) seperti kondisi instrument sebenarnya.

Pada kenyataannya output transduser memiliki sifat non ideal. maka terdapat deviasi

yang diukur dengan harga yang benar, perbedaan dari harga yang dibaca dengan harga yang benar disebut kesalahan (*error*). Biasanya kesalahan dinyatakan dalam persen terhadap output skala penuh (*full scale output/FS*). Perbandingan kesalahan ini terhadap skala penuh output adalah merupakan ketelitian alat. Kesalahan tersebut di atas terdiri dari kumpulan kesalahan individual. Pada pengukuran sesungguhnya kesalahan transduser telah diketahui secara pasti. Dengan mengetahui kesalahan individual yang akan dijelaskan lebih lanjut dapat digunakan untuk koreksi dari data akhir maka akan menaikkan ketelitian pengukuran. Jenis-jenis kesalahan dalam melakukan pengukuran dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Kesalahan-kesalahan intrinsik, absolut dan relatif.

Kesalahan yang terdapat ketika instrumen dalam kondisi referensi disebut kesalahan intrinsik. Kesalahan absolut adalah perbedaan yang didapat dari pengurangan harga yang diukur dengan harga yang benar. Sedangkan kesalahan relatif yaitu perbandingan kesalahan absolut dengan harga yang benar. Dalam hal tertentu diperlukan kesalahan kelinieran relatif K yang dinyatakan dengan hubungan:

$$K = \frac{K_a - K_b}{K_a} \quad (2.1)$$

dimana

K_a = kemiringan rata-rata yang diukur pada pertengahan 80% dari skala penuh,

K_b = kemiringan rata-rata yang diukur pada ekstrim bawah 10% dari skala penuh.

2. Kesalahan acak dan tidak menentu

Kesalahan tidak menentu dan acak terlihat bila pengukuran-pengukuran berulang pada besaran sama menghasilkan harga-harga yang berbeda. Besar dan arah dari kesalahan tidak diketahui dan tidak dapat ditentukan. Hal ini dapat disebabkan karena adanya gesekan atau histerisis pegas, noise/derau, atau gejala lain. Faktor yang menyebabkan ialah perubahan sinyal input yang acak (random), bersama noise dan drift yang ada dalam pengkondisi sinyal. Kesalahan tersebut timbul banyak dalam analisa data dinamis. Ketidakmenentuan dinyatakan sebagai deviasi rata-rata, kemungkinan kesalahan atau deviasi statistik. Harga kesalahan diperkirakan sebagai harga dari penyimpangan nilai yang diamati atau dihitung terhadap nilai yang sebenarnya.

3. Kesalahan Sistematik dan Instrumental

Kesalahan yang disebabkan karena karakteristik bahan yang digunakan untuk pembuatan alat pengukur atau sistem disebut kesalahan instrumental atau sistematik. Kesalahan sistematik relatif konstan, kesalahan disebabkan karena sensitivitas, drift, zero effect. Gejalanya biasanya tersembunyi tidak mudah terlihat. Harga kesalahan ini didapatkan secara statistik berdasarkan observasi berulang dalam kondisi yang berbedabeda atau dengan alat yang berbeda (tipe sama). Biasanya kesalahan ini dapat dihilangkan menggunakan faktor koreksi. Kesalahan instrumental adalah pengukuran ketepatan pada pembacaan instrumen. Kesalahan ini dapat direduksi oleh pengamat pada waktu membaca. (membacanya lebih cermat).

4. Kesalahan interferensi

Gangguan yang tidak diinginkan termodulasi pada sinyal input yang rendah misalnya karena noise (derau), hum (dengung), induksi, riak (ripple), atau dari transien karena saklar dihidupkan, ini semua mengakibatkan kesalahan interferensi. Noise timbul dari mesin listrik lain, medan magnet, sumber panas, gangguan cuaca, pembusuran kontak pada saklar dan relay, elektrostatis dan lainnya. Kesalahan ini dapat dikurangi memakai isolasi pada alat, diskriminasi frekwensi, Isolasi (shielding) terhadap listrik, elektomagnetik dan listrik statis.

5. Kesalahan instalasi (kesalahan pakai)

Kesalahan timbal karena pemakaian tidak sesuai dan salah instalasi. Kesalahan ini nyata besarnya bila alat bekerja di luar jangkauannya seperti :

panas yang berlebihan, getaran dan tidak match. Semua alat harus bekerja sesuai dengan batas-batas yang dinyatakan dalam spesifikasi alat oleh pembuatnya.

6. Kesalahan operasi (kesalahan manusia)

Kesalahan ini terjadi bila teknik penggunaan alat sangat buruk, walaupun alat sebetulnya akurat dan terpilih baik. Misalnya kesalahan timbul karena penyetelan yang tidak sesuai, standar rusak, skala yang kanan tidak sesuai, pembacaan paralaks, dan operator kurang terlatih. Pada pemakaian jembatan pengukur strain gauge mungkin terlupakan untuk mengatur ke nol terlebih dahulu sebelum pengukuran dilakukan dan dibuat seimbang pada posisi skala penuh. Harus diyakini bahwa alat-alat sebagai standar untuk mengukur resistansi, tegangan, tekanan dan temperatur harus dikalibrasi dengan tepat sebelumnya. Pembacaan berulang oleh pengamat yang terlatih dan pengecekan yang bebas (*independent*) perlu dilakukan bilamana mungkin. Kesalahan lain sebagai kesalahan orang yang disebabkan karena ceroboh, karena kurang pengalaman dan keterbatasan pribadi, masih mungkin timbul. Kesalahan ini dapat diatasi dengan pembacaan instrumen yang dilakukan oleh lebih dari satu orang saja.

7. Drift nol (zero drift)

Drift nol adalah deviasi yang terlihat pada output instrumen terhadap waktu dari harga permulaan, bila kondisi instrumen semua konstan. Ini dapat disebabkan oleh variasi kondisi lingkungan atau karena umur.

8. Kesalahan karena perubahan-perubahan sensitif

Kadang-kadang, kesalahan karena drift pada skala nol atau skala penuh adalah besar dan sifatnya sangat acak. Koreksi sangat sumbu dihilangkan. Kesalahan maksimum timbul sesaat setelah alat dihidupkan dan mengecil setelah waktu pemanasan. Kesalahan ini timbul karena perubahan sensitivitas alat akibat perubahan temperatur atau fluktuasi tegangan jala-jala. Kesalahan ini dapat dikurangi memakai kompensasi temperatur dan regulator tegangan atau dengan pemakaian penguat diferensial yang seimbang atau penguat dengan stabilisasi chopper (*Chopper Stabilized*). Kesalahan ini dapat dikurangi dengan pengamatan yang berulang dan kalibrasi statis yang banyak pada input yang konstan. Sifat dari kesalahan acak mengikuti distribusi Gauss.

9. Kesalahan statistik

Kesalahan statistik dalam pengukuran dapat dinyatakan dalam harga rata-rata statistik (*statistical mean*) dan deviasi standar. Bila $x_1, x_2 \dots x_n$ menyatakan sekumpulan harga besaran yang diukur, harga rata-rata statistik \bar{x} dari

pembacaan-pembacaan diberikan sebagai : $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ Deviasi standar merupakan derajat dispersi dari pembacaan sekitar harga rata-rata. dituliskan sebagai :

$$r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (2.2)$$

dimana :

r = deviasi standar

d_i = deviasi masing-masing titik dari harga rata-rata. $x_i - \bar{x}$

n = jumlah pengamatan

10. Pembobotan kesalahan

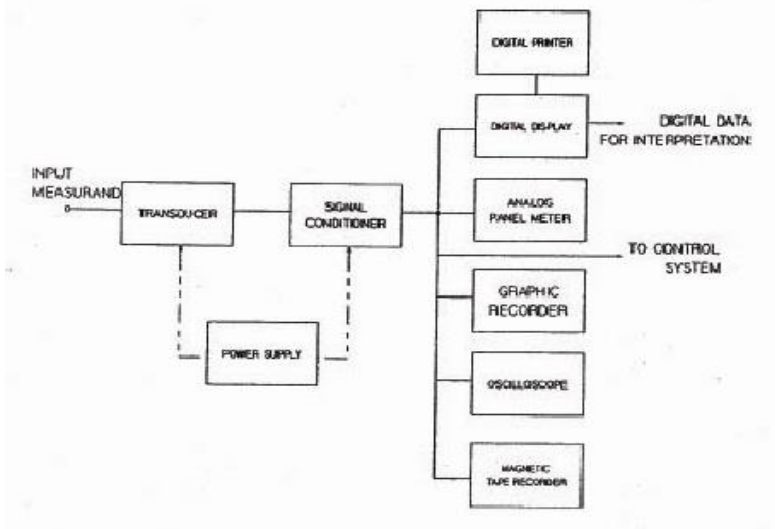
Dalam sebuah percobaan, kesalahan tidak dapat langsung dihitung misalnya: kesalahan pengamatan pengukuran angka Mach sangat bergantung pada kesalahan ukur pada dua harga tekanan. Kesalahan tergantung pada harga-harga yang berhubungan dengan masing-masing pengukuran dan pula dengan interaksi kesalahan pada perhitungan akhir. Tiap kesalahan tidak mempengaruhi hasil akhir.

Pada tiap soal pengukuran, jelas harus dimengerti lebih dahulu tentang transduser listrik, pengkoreksi sinyal dan pemraga atau alat perekam sebelum melaksanakan percobaan. Untuk membuat perancangan yang lebih mendetail perlu dibuat spesifikasi dari alat dan sistem pengukur itu. Untuk itu ada 8 aturan pokok yang harus diikuti pada tiap soal pengukuran.

1. Buatlah unjuk kerja (*performance*) minimum pada instrumen yang diperlukan, dengan memperhatikan:
 - soal pengukuran dinyatakan secara pasti
 - tujuan primer dan tujuan sekunder
 - ketelitian yang diperlukan
 - kemungkinan terdapat kerusakan pada komponen
 - ukuran fisik alat
 - cara pengetesan dan jadwalnya
2. Kumpulkan, sistimatisasikan dan analisislah seluruh data dan fakta yang membantu untuk menentukan soal dan cara pemecahannya. Susunlah daftar pertanyaan sebagai berikut :
 - Apakah instrumentasi yang konvensional telah cukup ? Bila tidak dalam hal apa?

- Apakah teknik instrumen sama yang telah ada dapat diterapkan untuk memecahkan soal ini ?
 - Apakah pengembangan alat yang terakhir dapat digunakan dalam soal pengukuran ini?
 - Apakah diperlukan penelitian dasar dipandang dari sudut teori ?
 - Apakah soal harus dipecahkan dengan memakai instrumen spesial ?
3. Carilah fakta yang tidak ada atau informasi yang tertinggal, dan lakukan pengetesan komponen untuk menambah kriteria perancangan instrumen. Semua data teknis dan semua komponen harus bisa didapatkan. Harus dilakukan pengetesan penting pada parameter-parameter yang mempengaruhi sifat keseluruhan sistem.
 4. Pilih pendekatan yang logis dan tentukan spesifikasi perancangan. Masalah rekayasa/engineering harus diuji, kemudian pilihlah pendekatan/pemecahan yang mempunyai kemungkinan berhasil terbesar.
 5. Fabrikasikan/produksi komponen dan sistem instrumen yang telah dirancang itu, dengan jumlah minimal pada perubahan yang bersifat kurang menyenangkan. Lakukan pengukuran pengaturan kualitas (quality control) dan perbaiki kemampuan pekerja lebih baik dari standar tapi menggunakan biaya yang masih dapat diterima.
 6. Lakukan semua kalibrasi dan pengetesan pada saat produksi agar dapat dicapai ketelitian yang diperlukan pada kondisi lingkungan tertentu. Sediakan grafik atau data kesalahan diduga akan terjadi. Tekankan pada ketepatan (*precision*) (berdasarkan data reproduksibilitas) dan ketelitian (*accuracy*).
 7. Berikan secara profesional pada detail teknis pengetesan. Kadang-kadang sistem yang baik ternyata ditolak sedangkan sistem yang masih ragu diterima bahkan kemudian gagal.
 8. Bantuan dalam evaluasi data. Data harus dipresentasikan dalam sebuah daftar yang berguna agar dapat menyelesaikan soal yang seharusnya. Data kalibrasi harus diberikan dengan ketelitian yang diharapkan.

Sistem pengukuran dapat digambarkan seperti terlihat di bawah ini



Gambar 2.14. Sistem Pengukuran Umum
(Sumber :Samadikun, dkk. 1989)

Sistem pengukuran umum terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut ditunjukkan pada Gambar 2.14

1. Transduser

Mengubah besaran yang diukur (kuantitas yang diukur, sifat atau keadaan) menjadi output listrik yang berguna.

2. Pengkondisi sinyal

Mengubah output transduser menjadi besaran listrik yang cocok untuk mengatur perekaman atau pemrogram.

3. Pemraga atau alat yang dapat dibaca

Memeragakan informasi tentang besaran yang diukur menggunakan satuan yang dikenal dalam bidang teknik.

4. Catu daya listrik

Memberikan tenaga kepada transduser dan bagian pengkondisi sinyal dan pula untuk alat pemraga.

Transduser didefinisikan sebagai sebuah alat yang bila terkena suatu bentuk energi dapat mengubahnya menjadi bentuk energi yang lain. Sifat transduksi dapat dari mekanik, listrik, atau optika menjadi bentuk yang lain. Pengkondisi sinyal mempunyai variasi ke kompleksan mulai dari rangkaian resistor sederhana atau rangkaian *matching* impedansi hingga yang terdiri dari mulai tingkat penguat, detector, demodulator dan filter. Istilah lain dari pengkondisi sinyal adalah pemodifikasi sinyal atau pemroses sinyal. Sinyal output dapat berbentuk analog atau besaran digital. Pemraga (read out/display) dapat memberikan pula format

analog atau digital yang dapat dibaca atau diinterpretasikan. Sebuah alat pemraga yang sederhana dalam instrumen listrik ialah meterpanil (panelmeter) yang mempunyai skala dan jarum penunjuk. Pemraga yang baru seiring dengan perkembangan komputer tidak menggunakan sinyal analog tetapi diubah menjadi sinyal digital memakai sebuah konverter analog ke digital dan seterusnya diperagakan pada panel digital. Dapat dihasilkan pencetakan (print out) numerik (dengan angka) menggunakan alat penetik bila diperlukan pencatatan permanen. Sinyal analog juga dapat direkam dengan menggunakan rekorder dengan kertas bergulung dan sinyal diproses memakai sistem potensiometer dengan penyeimbang sendiri (self-balancing potentiometer) atau pada osilograf tipe galvanometer memakai sinar ultraviolet pada kertas film.

Cara ini dapat digunakan pula bila sinyal sangat lambat perubahannya, jarum galvanometer kuat dengan pena penulis memakai tinta atau filamen panas pada kertas termal. Sinyal digital dapat direkam dengan berbagai cara misalnya pada teleprinter memakai pita kertas berlubang, printer-garis, printer-mosaik (dot-matrix), kertas proses, pita magnetik dan floppy-disk. Keuntungannya dengan cara-cara ini ialah lebih akurat dan mengurangi kesalahan oleh manusia.

b. Alat analisis

Sebagai alat analisa peralatan instrumen berfungsi untuk menganalisis kualitas kandungan dari suatu produk yang dikelola. Kemudian dapat juga dipergunakan sebagai alat analisa untuk pencegahan polusi dari hasil buangan industri agar tidak membahayakan dan merusak lingkungan. banyak dijumpai di bidang kimia dan kedokteran

c. Alat kendali.

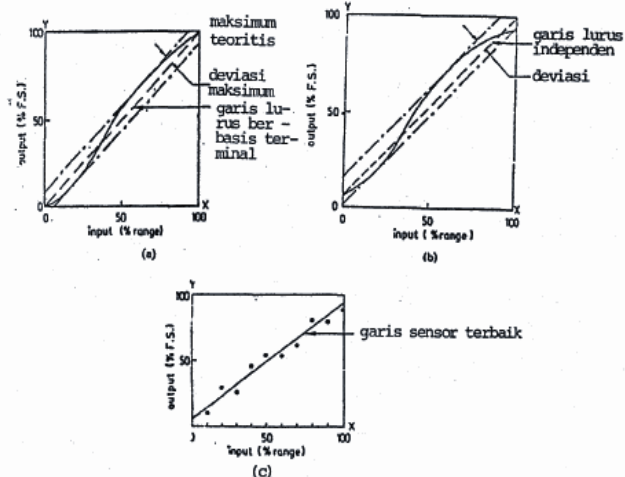
Sebagai alat control yaitu berfungsi untuk mengendalikan jalannya operasi agar *variable* proses (PV) yang diukur dapat diatur atau dikendalikan sesuai harga yang diinginkan, banyak ditemukan dalam bidang elektronika, industri dan pabrik-pabrik.

2.3. Linieritas

Kebanyakan transduser dirancang untuk mendapatkan output terhadap input yang diukur dengan hubungan linier, pertama karena ini cenderung dapat lebih teliti. Linieritas didefinisikan sebagai kemampuan untuk mereproduksi karakteristik input secara simetris, dan ini dapat dirumuskan sebagai $y = mx + c$. dengan y output, x input, m kemiringan dan c titik potong. Kedekatan kurva kalibrasi dengan sebuah garis lurus adalah kelinieran transduser. Ketidaklinieran mungkin disebabkan oleh sifat bahan yang tidak linier pada komponen, penguat elektronika, histerisis mekanik, aliran kental atau

merayap, bagian yang lewat elastis pada bahan mekanik. Linieritas dinyatakan sebagai prosentase penyimpangan dari harga linier, yaitu deviasi maksimum kurva output dari best-fit garis lurus selama kalibrasi. Linieritas absolut berhubungan dengan kesalahan maksimum pada tiap titik pada skala terhadap pengukuran absolut atau garis lurus teoritis. Nilainya diberikan sebagai $x\%$ dari skala penuh. Linieritas diklasifikasikan sebagai berikut "Linieritas kemiringan teoritis" adalah garis lurus yang menghubungkan titik-titik ujung teoritis. Garis ini digambar tanpa harga-harga yang diukur.

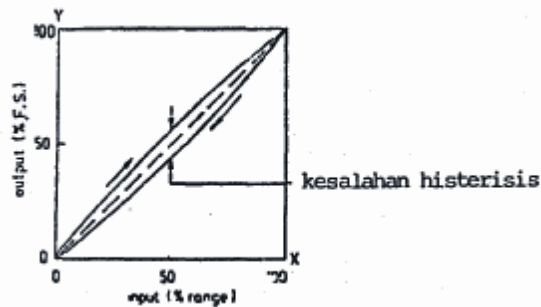
"Linieritas terminal" (terminal linearity) adalah linieritas kemiringan teoritis dalam hal spesial, yaitu dengan titik-titik ujung teoritis tepat pada output 0% dan 100% dari skala penuh. "Linieritas titik ujung" (end point linearity) adalah sebagai garis lurus yang menghubungkan titik-titik ujung eksperimental. Titik-titik ujung itu dapat ditentukan seperti yang didapat selama kalibrasi atau seperti pembacaan rata-rata selama dua atau lebih kalibrasi yang berturut-turut. "Linieritas tidak bergantung" (independent linearity) adalah garis lurus yang terbaik, sebuah garis yang berada di tengah antara dua garis lurus paralel dengan kemungkinan jarak terdekat yang menghubungkan semua arah output yang didapatkan selama kalibrasi. Ini dapat digambar hanya bila kurva tergambar dengan semua output pembacaan termasuk titik-titik ujungnya. "Linieritas kuadrat terkecil" (Least square linearity) ialah garis lurus yang mempunyai jumlah kuadrat-kuadrat dari residu minimum. Residu adalah deviasi pembacaan-pembacaan output terhadap titik-titik yang bersangkutan pada garis lurus best-fit (kecocokan terbaik). "Scatter" adalah sejenisnya, didefinisikan sebagai deviasi dari nilai rata-rata dari pengukuran berulang terhadap garis best-fit. Grafik berikut ini menggambarkan linieritas.



Gambar 2 15.(a). Linieritas terminal
 (b). Linieritas independen
 (c). Linieritas kesesuaian kuadrat terkecil
 (Sumber :Samadikun, dkk. 1989)

2.4. Histerisis

Bila alat digunakan untuk mengukur parameter, pengukuran dengan arah naik dan kemudian dengan arah turun, output dari kedua pembacaan umumnya berbeda, hal ini disebabkan karena adanya gesekan di dalam atau di luar pada saat elemen sensor menerima input parameter yang diukur. Perbedaan maksimum pada output pembacaan selama kalibrasi adalah histerisis dari alat itu. Gambar 2.16 menunjukkan lengkung histerisis tersebut.



Gambar 2.16. Histerisis
(Sumber :Samadikun, dkk. 1989)

Histerisis terjadi pada maknit dan pula pada alat mekanik umumnya, hal ini tergantung pada histeri (kejadian) yang lalu pada pembalikan input, waktu yang dihabiskan pada langkah sebelumnya backlash (longgar) pada roda-roda gigi, gesekan coulumb, kemacetan, tumpuan yang seret, dan bahan yang elastis. Kesalahan terjadi pada detektor pertama, indikator analog dan alat perekam. Kesalahan direduksi dengan perencanaan alat yang lebih sesuai, pemilihan komponen mekanik, sifat fleksibel besar, dan memakai bahan yang menggunakan pengerjaan panas (heat treatment) yang tepat. Harga histerisis biasanya dinyatakan sebagai prosentase output skala penuh yang diukur pada daerah 50 % dan skala penuh itu. Lihatlah pada

Gambar 2.16. Histerisis yang didapat bila jangkauan (range) lebih kecil dari skala penuh biasanya lebih kecil daripada skala histerisis total (dalam skala penuh) . Maka sifat histerisis lebih rendah untuk defleksi transduser yang lebih kecil.

2.5. Resolusi dan kemudahan pembacaan skala

Resolusi adalah kemampuan sistem pengukur termasuk pengamatnya, untuk membedakan harga-harga yang hampir sama. Dapat didefinisikan sebagai perbedaan antara dua besaran input yang menghasilkan perubahan terkecil informasi output, perubahan input dilakukan secara searah. Bila input diubah perlahan-lahan dari sembarang harga yang bukan nol, maka pada output terlihat tidak berubah sampai harga perubahan input tertentu dilampaui. Perubahan ini disebut resolusi. Maka resolusi dapat

didefinisikan sebagai perubahan input yang dapat memberikan perubahan output terkecil yang dapat diukur. Kedua hal tersebut dapat dinyatakan dalam satuan absolut atau juga dengan prosentase terhadap skala penuh (F.S). Instrumen yang mempunyai histerisis besar belum tentu mempunyai solusi rendah.

Kemudahan pembacaan skala adalah sifat yang tergantung pada instrumen dan pengamatnya. Ini menyatakan angka yang signifikan (mudah diamati) dan dapat direkam/dicatat sebagai data. Pada meter analog, ini tergantung pada ketebalan tanda skala dan jarum penunjuknya. Pada meter digital, digit terakhir (least significant) dapat dipakai sebagai ukuran kemudahan pembacaan skala.

2.6. Ambang (*threshold*)

Bila input instrumen dinaikkan secara bertahap dari nol, terdapat harga minimum di bawah harga ini. Pada output tidak ada perubahan yang dapat terbaca. Harga minimum ini didefinisikan sebagai ambang instrumen. Gejala pada saat besaran ambang dapat diamati yaitu bila output mulai menunjukkan perubahan. Sering diperlukan harga yang kuantitatif yaitu untuk menentukan ambang data yang reproduktif. Maka definisi yang lebih sesuai, ambang adalah besaran numerik pada output yang berhubungan dengan perubahan input. "*Dead band*", "*dead space*" dan "*dead zone*" merupakan pernyataan lain dari ambang/threshold instrumen. Ambang dapat memberikan pengaruh pada kisterisis total.

2.9. Kemampuan ulang (*repeatability*)

Kemampuan ulang didefinisikan sebagai ukuran deviasi dari hasil-hasil test terhadap harga rata-ratanya (mean value) . Ini menunjukkan kedekatan (berapa dekat) sekumpulan pengukuran pada input sama pada kondisi kerja yang sama pula. Hal ini berhubungan pula dengan sifat beberapa unit atau sistem bila semua penentuannya dilakukan oleh seorang operator dalam kondisi sama. Bila pengukuran dilakukan pada selang waktu tertentu dan bila termasuk pula histerisis, maka karakteristik ini disebut reproduksibilitas.

2.10. Reliabilitas/keandalan dan dapat dirawat

Keandalan suatu sistem didefinisikan sebagai kemungkinan bahwa sistem itu dapat menampilkan fungsi yang direncanakan, dalam selang waktu tertentu dengan kondisi yang telah diberikan pula, Sifat dapat dirawat (*maintainability*) suatu sistem adalah kemungkinan akan terjadi kerusakan sistem, pekerjaan perawatan dengan kondisi yang diberikan akan memperbaiki sistem dalam waktu tertentu. Kedua faktor tersebut tampak sangat nyata untuk sistem yang kompleks. perkiraan keandalan dan dapat dirawat (*maintainability*) harus telah ada pada saat tawar-menawar antara unjuk-kerja (*performance*) dengan harga dan jadwal. Keandalan alat atau sistem dipengaruhi bukan saja oleh komponen sendiri dalam sistem tetapi juga oleh metoda pembuatannya, kualitas pemeliharaan dan tipe pemakai.

2.11. Bentangan (*Span*)

Jangkauan (range) variabel pengukuran pada instrumen yang direncanakan dapat mengukur secara linier, disebut bentangan (*span*). Kadang-kadang ini menyatakan yang kanan operasi linier pada skala total. Istilah yang berhubungan dengan mutu (fidelity) dinamis dari peralatan disebut "jangkauan dinamis" Ini merupakan perbandingan input dinamis terbesar terhadap yang terkecil di mana instrumen mengukur dengan yakin. Harga biasanya dinyatakan dalam desibel.

2.12. Ketelitian dinamis

Bila sistem pengukuran mendapat input yang berubah dengan cepat, hubungan antara input dengan output menjadi berbeda dengan keadaan statik atau kuasistatik (*Quasistatic*). Tanggapan (response) dinamis sistem dapat dinyatakan dengan persamaan diferensial. Bila ini berbentuk persamaan diferensial linier, maka sistem disebut linier dinamis. Karakteristik dinamik dasar tergantung pada orde dari persamaan diferensial sistem itu. Instrumen orde pertama (misalnya sensor temperatur) dapat dikarakterisasikan dengan satu parameter yang dikenal sebagai konstanta waktu t (thau) (dalam detik) sistem itu. Persamaan diferensialnya sebagai berikut :

$$t \dot{y} + y = x(t) \quad (2.3)$$

dimana

$x(t)$ = fungsi waktu dan y adalah output sistem.

Dua parameter yang mengkarakterisasi orde kedua sebuah transduser adalah frekuensi natural ω_n dan ratio peredaman dari sistem. Dengan parameter itu persamaan diferensial dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{1}{\omega_n} \ddot{y} + \frac{1}{\omega_n} \dot{y} + y = x(t) \quad (2.4)$$

dimana

ω_n = dinyatakan dalam rad/detik, dan merupakan besaran tanpa dimensi.

Sistem dengan orde yang lebih tinggi dapat dihasilkan bila lebih dari satu sistem orde rendah diserikan, seperti misalnya bila output transduser orde kedua diberikan ke filter orde kedua lagi, maka sistem seluruhnya menjadi sistem orde keempat. Parameter yang disebutkan di atas untuk orde kesatu dan sistem orde kedua, sangat berguna untuk menganalisa tanggapan output fungsi input-waktu sederhana dan juga untuk evaluasi kesalahan dinamis yang timbul. Dalam hal sistem orde pertama/kesatu, harga konstanta waktu yang rendah berarti ketanggapannya cepat (*fast response*) maka menghasilkan

kesalahan dinamis yang rendah. Dalam hal sistem orde kedua, frekuensi natural adalah index dari tanggapan cepat. Rasio redaman (*damping ratio*) menunjukkan stabilitas relatif dari sistem orde kedua. Sistem dengan redaman rendah menghasilkan osilasi pada outputnya bila diberi input transien, sedangkan sistem dengan redaman tinggi menunjukkan tanggapan lamban (*sluggish*), maka memerlukan waktu panjang untuk menuju ke harga seimbang (*steady state*).

Sebelum penggunaan alat ukur kalibrasi diperlukan karena kalibrasi merupakan hal yang penting pada pengukuran industri dan pengaturan/kontrol. Dapat didefinisikan sebagai perbandingan harga spesifik input dan output instrument terhadap standar referensi yang bersangkutan. Kalibrasi ini memberikan garansi pada alat atau instrumen bahwa ia akan bekerja dengan ketelitian yang dibutuhkan dan jangkauan yang dispesifikasikan dalam lingkungan yang tertentu pula. Dengan alat yang telah dikalibrasi pembuat atau pemroses dapat memproduksi barang dengan kualitas sesuai dengan spesifikasi.

Dengan proses kalibrasi maka kesalahan dan koreksi maka kesalahan dan koreksi dapat ditentukan/dijelaskan. Kalibrasi harus dilakukan secara periodik untuk menguji kebenaran unjuk kerja alat atau sistem, untuk itu diperlukan standar sebagai pembanding kerja. Perbandingan ini memerlukan operator yang telah ahli/terlatih, dan perlu adanya referensi standar yang baik, dan juga lingkungan yang standar(standard)/baku pula. Kalibrasi tidak menjamin unjuk kerja instrumen tetapi sebagai indikator baik apakah unjuk kerja instrumen memenuhi ketelitian dan spesifikasi jangkauan (*range*) pada pemakaian alat itu. Kalibrasi kembali selalu diperlukan karena instrumen telah diubah penyetalannya, karena berubah dengan waktu/tua, batu direparasi, pemakaian berlebihan. Sertifikat kalibrasi yang telah didapatkan dapat digunakan sebagai tanda verifikasi oleh pembuatnya dan memberikan kepercayaan kepada pemakai alat sebagai jaminan.

Standar yang diterima dapat dikategorikan sebagai standar primer, sekunder dan standar kerja. Standar primer sangat teliti dan harga satuan absolutnya telah diberi sertifikat oleh National Standard Institution yang harus berada dalam toleransi yang diizinkan. Standar ini sangat mahal untuk membeli dan memeliharanya. Absolut memberi arti tidak bergantung/bebas, tidak relatif tetapi pasti. Standar referensi terkalibrasi yang diturunkan dari standar absolut disebut standar sekunder. Standar ini dapat dimiliki oleh banyak instansi yang dapat ditera dengan standar primer kembali. Jarak waktu kalibrasi standar sekunder bergantung pada ketelitian dan tipe standar yang dipelihara. Standar normal yang diperlukan di industri dan laboratorium, mempunyai ketelitian setingkat lebih rendah dari standar sekunder, disebut standar kerja (*working standard*).

Pada fasilitas kalibrasi industri yang dilengkapi baik harus memiliki standar primer/sekunder, beserta alat kalibrasi untuk simpangan (*displacement*) kecepatan, percepatan, gaya, tekanan, aliran, temperatur, tegangan listrik, arus listrik, waktu dan

frekuensi yang banyak dibutuhkan industri. Beberapa standar yang dipelihara dengan ketelitian yang dapat dihasilkan. Standar sedikitnya mempunyai ketelitian setingkat lebih tinggi daripada instrumen yang akan dikalibrasi. Dalam semua prosedur kalibrasi dianjurkan untuk melakukan pembacaan naik dan menurun. Pada transduser mekanik atau elektro-mekanik, prosedur ini memperlihatkan adanya kerugian karena gesekan, histerisis atau semacamnya, sedangkan dalam alat listrik murni menunjukkan non-linier dan relaktansi maknit .

Instrumentasi pada alat pengukuran meliputi instrumentasi survey atau statistik, instrumentasi pengukuran suhu, dan lainnya. Cara pengukuran merupakan bidang yang sangat luas dipandang dari ilmu pengetahuan dan teknik, meliputi masalah deteksi, pengolahan, pengaturan dan analisa data. Besaran yang diukur atau dicatat oleh suatu instrumen termasuk besaran-besaran fisika, kimia, mekanik, listrik, magnet, optik dan akustik. Parameter besaran-besaran tadi merupakan bahan kegiatan yang penting dalam tiap cabang penelitian ilmu dan proses industri yang berhubungan dengan sistem pengaturan proses, instrumentasi proses dan pula reduksi data. Kemajuan kemajuan elektronika, fisika dan ilmu bahan telah menghasilkan kemajuan banyak alat pengukur presisi dan canggih yang digunakan dalam berbagai bidang seperti kedirgantaraan, ilmu dan teknologi, kelautan dan industri.

Pengukuran memberikan arti pada kita untuk menjelaskan gejala alam dalam besaran kuantitatif. Mengukur berarti mendapatkan sesuatu yang dinyatakan dengan bilangan. Informasi yang bersifat kuantitatif dari sebuah pekerjaan penelitian merupakan alat pengukur dan pengatur suatu sifat dengan tepat. Keandalan sebuah pengaturan sangat bergantung pada keandalan pengukuran. Berbagai macam instrumen telah mulai dikembangkan sejak tahun 1930 karena masuknya elektronika dan fisika terdapat instrumen listrik yang dapat diandalkan untuk pengukuran yang kontinu dan dapat merekam banyak parameter. Berbagai variabel yang perlu dalam pengukuran telah diperluas, teknik dan metoda lama didasarkan pada gejala fisika dan kimia yang baru ditemukan juga dikembangkan. Dalam empat dekade ini teknik pengukuran telah disempurnakan untuk memenuhi keperluan yang tepat bagi para ahli dan ilmuwan.

Ada beberapa komponen instrumentasi yang terdapat pada kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II antara lain:

1. *Air Temperature Transmitter* (ATTR)

Pada kompresor udara, *air temperature transmitter* memiliki fungsi tertentu. Fungsi dari ATTR ini untuk memastikan ketersediaan kontrol suplai udara dan mengukur temperatur udara atmosfer menggunakan sensor suhu yang terpasang di dalam kompresor pada pipa *inlet*. Saat temperatur udara pada *air temperature transmitter* naik maka tekanan juga akan ikut naik, begitu pula sebaliknya.

2. *High Oil Temperature Switch (HOTS —1 Alarm, HOTS-2 Trip)*
 Pada kompresor udara, *high oil temperature switch* sangat penting untuk menjaga agar kompresor tetap aman. Kontak *alarm* (HOT-1) akan terbuka jika temperatur dari *oil cooler* melebihi 132°F (56°C). Lampu petunjuk *alarm high oil temperature* akan menyala *on* pada sistem *alarm*. Kontak *trip* (HOTS-2) akan terbuka jika temperatur dari *oil cooler* melebihi 140°F (60°C).

3. *High Air Temperature Switch (HATS-1 Alarm HATS-2 Trip)*
 Kontak *alarm* (HATS-1) terbuka jika temperatur udara pada *final stage inlet* melebihi 135°F (57°C), lampu *alarm* indikator *high air temperature* akan *on* pada sistem *alarm* yang terpasang pada kontrol panel. Kontak *trip* (HATS-2) akan terbuka jika udara pada *final stage inlet* mencapai 145°F (63°C). Ketika temperatur turun dan operasi *range* normal, maka kontak (HATS-2) harus tertutup untuk mengoperasikan kembali.

4. *Vibration Monitor (VM)*
Vibration monitor digunakan untuk memonitor getaran rotor pada kompresor udara. Kontak *alarm* VM akan aktif dan lampu *high vibration alarm* indikator menyala *on* pada panel *alarm* jika getaran rotor kompresor mencapai 0.9 mil (0.02 mm). Kontak *vibration monitor* akan *trip* ketika getaran pada kompresor meningkat 1.2 mil (0.02 mm).

5. *Low Oil Level Switch (LOLS)*
 LOLS terpasang pada *oil reservoir*. Fungsi dari LOLS ini adalah mengontrol *level oli* pada *reservoir* (tangki). Kontak LOLS akan aktif pada kontrol panel ketika *reservoir level* turun dibawah 37 gal (140 liter).

6. *Surge Pressure Switch (SUPS)*
 Berfungsi mendeteksi terjadinya *surge* atau tekanan balik udara pada kompresor, SUPS akan aktif dan membuka *unloading control valve* ketika sebuah *surge* telah terdeteksi pada kompresor udara.

7. *Differential Inlet Air Pressure Switch (DIAPS)*
 DIAPS terpasang pada pipa udara yang masuk ke kompresor. Kontak DIAPS aktif pada panel ketika terjadi perbedaan (*differensial*) tekanan pada penyaring udara (*air filter*) melebihi 5 inci (12.7 cm).

8. *Differential Oil Pressure Switch (DOPS)*
 Berfungsi mengontrol perbedaan tekanan oli pada kompresor udara. DOPS terpasang pada pipa oli kompresor yang menuju *valve*. DOPS akan aktif ketika tekanan oli *filter* dan *cooler* mencapai 8 psi (0.6 bar).

9. *Pressure Gauge*

Pressure Gauge berfungsi sebagai indikator atau penunjuk besaran tekanan udara yang masuk yang ada di dalam tabung atau pipa kompresor. *Pressure gauge* ini digunakan untuk mempermudah operator dalam pembacaan dan pengawasan kompresor.

10. *Trisen Load*

Trisen load digunakan untuk mengontrol *load* kompresor udara secara individu maupun secara paralel untuk menjaga performansi kompresor. *Load shering control* berfungsi untuk menyeimbangkan beban kepada semua kompresor udara dengan tujuan untuk mencegah salah satu kompresor udara terjadi *surging* sedangkan kompresor udara lain masih jauh dari *surging*.

11. *Auxiliary Oil Pump Switch (AOPS)*

Fungsi dari AOPS adalah sebagai *switch* untuk menyalakan *auxiliary oil pump* ketika pompa pelumas utama (*main oil pump*) mengalami penurunan dibawah 20 psi (1.4 bar). Kontak AOPS akan *stop*, ketika terkanan pada *main pump* meningkat pada 37 psi (2.5 bar).

12. *Seal Air Pressure Switch (SAPS-1 Alarm, SAPS-2 Trip)*

Kontak *alarm* (SAPS-1) menjaga tegangan *inlet valve* untuk mencegah *inlet valve* menutup. sistem *alarm* aktif ketika tekanan *sea/udara* turun dibawah 3 psi (0.2 bar). Kontak *trip* (SAP-2) aktif ketika *sea/udara* turun dibawah 1 psi (0.07 bar).

13. *Flow Indicator (FI)*

Berfungsi sebagai penunjuk dan pendeteksi kapasitas aliran udara yang masuk sebelum udara di kompresi atau dimampatkan oleh kompresor udara. FI di lapangan sebesar 17,0 m³/h

14. *Temperature Inducator (TI)*

Berfungsi sebagai penunjukan dan pengukuran temperatur udara yang masuk sebelum udara dikompresi dan setelah dikompresi, untuk TI sebelum di kompresi udara sebesar 38,61 °C dan TI setelah dikompresi sebesar 35,61 °C

15. *Pressure Indicator (PI)*

Berfungsi sebagai penunjukan dan pengukuran tekanan udara yang masuk sebelum udara dikompresi, PI yang di lapangan sebesar 102 kg/cm².

16. *Governor*

Memiliki fungsi mengontrol putaran turbin uap dengan mengatur kapasitas *high pressure steam* yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor udara. *High pressure steam* berasal dari penguapan air dari proses *boiler*.

BAB III

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA)

3.1 Metode FMEA

FMEA secara formal pertama kali digunakan pada industri penerbangan pada pertengahan 1960 secara khusus berfokus pada isu-isu keselamatan. Pada fase berikutnya FMEA berperan penting dalam meningkatkan keselamatan kerja terutama pada proses industri (McDermott, 2009).

FMEA merupakan suatu metode yang bertujuan untuk mengevaluasi desain sistem dengan mempertimbangkan bermacam-macam mode kegagalan dari sistem yang terdiri dari komponen-komponen dan menganalisis pengaruh-pengaruhnya terhadap keandalan sistem tersebut. Dengan penelusuran pengaruh-pengaruh kegagalan komponen sesuai dengan level sistem, item-item khusus yang kritis dapat dinilai dan tindakan-tindakan perbaikan diperlukan untuk memperbaiki desain dan mengeliminasi atau mereduksi probabilitas dari mode-mode kegagalan yang kritis.

Metode FMEA merupakan metode pendekatan yang menerapkan suatu metode petabelan untuk membantu operator untuk mendefinisikan mode kegagalan potensial dan efeknya. Dalam FMEA dapat dilakukan perhitungan RPN untuk menentukan tingkat kegagalan tertinggi. *Risk Priority Number* (RPN) merupakan hubungan antara tiga buah variabel yaitu *severity* (keparahan), *occurrence* (frekuensi kejadian), *detection* (deteksi kegagalan) yang menunjukkan tingkat resiko yang mengarah pada tindakan perbaikan. *Severity* merupakan konsekuensi dari kegagalan yang seharusnya terjadi padanya, *occurrence* merupakan kemungkinan atau frekuensi terjadinya kegagalan, dan *detection* merupakan kemungkinan dari kegagalan terdeteksi sebelum pengaruh dari akibat yang terjadi.

Ada beberapa langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam menentukan metode FMEA yaitu:

Tabel 3.1. Langkah kerja metode FMEA.

Langkah 1	Peninjauan kembali proses.
Langkah 2	Pembahasan mode-mode kegagalan potensial.
Langkah 3	Membuat daftar akibat-akibat yang potensial dari masing-masing mode kegagalan.
Langkah 4	Menentukan nilai <i>severity</i> untuk masing-masing akibat.
Langkah 5	Menentukan nilai <i>occurrence</i> untuk setiap mode kegagalan.
Langkah 6	Menghitung nilai <i>detection</i> untuk setiap mode atau akibat kegagalan.

Langkah 7	Menghitung nilai prioritas resiko (<i>risk priority number</i>) untuk setiap mode kegagalan.
Langkah 8	Prioritaskan mode-mode kegagalan yang perlu mendapat tindakan korektif.
Langkah 9	Mulai bertindak menghapus dan mengurangi resiko mode kegagalan yang tinggi.
Langkah 10	Mengkalkulasi untuk menghasilkan RPN dengan mengurangi atau menghapus mode kegagalan.

Sumber: McDermott (2006)

Penjelasan langkah kerja metode FMEA:

1. Peninjauan kembali proses
Melakukan peninjauan kembali proses kerja kompresor udara, bagian-bagian komponen atau alat yang mengalami gangguan atau kegagalan untuk dilakukan analisa.
2. Pembahasan mode-mode kegagalan potensial
Mengetahui mode atau bentuk kegagalan yang terjadi pada komponen atau alat kompresor udara.
3. Membuat daftar akibat-akibat yang potensial dari masing-masing mode kegagalan.
Membahas akibat atau dampak dari mode kegagalan yang terjadi pada kompresor udara.
4. Menentukan nilai *severity* untuk masing-masing akibat.
Membuat dan menentukan nilai dari *severity* (keparahan) untuk mendapatkan efek, kriteria dan peringkat keparahan pada suatu sistem atau komponen. Nilai dari *severity* ini dapat dilihat pada tabel 3.3.
5. Menentukan nilai *occurrence* untuk setiap mode kegagalan.
Membuat dan menentukan nilai dari *occurrence* (kejadian) untuk mendapatkan kriteria dan peringkat dari masing-masing komponen. Nilai dari *occurrence* dapat dilihat pada tabel 3.4.
6. Menentukan nilai *detection* untuk setiap mode atau akibat kegagalan.
Membuat dan menentukan nilai dari *detection* (deteksi) untuk mendapatkan kriteria dan peringkat dari masing-masing komponen. Nilai dari *detection* dapat dilihat pada tabel 3.5.

7. Menghitung nilai prioritas resiko RPN untuk setiap mode kegagalan.
Melakukan perhitungan dengan mengkalikan nilai dari *severity*, *occurrence* dan *detection* dari masing-masing komponen.
8. Prioritaskan mode-mode kegagalan yang perlu mendapat tindakan korektif.
Setelah dilakukan perhitungan RPN untuk masing-masing potensi kegagalan maka disusun prioritas berdasarkan nilai RPN tersebut. Nilai tertinggi RPN adalah 1000 dan yang terkecil 1. Untuk mendapatkan tindakan korektif ditentukan bahwa nilai RPN diatas 200 perlu mendapatkan penanganan khusus untuk memperkecil kemungkinan terjadinya kegagalan dan dampaknya.
9. Mulai bertindak menghapus dan mengurangi resiko mode kegagalan yang tinggi.
Untuk resiko kegagalan tinggi perlu dilakukan penghapusan atau menurunkan kegagalan dengan melakukan penanganan khusus dengan melakukan pencegahan berupa (*maintenance*) perawatan secara rutin, perbaikan untuk mengurangi efek kegagalan, dan meningkatkan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan. Untuk tindakan langkah 9 perlu dilakukan apabila RPN diatas 200.
10. Mengkalkulasi untuk menghasilkan RPN dengan mengurangi atau menghapus mode kegagalan.
Melakukan perhitungan ulang RPN setelah dilakukan perbaikan untuk penurunan resiko kegagalan. hasil tindakan ini harus menghasilkan penurunan pada RPN dari pada sebelumnya. Apabila belum bisa dicapai perlu dilakukan tindakan lebih lanjut. Catatan: untuk langkah 10 penulis tidak melakukan analisa lanjutan.

Tabel 3.2. *Worksheet* FMEA.

<i>Component and function</i>	<i>Potential Failure Mode</i>	<i>Potential Effect of Failure</i>	<i>S E V</i>	<i>Potential Causes of Failure</i>	<i>O C C</i>	<i>Current Controls</i>	<i>D E T</i>	<i>R P N</i>	<i>Recommended Action</i>
-------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	--------------	------------------------------------	--------------	-------------------------	--------------	--------------	---------------------------

Sumber: Robin E. McDermott (2009).

Keterangan *Worksheet* FMEA:

1. *Component and Function*
Component berisi tentang komponen atau item yang dianalisa dan fungsinya untuk memenuhi tujuan dari proses yang dianalisa.
2. *Potential Failure Mode* (Potensi Mode Kegagalan)
Potential failure mode berisi tentang identifikasi jenis-jenis potensi kegagalan yang mengurangi kemampuan komponen atau bentuk kesalahan yang mungkin terjadi selama kegiatan proses (McDermott,2009). Mode-mode kegagalan seperti:

- a. Jarum penunjuk PI bergeser.
- b. Gerigi PI sudah aus.
- c. Sensor atau alat usak.
- d. *Setting alarm/trip* berubah.
- e. Sinyal hilang.
- f. *Cracked*(retak).
- g. *Deformed*(cacat).
- h. *Leaking*(kebocoran).
- i. *Sticking*(merekat).
- j. *Oxidized*(teroksidasi).
- k. *Short circuit*(hubungan singkat elektrik).
- l. *Fracrured*(patah).
- m. Kotor.
- n. *Vibrasi* tinggi.
- o. *Overload*(kelebihan beban).
- p. Lepas.

3. *Potential Effect of Failure* (Potensi Pengaruh Kegagalan).

Potential effect of failure berisi tentang akibat-akibat yang akan ditimbulkan jika komponen tersebut gagal seperti disebutkan dalam *failure mode*. Akibat dari potensi kegagalan merupakan hasil dari sebab adanya potensi kegagalan atau diartikan sebagai kelanjutan dari kerusakan yang ada dan akan berakibat menjadi kerusakan yang lebih parah jika tidak adanya tindakan yang segera mungkin untuk menanggulangnya (Kusuma, 2009). Akibat-akibat dari kegagalan yang terjadi seperti:

- a. *Noise* (bising).
- b. *Erratic operation* (operasi yang tak menentu).
- c. *Unstable* (tidak stabil).
- d. *Rough* (kasar).
- e. Performansi menurun.
- f. Mesin *trip*.
- g. *Surgin* (tekanan balik).
- h. Muncul *alarm*.
- i. Terbakar atau meledak.
- j. ICV dan UCV tidak berkerja.

4. *Severity* (Keparahan)

Severity merupakan nilai keparahan dari efek yang ditimbulkan oleh mode kegagalan terhadap keseluruhan sistem. Peringkat 1 (kondisi terbaik) sampai peringkat 10 (kondisi terburuk). Peringkat *severity* adalah yang berhubungan dengan tingkat keparahan efek yang ditimbulkan oleh mode efek kegagalan (Febriani, 2007).

5. *Potential Causes of Failure* (potensi penyebab kegagalan).
Potential causes of failure ini berisi tentang apa saja yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada suatu sistem, sehingga penyebab kegagalan dapat dianalisa.
6. *Occurrence*
Occurrence adalah ukuran seberapa sering kegagalan terjadi, digunakan peringkat 1 (permasalahan yang jarang terjadi atau terkontrol) sampai peringkat 10 (munculnya permasalahan sangat tinggi). *Occurrence* merupakan sebuah penilaian dengan tingkatan tertentu dimana adanya sebuah sebab kerusakan secara mekanis yang terjadi pada mesin. Dari angka atau tingkatan *occurrence* ini dapat diketahui kemungkinan terdapatnya kerusakan dan tingkat keserangan terjadinya kerusakan mesin (Kusuma, 2009).
7. *Current Controls* (Bentuk Pengendalian)
Current controls diartikan bagaimana cara menanggulangi dan memecahkan masalah yang ada dengan cara melakukan tindakan perbaikan menuju hasil kerja yang baik hingga kegagalan pada komponen tidak lagi timbul atau mengurangi angka terjadinya kerusakan (McDermott, 2009).
8. *Detection* (DET)
Detection adalah pengukuran terhadap kemampuan mendeteksi atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Digunakan peringkat 1 (pasti terdeteksi atau cepat bisa menunjukkan kegagalan yang terjadi) sampai 10 (tidak terdeteksi atau alat kontrol tidak yang bisa mendeteksi kegagalan). Penilaian tingkat *detection* penting dalam menemukan potensi penyebab yang dapat menimbulkan kerusakan serta tindakan perbaikannya.
9. *Risk Priority Number* (RPN)
RPN adalah indikator kekritisitas untuk menentukan tindakan korektif atau tindakan pengurangan kegagalan sistem yang terjadi sesuai dengan mode kegagalan (Nurkertamanda, 2009). RPN merupakan bagian dari metode FMEA yang didapat dari hasil perkalian. Nilai RPN dihasilkan dari perkalian antara *severity*, *occurrence*, dan *detection*, atau dituliskan dengan rumus:

$$RPN = SEV \times OCC \times DET \quad (3.1)$$

Untuk mendapatkan nilai dari *severity*, *occurrence* dan *detection*, dilakukan penetapan peringkat berdasarkan masing-masing kriteria, peringkat terendah adalah 1 dan tertinggi 10. Untuk penetapan peringkat *severity*, *occurrence* dan *detection* dapat dilihat pada tabel 3.3, 3.4 dan 3.5.

Hasil perkalian untuk nilai RPN menunjukkan tingkat keseriusan dari *potential failure*, semakin tinggi nilai risiko RPN maka menunjukkan semakin bermasalah atau tinggi tingkat kekritisan suatu sistem tersebut, begitu sebaliknya semakin rendah nilai risiko RPN maka akan semakin rendah pula tingkat kekritisan sistem. RPN memiliki nilai maksimum 1000 untuk resiko yang terbesar, dan nilai minimumnya adalah 1.

Untuk batasan nilai peringkat keandalan RPN diberi nilai 200. Apabila gangguan atau kegagalan melebihi batas nilai dari RPN tersebut, maka dapat dijadikan acuan untuk dilakukan penanganan khusus berupa perbaikan dan perawatan (Dieter, 2000). RPN digunakan untuk merangsang kelemahan proses dalam mempertimbangkan suatu tindakan korektif yang mungkin dapat mengurangi kekritisan dan membuat sistem dapat lebih baik. Dengan melakukan analisa RPN diharapkan tingkat kegagalan komponen dapat diturunkan atau dihilangkan, dengan melakukan tindakan pencegahan seperti perawatan berkala.

Dari nilai RPN dapat dibuat grafik diagram pareto sebagai penunjuk prioritas kejadian yang perlu ditangani.

3.2. Penetapan Nilai *Saverety*, *Occurence* dan *Detection* Pada Instrumen Kompresor Udara PT. Pertamina (persero) RU II Dumai.

Untuk mendapat peringkat atau kriteria kajadian dalam metode FMEA, maka perlu dilakukan penetapan nilai *saverity*, *occurrence* dan *detection* sesuai dengan kejadian yang terjadi dilapangan.

3.2.1. Penetapan *Saverity*

Kriteria *severity*, *occurence*, dan *detection* ini di diadopsi dari *reference manual potential failure mode and effects analysis* (FMEA) dari *automotive industry action group* (AIAG) yang menggambarkan industri otomotif. Untuk itu diperlukan penyesuaian serta modifikasi yang menggambarkan objek penelitian tentang analisa kompresor udara dan kejadian berdasarkan pengalaman di lapangan.

Berdasar gangguan kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) RU II, ditetapkan kriteria dan peringkat seperti pada tabel 3.3. berikut:

Tabel 3.3. Kriteria *Severity* pada kompresor udara di Pertamina (Persero) RU II Dumai.

Efek	Kriteria <i>Severity</i>	Peringkat
Bahaya tanpa tanda-tanda	Kegagalan sangat tinggi, dapat menggagalkan sistem dan membahayakan, tetapi tidak ada tanda-tanda kerusakan sebelumnya.	10
Bahaya dengan tanda-tanda	Kegagalan sangat tinggi, dapat menggagalkan sistem, dan membahayakan, dengan adanya tanda-tanda kerusakan sebelumnya.	9
Sangat tinggi	Kompresor tidak dapat beroperasi (<i>trip</i>) karena ada gangguan besar, hilangnya fungsi utama mesin.	8
Tinggi	Kompresor tidak dapat beroperasi atau mengalami <i>trip</i> .	7
Sedang	Kompresor dapat dioperasikan, ada alat yang tidak berfungsi/rusak.	6
Rendah	Kompresor dapat beroperasi, namun ada gangguan alat, terjadi penurunan performansi.	5
Sangat rendah	Kompresor dapat beroperasi dengan normal, namun setingan mengalami perubahan.	4
Kecil (minor)	Kompresor dapat beroperasi dengan normal, namun ada gangguan kecil, operator menyadari adanya gangguan.	3
Sangat kecil	Kompresor dapat beroperasi dengan normal, efek dari gangguan tidak mengganggu operasi.	2
None	Tidak ada efek sama sekali.	1
Catatan: Tingkatan <i>severity</i> diadopsi dari standar <i>reference manual potential failure mode and effects analysis</i> dari AIAG, modifikasi kriteria dilakukan untuk penyesuaian objek dan kejadian berdasarkan pengalaman di lapangan.		

3.2.2. Penetapan *Occurence*

Berdasar gangguan Kompresor Udara di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai, ditetapkan peringkat dan kriteria *occurence* seperti pada tabel 3.4. berikut:

Tabel 3.4. Kriteria *occurrence* kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai.

Peluang kegagalan	Kejadian Gagal	Frekuensi kejadian (3Tahun)	Peringkat
Sangat Tinggi	1 per 10 hari	>109	10
	1 per 20 hari	55-108	9
Tinggi	1 per 30 hari	36-54	8
	1 per 50 hari	22-35	7
Sedang	1 per 100 hari	11-21	6
	1 per 6 bulan	6-10	5
Rendah	1 per 1 tahun	3-5	4
	1 per 2 tahun	2	3
Terkontrol	1 per 3 tahun	1	2
	Tidak pernah sama sekali	<1	1
Catatan: Tingkatan <i>occurrence</i> diadopsi dari standar <i>reference manual potential failure mode and effects analysis</i> dari AIAG, modifikasi kriteria dilakukan untuk penyesuaian objek dan kejadian berdasarkan pengalaman di lapangan.			

3.2.3. Penetapan *Detection*

Berdasarkan gangguan kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II, ditetapkan dan kriteria *detection* dan peringkat seperti pada tabel 3.5 berikut:

Tabel 3.5. Kriteria *Detection* kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai.

Deteksi	Kriteria <i>Detection</i>	Peringkat
Tidak terdeteksi	Tidak bisa terdeteksi dan menimbulkan kerusakan parah.	10
Sedikit	Deteksi sedikit karena kontrol sulit mendeteksi gangguan.	9
Sangat kecil	Deteksi sangat kecil kompresor tidak dapat <i>start</i> .	8

kecil	Deteksi kecil, kompresor mengalami <i>trip</i> .	7
Rendah	Deteksi sangat kecil, ada alat tidak yang berfungsi/rusak, dilakukan penggantian alat.	6
Sedang	Deteksi sedang karena ada alat mengalami gangguan, dilakukan tindakan pengecekan, dan perbaikan.	5
Cukup tinggi	Deteksi cukup tinggi, komponen mengalami perubahan setingan, dilakukan tindakan pengecekan dan penyetingan komponen.	4
Tinggi	Deteksi tinggi, karena adanya peringatan <i>alarm</i> pada kompresor.	3
Sangat tinggi	Deteksi sangat tinggi, terdeteksi alat kontrol dan perawatan rutin.	2
Pasti	Pasti terdeteksi.	1
Catatan: Tingkatan <i>Detection</i> diadopsi dari standar <i>reference manual potential failure mode and effects analysis</i> dari AIAG, modifikasi kriteria dilakukan untuk penyesuaian objek dan kejadian berdasarkan pengalaman di lapangan.		

3.3. Diagram Pareto

Diagram pareto dikembangkan oleh seorang ahli ekonomi Italia yang bernama Vilfredo Pareto pada abad ke 19 (Gaspresz, 1998). Diagram pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya kegagalan yang terjadi. Masalah yang paling banyak terjadi ditunjukkan oleh grafik batang pertama yang paling tinggi serta diletakkan pada sisi paling kiri, dan seterusnya sampai masalah yang paling sedikit ditunjukkan oleh grafik batang yang terakhir yang terendah pada sisi paling kanan. Dengan bantuan diagram pareto, kegiatan akan lebih efektif dengan memusatkan perhatian pada sebab-sebab yang mempunyai dampak yang paling besar terhadap kejadian meninjau berbagai gambar.

Ada beberapa manfaat diagram pareto yaitu (Giu, 2008):

1. Untuk menunjukkan prioritas sebab-sebab kejadian atau persoalan yang perlu ditangani.
2. Membantu memusatkan perhatian pada persoalan utama yang harus ditangani dalam upaya perbaikan.

3. Menunjukkan hasil upaya perbaikan. Setelah dilakukan tindakan koreksi berdasar proritas, kita dapat mengadakan pengukuran ulang dan memuat diagram Pareto baru. Apabila terdapat perubahan dalam diagram pareto baru, maka tindakan korektif ada efeknya.

3.4. Keandalan (*Reliability*)

Keandalan adalah probabilitas suatu sistem, komponen, atau devais yang akan tampil tanpa kegagalan untuk jangka waktu tertentu dalam kondisi operasi tertentu. Disiplin keandalan pada dasarnya adalah studi tentang penyebab, distribusi, dan prediksi kegagalan (Dieter, 2000).

Secara umum teori keandalan dapat dikelompokan menjadi 4 kelompok (Dwi Priyanta, 2000), yaitu:

- a. keandalan komponen dan sistem (*komponent and system reliability*).
- b. Keandalan struktur (*struktur reliability*).
- c. Keandalan manusia (*human reliability*).
- d. Keandalan perangkat lunak (*software reliability*).

Suatu sistem atau komponen dikatakan rusak apabila berhenti memenuhi fungsi yang diinginkan. Apabila terjadi kemacetan dari suatu sistem seperti mesin berhenti berkerja, peralatan komunikasi dalam sistem mati, sistem dalam keadaan benar-benar rusak. Selain itu sangat penting untuk mendefinisikan bentuk lain bentuk lain dari kerusakan seperti kemunduran kerja atau fungsi yang tidak stabil, pada kondisi pengoperasian tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan (Febriani, 2007).

Fungsi *reliability* adalah fungsi matematik yang menyatakan hubungan *reliability* dengan waktu. Karena nilai fungsi *reliability* merupakan probablitas maka nilai fungsi reliability R bernilai $0 \leq R \leq 1$. Fungsi reliability dinotasikan sebagai R(t) dari sistem jika dipakai selama t satuan waktu. *Probablitas* sistem dapat berkerja baik selama $[0, t]$. Fungsi *reliability* terhadap waktu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (3.2)$$

Laju kegagalan λ adalah banyaknya kegagalan. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen.

3.6. Analisa Ketersediaan (*Availability*)

Availability adalah kemampuan suatu sistem dapat beroperasi sebagaimana mestinya pada suatu saat atau waktu yang ditentukan. Analisa rekayasa ketersediaan (*availability*

engineering analysis) merupakan sebuah metodologi yang dapat membantu para peneliti dalam memperbaiki produktivitas dari sebuah *plant* (Dwi Priyanta, 2000).

Availability menyatakan peluang komponen atau sebuah sistem yang memberikan fungsi terbaik ketika dibutuhkan, sehingga bisa diambil kesimpulan untuk menilai *availability* maka dibutuhkan nilai kegagalan atau perbaikan.

Dalam menentukan ketersediaan didapatkan dari dua faktor yaitu, MTTR (*Mean Time to Repair*) atau ukuran perawatan dari sebuah komponen, dan MTF (*Mean Time to Failure*) atau ukuran dari keandalan komponen. MTF dan MTTR dapat dirumuskan pada persamaan (Dieter, 2000):

$$MTF = \frac{1}{\lambda} \quad (3.7)$$

$$MTTR = \frac{\mu}{\text{waktu operasi}} \quad (3.8)$$

dimana :

λ = Laju kegagalan.

μ = Waktu perbaikan rata-rata.

maka untuk ketersediaan *Availability* didapatkan persamaan:

$$Availability = \frac{MTF}{MTF + MTTR} \quad (3.9)$$

Nilai dari *availability* adalah 0% sampai dengan 99,9%. Semakin tinggi nilai *availability* suatu komponen maka semakin baik kualitas komponen atau sistem tersebut. Sedangkan nilai *availability* standar untuk industri adalah 90% atau lebih (Betrianis, 2005). Ketersediaan suatu sistem dapat dikatakan baik bila masih memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh industri.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Analisa RPN terhadap Keandalan Instrumentasi Kompresor Udara PT. Pertamina (Persero) *Refinery Unit II Dumai*

Kompresor udara adalah mesin mekanik yang berfungsi untuk menghasilkan udara bertekanan atau kompresi. Kompresor ini difungsikan sebagai penyuplai udara bertekanan untuk kebutuhan *plant* dan *air instrument* yang membutuhkan tekanan pneumatik. Kompresor udara yang digunakan di PT. Pertamina (Persero) *Refinery Unit II Dumai* adalah kompresor *sentrifugal*. Ada 4 unit kompresor udara di *Maintenance Area III* dengan kode 910-C- 1A, 910-C-1B, 910-C-1C, dan 910-C-1D.

Berdasarkan data instrumentasi kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) *Refinery Unit II Dumai* yang diambil dari periode Januari tahun 2009 sampai dengan Desember 2011 dapat dilakukan pengukuran keandalan instrumentasi menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Metode ini merupakan metode kualitatif dengan pentabelan yang fungsi untuk mengidentifikasi potensi mode kegagalan, efek kegagalan dan bentuk pengendalian dari suatu masalah kualitas. Tujuan utama dari FMEA adalah menentukan tingkat kegagalan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). RPN merupakan sebagai indikator tingkat keritisan untuk menentukan tindakan koreksi yang sesuai dengan mode kegagalan. Dari RPN ini nanti dapat dijadikan suatu rekomendasi atau acuan untuk dilakukan tindakan perawatan. Semakin tinggi nilai RPN menunjukkan semakin bermasalah terjadi pada sistem atau komponen instrumen. Untuk mendapatkan nilai RPN diperlukan peringkat dari ketiga kriteria *severity*, *occurrence* dan *detection* yang telah ditentukan sebelumnya.

Ada beberapa langkah penyusunan dalam penelitian menggunakan metode FMEA ini untuk menganalisa terhadap keandalan instrumentasi kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai menggunakan metode FMEA ini yaitu:

Langkah 1.

Peninjauan kembali bagian atau komponen yang mengalami gangguan atau kegagalan pada kompresor udara serta fungsi komponen tersebut. Langkah ini ada pada tabel *worksheet* FMEA untuk *komponent instrument* dan *function*.

Langkah 2.

Mengidentifikasi mode atau bentuk kegagalan yang terjadi pada komponen. Langkah ini ada pada tabel *worksheet* FMEA kompresor udara untuk *potential failure mode*.

Langkah 3.

Mengidentifikasi akibat atau efek potensial dari masing masing mode kegagalan yang terjadi, langkah ini ada pada tabel *worksheet* FMEA kompresor udara untuk *potential effect of failure*.

Langkah 4.

Menentukan nilai *severity* (keparahan) dari masing-masing komponen *instrument*. Kriteria *severity* dijelaskan pada bab III.

Langkah 5.

Mengidentifikasi terjadinya kegagalan pada kompresor udara langkah ini dijelaskan pada tabel *potential Causes of Failure* (potensi penyebab kegagalan).

Langkah 6.

Menentukan laju kegagalan dan nilai *occurence* (frekuensi kegagalan) pada masing-masing komponen. Kriteria *occurence* dijelaskan pada bab III.

Langkah 7.

Mengidentifikasi *current controls* (bentuk pengendalian) pada masing-masing komponen instrumen. *Current controls* diartikan bagaimana cara penanggulangan dalam menyelesaikan permasalahan yang ada.

Langkah 8.

Menentukan *detection* (deteksi) atau kemampuan dalam mendeteksi kegagalan yang terjadi. Kriteria langkah untuk *detection* dijelaskan pada bab III.

Langkah 9:

Menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) dengan mengkalikan nilai ketiga variabel dari *severity*, *occurence* *detection*, dan RPN rata-rata dari masing-masing komponen *instrument*.

Langkah 10.

Penjelasan dan rangkuman dari hasil analisa instrumentasi kompresor udara menggunakan metode FMEA.

Sebagai analisa pendukung dalam metode FMEA, digunakan analisa diagram pareto untuk membuat grafik diagram pareto berdasarkan RPN rata-rata dari tabel *worksheet* FMEA, dan melakukan analisa ketersediaan (*availability*) pada instrumentasi kompresor udara. Analisa keandalan instrumentasi dari masing-masing kompresor udara dengan menggunakan metode FMEA di PT. Pertamina (Persero) *Refinery Unit II Dumai* dapat dilihat pada tabel 4.1, 4.5, 4.9, dan 4.13.

Berdasarkan tabel kriteria *severity*, *occurence* dan *detection* pada BAB III sebelumnya, dapat dijelaskan kriteria dari masing-masing peringkat.

Peringkat *severity* dalam metode FMEA untuk kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai:

Peringkat 1.

Tidak ada efek sama sekali, yaitu tidak ada gangguan pada komponen atau sistem pada mesin kompresor udara.

Peringkat 2.

Kompresor dapat beroperasi dengan normal, efek dari gangguan tidak mengganggu operasi, yaitu kompresor udara beroperasi dengan baik gangguan tidak menimbulkan efek atau pengaruh operasi bagi kompresor udara seperti karat atau korosi.

Peringkat 3.

Kompresor dapat beroperasi dengan normal namun ada gangguan kecil, operator menyadari adanya gangguan, yaitu kompresor udara dapat beroperasi dengan baik, ada gangguan kecil seperti gangguan pada lampu indikator, ada alat goyang.

Peringkat 4.

Kompresor dapat beroperasi dengan normal, namun setingan mengalami perubahan, yaitu kompresor udara masih dapat beroperasi dengan baik tetapi ada komponen mengalami perubahan setingan pengukuran, untuk itu diperlukan kalibrasi komponen.

Peringkat 5.

Kompresor udara dapat beroperasi, namun ada gangguan alat, terjadi penurunan performansi, yaitu kompresor udara masih dapat beroperasi namun ada gangguan dan penurunan performansi seperti alat tidak berkerja, kotor, *overload*, muncul *surge*, *lube oil* berkurang, tidak stabil, hilang sinyal, hubungan singkat, vibrasi tinggi, tidak stabil, temperatur tinggi, UCV/ICV tidak berkerja maksimal, dan bising.

Peringkat 6.

Kompresor dapat dioperasikan, ada alat yang tidak berfungsi/rusak, yaitu kompresor udara masih dapat beroperasi tetapi ada komponen mengalami kerusakan dan perlu dilakukan penggantian komponen baru seperti *gear* aus, atau alat rusak.

Peringkat 7.

Kompresor tidak dapat beroperasi atau mengalami *trip*, yaitu kompresor udara mengalami *shutdown* tidak normal karena ada gangguan komponen seperti ICV dan UCV rusak.

Peringkat 8.

Kompresor tidak dapat beroperasi (*trip*) karena ada gangguan besar, hilangnya fungsi utama mesin, yaitu kompresor udara tidak dapat beroperasi mengalami karena ada gangguan pada sistem seperti hubungan singkat, *sistem pelumasan*, sistem pendingin, atau AOP tidak berkerja.

Peringkat 9.

Kegagalan sangat tinggi, dapat menggagalkan sistem, dan membahayakan dengan adanya tanda-tanda kerusakan sebelumnya, yaitu kompresor udara dapat beroperasi dengan penurunan performa yang berakibat menggagalkan sistem, muncul tanda-tanda kerusakan sebelumnya, kerusakan fatal bagi komponen lain dan membahayakan operator seperti timbul seperti vibrasi dan temperatur yang sangat tinggi, terbakar, atau meledak.

Peringkat 10.

Kegagalan sangat tinggi, dapat menggagalkan sistem dan membahayakan, tetapi tidak ada tanda-tanda kerusakan sebelumnya, yaitu kompresor udara dapat beroperasi dengan penurunan performa yang berakibat menggagalkan sistem, kerusakan fatal bagi komponen lain dan membahayakan operator, tidak ada tanda-tanda kerusakan sebelumnya seperti terbakar atau meledak.

Peringkat *occurrence* dalam metode FMEA untuk kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai:

Peringkat 1.

Kejadian kegagalan tidak pernah sama sekali dengan frekuensi kejadian kegagalan masih <1 .

Peringkat 2.

Kejadian kegagalan terjadi 1 per 3 tahun dengan frekuensi kejadian kegagalan 1.

Peringkat 3.

Kejadian kegagalan terjadi 1 per 2 tahun dengan frekuensi kejadian kegagalan 2.

Peringkat 4.

Kejadian kegagalan terjadi 1 per 1 tahun dengan frekuensi kejadian kegagalan 3-5.

Peringkat 5.

Kejadian kegagalan terjadi 1 per 6 bulan dengan frekuensi kejadian kegagalan 6-10.

Peringkat 6.

Kejadian kegagalan terjadi 1 per 100 hari dengan frekuensi kejadian kegagalan 11-21.

Peringkat 7.

Kejadian kegagalan terjadi 1 per 50 hari dengan frekuensi kejadian kegagalan 22-35.

Peringkat 8.

Kejadian kegagalan terjadi 1 per 30 hari dengan frekuensi kejadian kegagalan 36-54.

Peringkat 9.

Kejadian kegagalan terjadi 1 per 20 hari dengan frekuensi kejadian kegagalan 55-108.

Peringkat 10.

Kejadian kegagalan terjadi 1 per 10 hari dengan frekuensi kejadian kegagalan >109.

Peringkat *Detection* dalam metode FMEA untuk kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai:

Peringkat 1.

Pasti terdeteksi, yaitu gangguan yang terjadi pasti terdeteksi.

Peringkat 2.

Deteksi sangat tinggi, terdeteksi alat kontrol dan perawatan rutin, yaitu gangguan dapat terdeteksi oleh alat kontrol atau indikator dan adanya perawatan rutin dari operator.

Peringkat 3.

Deteksi tinggi, karena adanya peringatan *alarm* pada panel kompresor, yaitu gangguan mulai terdeteksi dini dengan muncul tanda *alarm* pada kompresor udara.

Peringkat 4.

Deteksi cukup tinggi, komponen mengalami perubahan setingan, dilakukan tindakan pengecekan dan penyetingan komponen, yaitu gangguan terdeteksi karena ada komponen yang mengalami perubahan setingan sehingga perlu dilakukan kalibrasi.

Peringkat 5.

Deteksi sedang karena ada alat mengalami gangguan, dilakukan tindakan pengecekan, dan perbaikan, yaitu gangguan alat terdeteksi karena ada komponen mengalami penurunan performa dan perlu dilakukan perbaikan.

Peringkat 6.

Deteksi sangat kecil, ada alat tidak yang berfungsi/rusak. Dilakukan penggantian alat, yaitu gangguan terdeteksi karena ada komponen mengalami kerusakan dengan penggantian alat baru.

Peringkat 7.

Deteksi kecil, kompresor mengalami *trip*, yaitu kegagalan terdeteksi karena ada kerusakan atau gangguan alat sehingga kompresor udara mengalami *shutdown* tidak normal.

Peringkat 8.

Deteksi sangat kecil kompresor tidak bisa *start*, yaitu kegagalan terdeteksi karena ada gangguan alat atau sistem yang berakibat kompresor tidak bisa *start*(menyala).

Peringkat 9.

Deteksi sedikit karena kontrol sulit mendeteksi gangguan, yaitu kegagalan yang terjadi sangat sulit terdeteksi oleh alat kontrol dan operator lapangan.

Peringkat 10.

Tidak bisa terdeteksi dan menimbulkan kerusakan parah, yaitu kegagalan tidak bisa terdeteksi dan menimbulkan kerusakan fatal bagi komponen atau sistem lain.

Tabel 4.1. Worksheet FMEA pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1A di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit II Dumai selama periode Januari 2009 sampai Desember 2010.

No.	Component Instrument	Function	Potential Failure mode	Potential Effects of Failure	S E V	Potential Causes of Failure	λ	O C C	Current Controls	D E T	R P N	RPN Rata-Rata
1	Auxiliary Oil Pump Switch (910-C-1A)	Bekerja bilamana tekanan yang dihasilkan MOP kompresor udara berkurang	1. Indikasi tekanan lube oil berkurang. 2. AOPS kotor.	1. Performace atau kerja kompresor menurun. 2. Dapat	5	1. Sensor tekanan lube oil tidak benar atau rusak. 2. Kondisi	1	2	1. Melakukan pengecekan atau perbaikan alat terkait.	5	50	50

		g.		berakibat <i>bearing</i> bagian rotor rusak.		area yang bervibrasi dan panas.						
			1. AOPS ada gangguan/rusak.	1. AOP gagal <i>start</i> . 2. AOP tidak mau <i>shutd own</i> ketika <i>main</i>	-	-	-	-	-	-	-	

				<i>oil pump</i> telah berkerja.								
2	<i>Discharge Pressure Indicator (910-C-1A)</i>	Mendeteksi tekanan <i>discharge</i> udara kompresor.	1. Jarum penunjukan PI bergeser/berubah.	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>) tidak benar.	4	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas	1	2	1. Seting atau kalibrasi alat.	4	32	32
			1. Gerigi PI	1. Penun	-	-	-	-	-	-	-	

			<p>sudah aus.</p> <p>2. <i>Discharge pressure gauge</i> indikator ada gangguan</p>	<p>junker tekanan (<i>indicator</i>) tidak benar.</p>								
3	<i>Flow Indicator</i> (910-C-1A)	Mendeteksi atau penunjuk aliran udara	1. Setingan <i>flow indicator</i>	1. <i>Flow alarm</i> menyala terus.	4	1. Kondisi area yang bervibrasi dan	1	2	1. Seting atau kalibrasi alat.	4	32	32

		sebelum masuk kedalam <i>inlet kontrol valve</i> .	berubah.			panas						
4	<i>High Oil Temperature Switch (910-C-1A)</i>	Mengontrol temperatur oli pada kompresor	<ol style="list-style-type: none"> 1. HOTS ada gangguan/ rusak 2. HOTS kotor 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Performance</i> kompresor menurun. 2. Dapat berakibat <i>beari</i> 	-	-	-	-	-	-	-	32

				<i>ng/ba</i> gian rotor rusak.								
			1. <i>Setting</i> <i>alarm</i> <i>/trip</i> temp eratu r berub ah.	1. Penu njunk an temp eratu r tidak berke rja atau penu njuka n	4	1. Kondisi area yang bervibr asi dan panas. 2. Temper atur oli tinggi. 3. <i>Oil</i> <i>cooler</i> kotor.	1	2	1. <i>Seting</i> atau kalibra si alat.	4	32	

				terjadi dinyala <i>alarm</i> / <i>trip</i> berubah.								
5	<i>Pressure Gauge</i> (910 C 1A)	Mendeteksi tekanan udara <i>suction</i> kompresor.	1. Jarum penunjukan PI bergeser / berubah.	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>) tidak benar.	4	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	1	2	1. Setting atau kalibrasi alat.	4	32	70

			<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Pressure gauge</i> rusak 2. Gerigi PI sudah aus. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penujungan tekanan (<i>indicator</i>) tidak benar. 	6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas. 	2	3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan penggantian alat. 	6	108	
6	<i>Trisen Load (910-C-1A)</i>	Mengontrol <i>load</i> kompresor secara individu atau paralel.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gangguan pada komunikasi siste 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Performance</i> kompresor menurun. 	5	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alat pendukung ada gangguan seperti: 	1	2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan pengecekan atau 	5	50	50

			<p>m <i>contr oller trisen load.</i></p> <p>2. <i>Load</i> antar komp resor yang tidak imba ng.</p> <p>3. <i>Linier ity load, buka</i></p>	<p>2. UCV tidak mem buka meny ebab kan terja dinya <i>surgi ng</i> dan bila UCV terbu ka terus,</p>		<p><i>CV, Solenoi d, Positio ner, Sensor tekana n dischar ge</i> kompre sor yang terkait.</p>			<p>perba ikan dan kalibr asi alat terka it.</p>		
--	--	--	--	---	--	---	--	--	---	--	--

			an UCV berubah.	udara kompresor yang dihisilkan akan terbuang ke atmosfer.								
7	<i>Vibration Monitor (910-C-1A)</i>	Mendeteksi getaran/vibrasi kompreso	1. Sensor vibrasi rusak	1. Penujungan vibrasi	6	1. Kondisi area yang bervibrasi dan	1	2	1. Mengganti alat/sensor dan	6	72	60

		r udara.	. 2. <i>vibration monitor</i> rusak .	tidak berkerja. 2. Indikasi tidak ada atau berubah menyebabkan kerusakan kompresor		panas.			Melakukan kalibrasi			
--	--	----------	--	---	--	--------	--	--	---------------------	--	--	--

				udara								
			<p>1. <i>Seting time delay alarm /trip</i> berubah.</p> <p>2. Gangguan pada <i>diplaly</i></p>	<p>1. Penujukan terjadinya vibrasi <i>alarm /trip</i> berubah.</p>	4	<p>1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas</p>	2	3	<p>1. <i>Seting</i> atau kalibrasi alat.</p>	4	48	

			vibra si									
--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

4.1.1. Analisa Instrumentasi Kompresor Udara 910-C-1A

Dari analisa instrumentasi kompresor udara 910-C-1A dengan menggunakan metode *Failure Mode And Effect Anlysis* (FMEA) pada tabel 4.1 Maka dapat diketahui nilai RPN tertinggi dari masing-masing komponen. Semakin tinggi nilai dari RPN yang terjadi maka akan semakin rendah tingkat keandalan suatu komponen. Untuk nilai RPN rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.2 Dibawah ini.

Tabel 4.2 RPN rata-rata instrumen pada kompresor udara 910-C-1A.

No.	Komponen	RPN Rata-Rata
1	<i>Pressure Gauge</i>	70
2	<i>Vibration Monitor</i>	60
3	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	50
4	<i>Trisen Load</i>	50
5	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	32
6	<i>Flow Indicator</i>	32
7	<i>High Oil Temperature Switch</i>	32
Total		326

Berdasarkan analisa instrumentasi kompresor udara 910-C-1A menggunakan metode FMEA terdapat 7 gangguan dengan RPN total dari instrumentasi kompresor udara 910-C-1A

sebesar 326. RPN rata-rata instrumen yaitu: *pressure gauge* sebesar 70, *viriation monitor* sebesar 60, *auxiliary oil pump switch* dan *trisen load* sebesar 50, *discharge pressure indicator*, *flow indicator* dan *high oil temperature switch* sebesar 32.

RPN rata-rata tertinggi terdapat pada *pressure gauge* sebesar 70 sedangkan yang terendah terdapat pada *discharge pressure indicator*, *flow indicator*, dan *high oil temperature switch* sebesar 32.

Dari hasil analisa RPN menggunakan metode FMEA ini dapat dikatakan instrumentasi kompresor udara 910-C-1A bagian *Maintenance Area* III di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai masih dalam performansi tinggi dengan alasan RPN dari masing-masing komponen instrumen masih dibawah standar nilai RPN yaitu sebesar 200.

Diagram pareto digunakan untuk menyatakan masing-masing komponen yang menjadi prioritas utama dalam memberikan kontribusi kegagalan dan juga sebagai pembanding antara masing-masing komponen instrumen. Untuk analisa pada diagram pareto dapat dilihat pada tabel 4.3. Untuk mendapatkan nilai persentase total keseluruhan dilakukan perhitungan, misal:

$$\begin{aligned} \text{RPN rata-rata } \textit{presurre gauge} &= 70 \\ \text{RPN total} &= 326 \end{aligned}$$

Maka:

persentase total keseluruhan

$$= \frac{\text{RPN rata-rata}}{\text{RPN total}} \times 100\%$$

$$= \frac{70}{326} \times 100\% = 0,214723926 \times 100\%$$

$$= 21,4723926 \text{ atau } 21,47\%$$

Tabel 4.3. Persentase kumulatif instrumen kompresor udara 910-C-1A.

No	Komponen	RPN Rata-rata	Total Kumulatif	Persentase Total Keseluruhan (%)	Persentase Kumulatif (%)
1	<i>Pressure Gauge</i>	70	70	21,47	21,47
2	<i>Vibration Monitor</i>	60	130	18,40	39,87
3	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	50	180	15,34	55,21
4	<i>Trisen Load</i>	50	230	15,34	70,55
5	<i>Discharge Pressure</i>	32	262	9,82	80,37

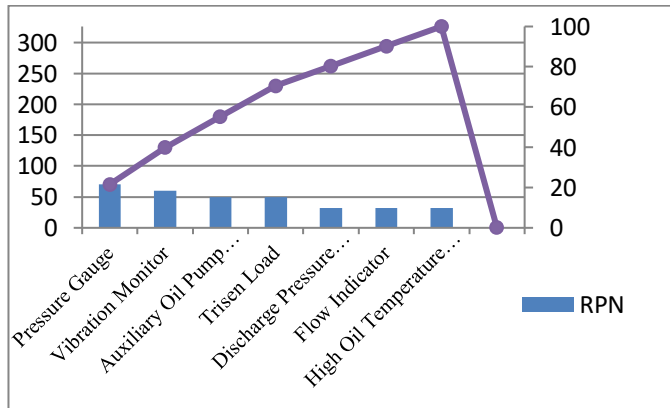
	<i>Indicator</i>				
6	<i>Flow Indicator</i>	32	294	9,82	90,18
7	<i>High Oil Temperature Switch</i>	32	326	9,82	100
Total		326		100	

Tabel 4.4. Total kumulatif RPN instrumentasi kompresor udara 910-1-1A untuk diagram pareto.

No.	Komponen	Total Kumulatif	Persentase Kumulatif (%)
1	<i>Pressure Gauge</i>	70	21,47
2	<i>Vibration Monitor</i>	130	39,87
3	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	180	55,21

4	<i>Trisen Load</i>	230	70,55
5	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	262	80,37
6	<i>Flow Indicator</i>	294	90,18
7	<i>High Oil Temperature Switch</i>	326	100

Analisa grafik diagram pareto kompresor udara 910-C-1A dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 4.1. Grafik diagram pareto kompresor udara 910-C-1A.

Dari gambar grafik diagram pareto pada kompresor udara 910-C-1A diatas didapat *pressure gauge* memberikan kontribusi RPN tertinggi gangguan sebesar 70.

Tabel 4.5 Tabel *worksheet* FMEA pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1B di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit II Dumai selama periode Januari 2009 sampai Desember 2010.

N o	<i>Component Instrument</i>	<i>Function</i>	<i>Potential Failure mode</i>	<i>Potential Effects of Failure</i>	<i>S E V</i>	<i>Potential Causes of Failure</i>	λ	<i>O C C</i>	<i>Current Controls</i>	<i>D E T</i>	<i>R P N</i>	<i>RPN Rata- Rata</i>
1	<i>Discharge Pressure Indicator (910-C-1B)</i>	Mendeteksi tekanan <i>discharge</i> udara kompresor	1. Penunjukan PI bergeser / berubah.	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>) tidak benar.	4	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	1	2	1. Seting atau kalibrasi alat.	4	32	32
			1. Gerigi PI sudah aus. 2. <i>Discharge pressure</i>	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>) tidak	-	-	-	-	-	-		

			<i>gauge indicator</i> ada gangguan/rusak.	benar.								
2	<i>High Air Temperature Switch</i> (910-C-1B)	Mendeteksi temperatur udara <i>discharge</i> kompresor.	<ol style="list-style-type: none"> 1. HATS tidak berkerja. 2. HATS kotor. 3. <i>Alarm</i> HOTS ada gangguan. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Performance</i> kompresor udara menurun. 2. Penunjukan terjadinya <i>alarm/trip</i> temperature 	5	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	4	4	1. Melakukakan pengecekan atau perbaikan alat terkait.	5	100	66

				berubah. 3. <i>Alarm</i> HOTS muncul terus.								
			1. <i>Setting</i> <i>alarm/trip</i> temperatur berubah.	1. Penunjukan temperatur tidak berkerja atau nilai penunjukan terjadinya temperatur <i>alarm/</i>	4	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas	1	2	1. Seting atau kalibrasi alat.	4	32	

				<i>trip</i> berubah.								
3	<i>High Oil Temperature Switch</i> (910-C-1B)	Mengontrol temperatur oli pada kompresor.	<ol style="list-style-type: none"> 1. HOTS tidak berkerja. 2. HOTS kotor. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Performance</i> kompresor udara menurun. 2. Penunjukan temperatur tidak berkerja. 3. Dapat merusak <i>bearing</i> atau rotor. 	5	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	3	4	1. Melakukan pengecekan atau perbaikan alat terkait.	5	100	100

			1. <i>Setting alarm/trip</i> temperatur berubah.	1. Penunjukan temperatur tidak berkerja dan penunjukan terjadinya perubahan temperatur <i>alarm/trip</i> berubah.	-	-			-	-	-	
4	<i>Horn (910-C-1B)</i>	Peringatan pada saat	1. <i>Horn alarm</i> ada	1. Peringatan <i>horn alarm</i>	5	1. Kondisi area yang	1	2	1. Melakukaan	5	50	50

		kondisi alarm dan trip.	gangguan.	tidak bekerja.		bervibrasi dan panas.			peng-ecek / perbaikan alat terkait.			
5	<i>Manually Operated Reducing Valve</i> /MO1 (910-C-1B)	kontrol manual untuk sinyal udara pada inlet valve actuator ketika	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sinyal udara hilang. 2. MO1 kotor. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Performance</i> atau kerja kompresor menurun. 2. Bukaan ICV akan terganggu 	5	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	1	2	1. Melakukan peng-ecek / perbaikan	5	50	41

		ketika <i>control selector</i> CS1 posisi manual.		u.						alat terkait.			
			1. <i>Setting</i> MO1 berubah	1. Bukan ICV akan terganggu.	4	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	1	2	1. Seting atau kalibrasi alat.	4	32		
6	<i>Manually Operated Reducing Valve /MO2 (910-C-1B)</i>	kontrol manual untuk sinyal udara pada <i>unloading valve</i>	1. Sinyal udara hilang. 2. MO2 kotor.	1. <i>Performance</i> atau kerja kompresor menurun. 2. Bukan UCV	5	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	2	3	1. Melakuk kan pengecek , perbaikan	5	75	75	

		<i>actuator</i> ketika ketika <i>control selector</i> CS2 pada posisi manual.		akan terganggu.					n alat terkat.			
			1. <i>Setting</i> MO2 berubah.	1. Bukan UCV akan terganggu.	-	-	-	-	-	-	-	
7	<i>Pressure Gauge</i> (910-C-1B)	Mendeteksi tekanan udara <i>suction</i> kompresor.	1. Jarum penunjukan PI bergeser /berubah .	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>)tidak benar.	4	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	1	2	1. Seting atau kalibrasi alat.	4	32	32
			1. <i>Pressure gauge</i>	1. Penunjukan	-	-	-	-	-	-	-	

			ada gangguan/rusak 2. Gerigi PI sudah aus.	tekanan (<i>indicator</i>) tidak benar.									
8	<i>Pressure Gauge Inlet Steam.</i> (910-C-1B)	Mendeteksi tekanan pada <i>inlet steam.</i>	1. Jarum penunjuk an PI bergeser /berubah .	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>) tidak benar.	-	-	-	-	-	-	-		
			1. <i>Pressure gauge</i> ada gangguan.	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>) tidak	5	1. Kondisi area yang bervibrasi dan	2	3	1. Melakukaan pengecek	5	75		
													75

			2. <i>Pressure gauge</i> kotor.	benar atau tidak berkerja.		panas.			, perbaikan alat terkait.			
9	<i>Pressure Gauge discharge</i> (910-C-1B)	Mendeteksi tekanan <i>discharge</i> udara kompresor.	1. <i>Pressure gauge</i> ada gangguan. 2. <i>Pressure gauge</i> kotor.	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>) tidak benar.	5	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	1	2	1. Melakukan pengecekan, perbaikan alat terkait.	5	50	50
10	<i>Solenoid Valve</i> (910-C-1B)	Mendeteksi tekanan	1. <i>Solenoid valve</i> ada	1. <i>Solenoid valve</i> tidak	5	1. Kondisi area yang	1	2	1. Mela kuka	5	50	50

		udara yang akan di buang ke atmosfer.	<ol style="list-style-type: none"> gangguan. Tegangan <i>solenoid</i> tidak ada. 	<ol style="list-style-type: none"> memberikan sinyal ke UCV. UCV tidak berkerja maksimal dan <i>performance</i> kompresor menurun. 		bervibrasi dan panas.			n pengecek, perbaikan alat terkait.			
11	<i>High Pressure Steam Valve</i> (910-C-1B)	Membuka dan menutup <i>on-off</i>	<ol style="list-style-type: none"> <i>HPS valve</i> ada gangguan 	<ol style="list-style-type: none"> <i>high pressure steam Valve</i> 	5	<ol style="list-style-type: none"> Umur pemakaian alat 	1	2	<ol style="list-style-type: none"> Melakukan pengecekan 	5	50	50

		<i>Valve HP Steam</i> ke Turbin penggerak kompresor.	n. 2. <i>HPS valve</i> kotor.	tidak bekerja/rusak.		yang sudah lama. 2. Sumber atau perintah tegangan tidak ada.			atau perbaikan alat terkait.			
12	<i>Trisen Load (910-C-1B)</i>	Mengontrol <i>load</i> kompresor secara individu atau paralel.	1. <i>Load</i> antar kompresor yang tidakimbang. 2. <i>Linierity</i>	1. <i>Performance</i> kompresor menurun. 2. Bila UCV tidak	5	1. <i>Thrisen</i> atau Alat pendukung ada gangguan	1	2	2. Melakukan pengecekan atau perbaikan dan	5	50	50

			<p><i>load</i>, bukaan UCV berubah.</p> <p>3. Gangguan pada komunikasi sistem <i>controlle r trisen load</i>.</p>	<p>membuka menyebabkan terjadinya <i>surgin</i> dan bila UCV terbuka, udara kompresor yang dihasilkan akan terbuang ke atmosfer.</p>		<p>an seperti: <i>CV, Solenoid, Positio ner</i>, Sensor tekanan <i>discharge</i> kompresor yang terkait.</p>		<p>kalibrasi alat terkait.</p>			
--	--	--	---	--	--	--	--	--------------------------------	--	--	--

4.1.2. Analisa Instrumentasi Kompresor Udara 910-C-1B

Dari analisa *worksheed* instrumentasi kompresor udara 910-C-1B dengan menggunakan metode FMEA pada tabel 4.5 didapat nilai RPN rata-rata dari masing komponen dengan mengurutkan RPN tertinggi sampai yang terendah.

Tabel 4.6. RPN rata-rata instrumen kompresor udara 910-C-1B.

No.	Komponen	RPN Rata-Rata
1	<i>High Oil Temperature Switch</i>	100
2	<i>Pressure Gauge Inlet Steam</i>	75
3	<i>Manually Operated Reducing Valve MO2</i>	75
4	<i>High Air Temperature Switch</i>	66
5	<i>High Pressure Steam Valve</i>	60
6	<i>Horn</i>	50
7	<i>Pressure Gauge discharge</i>	50
8	<i>Solenoid Valve</i>	50
9	<i>Trisen Load</i>	50
10	<i>Manually Operated Reducing Valve MO1</i>	41
11	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	32
12	<i>Pressure Gauge</i>	32
Total		681

Dari analisa instrumentasi kompresor udara 910-C-1B menggunakan metode FMEA maka didapat RPN total sebesar 681 dengan 12 komponen instrumen yang mengalami gangguan. RPN rata-rata dari komponen instrumen yaitu: *high oil temperature switch* sebesar sebesar 100, *pressure gauge inlet steam* dan

Manually Operated Reducating Valve /MO2 sebesar 75, *high air temperature switch* sebesar 66, *high pressure steam valve* sebesar 60, *horn*, *pressure gauge*, *pressure gauge discharge*, *solenoid valve*, dan *trisen load* sebesar 50, *manually operated reducating valve* /MO1 sebesar 41, *discharge pressure indicator* dan *pressure gauge* sebesar 32.

Berdasarkan urutan dari analisa instrumen kompresor udara 910-C-1B nilai RPN rata-rata tertinggi terdapat pada *high oil temperature switch* sebesar 100 sedangkan terendah terdapat pada *discharge pressure indicator* sebesar, dan *pressure gauge* sebesar 32. Masing-masing komponen instrumen pada kompresor udara 910-C-1B ini memenuhi kemampuan operasi karena masih dibawah standar risiko RPN.

Untuk membuat grafik diagram pareto pada kompresor udara 910-C-1B dilakukan perhitungan kumulatif, perhitungan ini berfungsi untuk mendapatkan persentase dari nilai RPN. Persentase total keseluruhan dapat dilakukan perhitungan, misal:

$$\begin{aligned} \text{RPN rata-rata } \textit{high oil temperature switch} &= 100 \\ \text{RPN total} &= 681 \end{aligned}$$

Maka:

persentase total keseluruhan

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{RPN rata-rata}}{\text{RPN total}} \times 100 \\ &= \frac{100}{681} \times 100\% \\ &= 0,146842878 \times 10 \\ &= 14,6842878 \text{ atau } 14,68\% \end{aligned}$$

Tabel 4.7. Persentase kumulatif instrumen kompresor udara 910-C-1B.

No.	Komponen	RPN Rata-Rata	Total Kumulatif	Persentase Total Keseluruhan (%)	Persentase Kumulatif (%)
1	<i>High Oil Temperature Switch</i>	100	100	14,68	14,19
2	<i>Pressure Gauge Inlet Steam</i>	75	175	11,01	25,20
3	<i>Manually Operated Reducing Valve /MO2</i>	75	250	11,01	36,22
4	<i>High Air Temperature Switch</i>	66	316	9,69	45,91
5	<i>High Pressure Steam Valve</i>	60	376	8,81	54,72

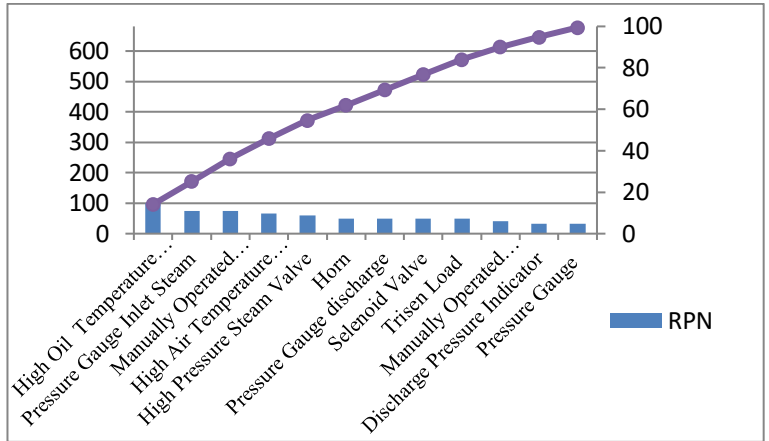
6	<i>Horn</i>	50	426	7,34	62,06
7	<i>Pressure Gauge discharge</i>	50	476	7,34	69,40
8	<i>Solenoid Valve</i>	50	526	7,34	76,75
9	<i>Trisen Load</i>	50	576	7,34	84,09
10	<i>Manually Operated Reducing Valve /MO1</i>	41	617	6,02	90,11
11	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	32	649	4,70	94,81
12	<i>Pressure Gauge</i>	32	681	4,70	100
Total		681		100	

Tabel 4.8. Total kumulatif RPN instrumentasi kompresor udara 910-C-1B untuk diagram pareto.

No.	Komponen	Total Kumulatif	Persentase Kumulatif (%)
1	<i>High Oil Temperature Switch</i>	100	14,19
2	<i>Pressure Gauge Inlet Steam</i>	175	25,20
3	<i>High Air Temperature Switch</i>	250	36,22
4	<i>High Pressure Steam Valve</i>	316	45,91
5	<i>Horn</i>	376	54,72
6	<i>Pressure Gauge Discharge</i>	426	62,06

7	<i>Solenoid Valve</i>	476	69,40
8	<i>Manually Operated Reducating Valve MO2</i>	526	76,75
9	<i>Trisen Load</i>	576	84,09
10	<i>Manually Operated Reducating Valve MO1</i>	617	90,11
11	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	649	94,81
12	<i>Pressure Gauge</i>	681	100

Analisa grafik diagram pareto kompresor udara 910-C-1B dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini:



Gambar 4.2. Grafik diagram pareto kompresor udara 910-C-1B.

Dari gambar grafik diagram pareto diketahui *high oil temperature switch* sebesar 100 pada kompresor udara 910-C-1B berada pada tingkat tertinggi dari RPN.

Tabel 4.9. Worksheet FMEA pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1C di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit II Dumai selama periode Januari 2009 sampai Desember 2010.

N o.	Component Instrument	Function	Potential Failure mode	Potential Effects of Failure	S E V	Potential Causes of Failure	λ	O C C	Current Controls	D E T	R P N	RPN Rata-Rata
1	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i> (910-C-1C)	Bekerja bilamana tekanan yang dihasilkan MOP kompresor udara berkurang.	1. Indikasi tekanan <i>lube oil</i> berkurang. 2. AOPS kotor.	1. <i>Performance</i> atau kerja kompresor menurun. 2. Dapat berakibat <i>bearing</i> /bagian rotor	5	1. Sensor tekanan <i>lube oil</i> tidak benar atau rusak.	1	2	1. Melakukan pengecekan atau perbaikan alat terkait.	5	50	50

				rusak.								
			1. AOPS ada gangguan/rusak.	1. AOP gagal <i>start</i> . 2. AOP tidak mau <i>shutdown</i> ketika <i>main oil</i> telah berkerja.	-	-	-	-	-	-	-	-
2	<i>Discharge Pressure Indicator (910-C-1C)</i>	Mendeteksi tekanan <i>discharge</i>	1. Jarum penunjukan PI berges	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>)	4	1. Kondisi area yang bervibra	1	2	1. Seting atau kalibrasi alat.	4	32	32

		udara kompresor udara.	er/berubah	tidak benar.		si dan panas.						
			<p>1. Gerigi PI sudah aus.</p> <p>2. <i>Discharge pressure gauge indicator</i> ada gangguan.</p>	<p>1. Penunjukkan tekanan (<i>indicator</i>) tidak benar.</p>	-	-	-	-	-	-		

3	<i>High Air Temperature Switch</i> (910-C-1C)	Mendeteksi temperatur udara <i>discharge</i> kompresor.	<ol style="list-style-type: none"> 1. HATS tidak berkerja a. 2. HATS kotor. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Performance</i> kompresor udara menurun. 2. Penunjukan temperatur tidak berkerja atau nilai penunjukan terjadinya temperatur <i>alarm/trip</i> 	5	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas. 	4	4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan pengecek atau perbaikan alat terkait. 	5	100	100
---	--	---	---	---	---	--	---	---	--	---	-----	-----

				berubah.										
4	<i>High Oil Temperature Switch (910-C-1C)</i>	Mengontrol temperatur oli pada kompresor.	<ol style="list-style-type: none"> HOTS tidak berkerja. HOTS kotor. 	<ol style="list-style-type: none"> <i>Performance</i> kompresor udara menurun. Penunjukkan temperatur tidak berkerja. 	5	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	1	2	1. Melakukan pengecekan atau perbaikan alat terkait.	5	50			50
			<ol style="list-style-type: none"> <i>Setting alarm/trip</i> 	<ol style="list-style-type: none"> Penunjukkan temperatur 	-	-	-	-	-	-	-			

			temperatur berubah.	ur tidak berkerja dan penunjukan terjadinya temperatur alarm/trip berubah.								
5	<i>Manually Operated Reducing Valve/MO2 (910-C-1C)</i>	kontrol manual untuk sinyal udara	1. Sinyal udara hilang. 2. MO2 kotor.	1. <i>Performance</i> atau kerja kompresor	5	1. Kondisi area yang bervibrasi dan	2	3	1. Melakukan pengecekan, perbaikan	5	75	75

		pada <i>unloading valve actuator</i> ketika ketika <i>control selector</i> CS2 pada posisi manual.		menurun. 2. Bukaan UCV terganggu .		panas.			n alat terkait.			
			1. <i>Setting</i> MO2 berubah.	1. Bukaan pada UCV terganggu .	-	-	-	-	-	-	-	
6	<i>Pressure Gauge</i> (910-C-1C)	Mendeteksi tekanan udara <i>suction</i>	1. Jarum penunjukan PI bergeser/beru	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>) tidak	4	1. Kondisi area yang bervibrasi dan	1	2	1. Melakukan seting atau kalibrasi alat.	4	32	32

		kompresso r.	bah.	benar.		panas.						
7	<i>Temperature Switch</i> (910-C-1C)	Bekerja bila temperatur kompresor terdeteksi tinggi.	1. <i>Temperature switch</i> mengalami gangguan atau tidak bekerja.	1. <i>Switch</i> dan penunjukan nilai temperatur tidak bekerja.	5	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	1	2	1. Melakukan seting atau kalibrasi alat.	5	50	50
8	<i>Trisen Load</i> (910-C-1C)	Mengontrol <i>load</i> kompresor secara individu	1. <i>Load</i> antar kompresor yang	1. <i>Performance</i> atau kerja kompresor	5	1. <i>Thrisen</i> atau Alat pendukung ada gangguan	2	3	1. Melakukan pengecekan atau perbaikan	5	75	53,5

		atau paralel.	tidakimbang . 2. <i>Linierity load</i> , bukaan UCV berubah	menurun. 2. Bila UCV tidak membuka menyebabkan terjadinya <i>surgina</i> dan bila UCV terbuka, udara kompresor yang dihasilkan		n seperti: <i>CV, Solenoid, Positioner</i> , Sensor tekanan <i>discharge</i> kompresor yang terkait.			n dan kalibrasi alat terkait.			
--	--	---------------	--	---	--	--	--	--	-------------------------------	--	--	--

				n akan terbuang ke atmosfir.								
			1. Gangguan pada komunikasi sistem <i>controller trisen load</i> .	1. <i>Performance</i> atau kerja kompresor menurun. 2. Deteksi <i>load</i> tidak benar.	4	1. <i>Thrisen</i> atau Alat pendukung ada gangguan seperti: <i>CV, Solenoid, Positioner, Sensor tekanan discharge</i> yang	1	2	1. Melakukan seting atau kalibrasi alat.	4	32	

						terkait.						
9	<i>Unloading Control Valve</i> (910-C-1C)	Membuang atau mengurangi tekanan <i>discharge</i> kompresor.	<ol style="list-style-type: none"> 1. UCV ada gangguan/rusak. 2. Timbulnya gejala <i>surgin</i>. 3. <i>Linierit</i>y bukaan <i>valve</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bila UCV tidak membuka menyebabkan terjadinya <i>surgin</i> dan bila UCV terbuka terus, udara kompres 	-	-	-	-	-	-	-	-

			berubah.	<p>or yang dihasilkan akan terbuang ke atmosfer.</p> <p>2. Kompresor udara <i>trip</i>.</p>								
			1. Setingan pada UCV berubah.	1. Bila UCV tidak membuka menyebabkan terjadinya <i>surgin</i> dan bila	4	1. UCV/Alat pendukung ada gangguan seperti: <i>solenoid, positioner, Sensor</i>	2	3	1. Melakukan seting atau kalibrasi alat.	4		48

				UCV terbuka terus, udara kompresor yang dihasilkan akan terbang ke atmosfer.		tekanan <i>discharge</i> kompresor.						
10	<i>Vibration Monitor</i> (910-C-1C)	Mendeteksi getaran atau vibrasi	1. Sensor vibrasi ada gangguan	1. Penunjukan terjadinya vibrasi <i>alarm/tri</i>		-	-	-	-	-	-	-

		kompresor.	/ rusak.	<p><i>p</i> berubah.</p> <p>2. Indikasi tidak ada atau berubah menyebabkan kerusakan kompresor yang fatal.</p> <p>3. Kompresor <i>trip</i></p>								
--	--	------------	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

			1. <i>Setting alarm/trip</i> vibrasi berubah.	1. Penunjukan vibrasi tidak berkerja atau nilai penunjukan terjadinya vibrasi <i>alarm/trip</i> berubah.	4	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	2	3	1. Melakukan seting atau kalibrasi alat.	4	48	48
--	--	--	---	--	---	--	---	---	--	---	----	----

4.1.3. Analisa Instrumentasi Kompresor Udara 910-C-1C

Berdasarkan analisa *worksheed* instrumentasi kompresor udara 910-C-1C dengan menggunakan metode FMEA pada tabel 4.9 Didapat nilai RPN rata-rata dari komponen instrumen berikut ini.

Tabel 4.10. RPN rata-rata instrumentasi kompresor udara 910-C-1C.

No.	Komponen	RPN Rata-Rata
2	<i>High Air Temperature Switch</i>	100
3	<i>Manually Operated Reducing Valve/MO2</i>	75
1	<i>Trisen Load</i>	53,5
4	<i>Temperature Switch</i>	50
5	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	50
6	<i>High Oil Temperature Switch</i>	50
7	<i>Vibration Monitor</i>	48
8	<i>Unloading Control Valve</i>	48
9	<i>Pressure Gauge</i>	32
10	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	32
Total		538,5

Untuk analisa instrumentasi kompresor udara 910-C-1C menggunakan metode FMEA terdapat 10 gangguan instrumen dengan RPN total sebesar 538,5. RPN rata-rata komponen instrumen yaitu: *high air temperature switch* sebesar 100, *manually operated reducing valve*, MO2 sebesar 75, *trisen load* sebesar 53,5, *temperature switch* dan *auxiliary oil pump switch* sebesar 50, *high oil temperature* sebesar 50, *unloading control valve* sebesar 48, *vibration monitor* sebesar 48, *pressure gauge* dan *discharge pressure indicator* sebesar 32.

Berdasarkan tabel 4.10 diatas, RPN rata-rata tertinggi terdapat pada *high air temperature switch* sebesar 100 sedangkan terendah terdapat pada *pressure gauge* dan *discharge pressure indicator* sebesar 32. Instrumen pada kompresor udara 910-C-1C masih memenuhi standar operasi perusahaan karena nilai RPN masih dibawah standar yang ditetapkan.

Untuk membuat grafik diagram pareto dilakukan perhitungan untuk menentukan persentase RPN. Untuk mendapatkan nilai persentase total keseluruhan dapat dilakukan perhitungan, misal:

$$\begin{aligned} \text{RPN rata-rata } \textit{high oil temperature switch} &= 100 \\ \text{RPN total} &= 538,5 \end{aligned}$$

Maka:
persentase total keseluruhan

$$= \frac{\text{RPN rata-rata}}{\text{RPN total}} \times 100\%$$

$$= \frac{100}{538,5} \times 100\% =$$

$$0,185701021 \times 100\%$$

$$= 18,5701021 \text{ atau } 18,57\%$$

Tabel 4.11. Persentase kumulatif instrumen pada kompresor udara 910-C-1C.

No.	Komponen	RPN Rata-Rata	Total Kumulatif	Persentase Total Keseluruhan (%)	Persentase Kumulatif (%)
1	<i>High Air Temperature Switch</i>	100	100	18,57	18,57
2	<i>Manually Operated Reducing Valve/MO2</i>	75	175	13,93	32,50
4	<i>Trisen Load</i>	53,5	228,5	9,94	42,43
3	<i>Temperature Switch</i>	50	278,5	9,29	51,72

5	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	50	328,5	9,29	61,00
6	<i>High Oil Temperature Switch</i>	50	378,5	9,29	70,29
7	<i>Vibration Monitor</i>	48	426,5	8,91	79,20
8	<i>Unloading Control Valve</i>	48	474,5	8,91	88,12
9	<i>Pressure Gauge</i>	32	506,5	5,94	94,06
10	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	32	538,5	5,94	100
Total		538,5		100	

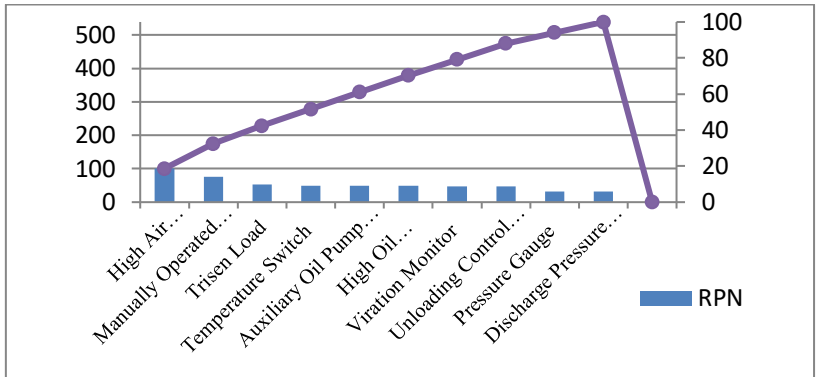
Tabel 4.12. Total kumulatif RPN instrumentasi kompresor udara 910-1-1C untuk diagram pareto.

No.	Komponen	Total Kumulatif	Persentase Kumulatif (%)
1	<i>High Air Temperature Switch</i>	100	18,57
2	<i>Manually Operated Reducing Valve, MO2</i>	175	32,50
3	<i>Trisen Load</i>	228,5	42,43
4	<i>Temperature Switch</i>	278,5	51,72
5	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	328,5	61,00
6	<i>High Oil Temperature</i>	378,5	70,29

	<i>Switch</i>		
7	<i>Vibration Monitor</i>	426,5	79,20
8	<i>Unloading Control Valve</i>	474,5	88,12
9	<i>Pressure Gauge</i>	506,5	94,06
10	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	538,5	100

Untuk analisa diagram pareto kompresor udara 910-C-1C dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut ini:

Gambar 4.3. Grafik diagram pareto kompresor udara 910-C-1C.



Berdasarkan grafik diagram pareto diketahui pada kompresor udara 910-C-1C bagian sisi kiri yaitu *high air temperature switch* memberikan kontribusi tertinggi pada RPN.

Tabel 4.13. Worksheet FMEA pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1D di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit II Dumai selama periode Januari 2009 sampai Desember 2010.

N o.	Component Instrument	Function	Potenti al Failure mode	Potential Effects of Failure	S E V	Potenti al Causes of Failure	λ	O C C	Current Controls	D E T	R P N	RPN Rata- Rata
1	<i>Auxiliary Oil Pump Switch (910-C-1D)</i>	Bekerja bilamana tekanan yang dihasilkan MOP kompresor udara berkurang.	1. Indikasi tekanan <i>lube oil</i> berkurang. 2. AOPSkotor.	1. <i>Performance</i> atau kerja kompresor menurun. 2. Dapat berakibat <i>bearing/b</i>	5	1. Sensor tekanan <i>lube oil</i> tidak benar atau rusak.	2	3	1. Melakukan pengecekan atau perbaikan alat terkait. 2. Mengganti	5	75	75

				agian rotor rusak.					<i>solenoid.</i>			
			1. AOPS ada gangguan/rusak	1. AOP gagal <i>start.</i> 2. AOP tidak mau <i>shutdown</i> ketika <i>main oil</i> telah berkerja.	-	-	-	-	-	-	-	
2	<i>Control Surging</i> (910-C-1D)	Mengontrol <i>load</i> kompresor	1. <i>Load</i> antar kompre	1. <i>Performance</i> dan kerja	5	1. <i>Thrisen</i> atau alat	1	2	1. Melakukan pengec	5	50	50

		secara individu atau paralel.	<p>sor yang tidakimbang .</p> <p>2. <i>Control surging</i> tidak bisa direset.</p>	<p>kompresor menurun.</p> <p>2. Bila UCV tidak membuk a menyebabk an terjadinya <i>surgin</i>, Bila UCV terbuka terus, udara kompres</p>		<p>pendukung ada gangguan seperti: <i>CV, Solenoid, Positio ner, Sensor tekanan discharge.</i></p>			<p>ekan/perbaikan dan kalibrasi alat terkait.</p>			
--	--	-------------------------------	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--

				or yang dihasilkan akan terbuang ke atmosfer.								
3	<i>Differential Low oil (910-C-1D)</i>	Mendeteksi tekanan oli pelumas sebelum dan <i>sesudah oil filter.</i>	1. DPIS ada gangguan. 2. Gangguan pada <i>alarm low pressure.</i>	1. <i>Performance</i> dan kerja kompresor menurun. 2. <i>Alarm</i> tidak berkerja.	5	1. Sensor tekanan <i>lube oil</i> tidak benar atau rusak.	1	2	1. Melakukan pengecekan dan perbaikan alat terkait, 2. mengganti <i>Oil Filter.</i>	5	50	50

4	<i>Discharge Pressure Indicator (910-C-1D)</i>	Mendeteksi tekanan <i>discharge</i> udara kompresor	1. Jarum penunjukan PI bergeser/ berubah.	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>) tidak benar.	4	2. Kondisi area yang bervibrasi dan panas.	1	2	1. Melakukan pengecek, perbaikan alat terkait. 2. Mengganti alat atau sensor.	4	32	32
			1. Gerigi PI sudah aus. 2. <i>Dischar</i>	1. Penunjukan tekanan (<i>indicator</i>)	-	-	-	-	-			

			<i>ge pressur e gauge indicat or</i> ada ganggu an.rusa k	/tidak benar.								
5	<i>High Air Temperature Switch (910-C-1D)</i>	Mendeteksi temperatur udara <i>discharge</i> kompresor.	1. Senso r temp eratu r ada gang guan/ rusak	1. <i>Performan ce</i> kompresor udara menurun. 2. Penunjuk an temperatur	5	1. K ondisi area yang bervibr asi dan panas.	1	2	1. Mela kuka n peng eceka n atau perba	5	50	57

			<p>2. HOTS kotor</p>	<p>tidak berkerja atau nilai penunjukan terjadinya temperature <i>alarm/trip</i> berubah.</p>					<p>ikan terka it.</p>			
			<p>1. <i>Setting alarm /trip</i> temperatur</p>	<p>1. Penunjukan temperatur tidak berkerja atau nilai penunjukan</p>	4	1. Kondisi area yang bervibrasi dan panas	4	4	1. Melakukan seting atau kalibrasi alat.	4	64	

			berubah.	n terjadinya temperature alarm/trip berubah. 2. Alarm HATS tidak berkerja.								
6	<i>Pressure Gauge (910-C-1D)</i>	Mendeteksi tekanan udara suction kompresor.	1. Jarum penunjukan PI bergeser/berubah.	1. Penunjukan tekanan tidak benar.	4	Kondisi area yang bervibrasi dan panas	1	2	1. Melakukan seting atau kalibrasi alat.	4	32	32

			ah									
			<p>1. Gerigi PI sudah aus.</p> <p>2. <i>Pressure gauge</i> gangguan/rusak .</p>	<p>1. Penunjukan tekanan tidak benar.</p> <p>2. <i>Pressure gauge</i> tidak berkerja.</p>	-	-	-	-	-	-	-	

7	<i>Trisen Load</i> (910-C-1D)	Mengontrol <i>load</i> kompresor secara individu atau paralel.	1. <i>Load</i> antar kompresor yang tidak imbang. 2. <i>Linierity load</i> , bukaan UCV berubah 3. Gang	1. Bila CV tidak membuka menyebabkan terjadinya <i>surgin</i> dan bila UCV terbuka, udara kompresor yang dihasilkan akan terbuang	5	1. U mur pemakaian alat yang sudah lama. 2. <i>Trisen</i> atau Alat pendukung rusak seperti: <i>CV</i> ,	1	2	1. Melakukan pengecekan atau perbaikan dan kalibrasi alat terkait.	5	50	50
---	----------------------------------	--	---	---	---	---	---	---	--	---	----	----

			guan pada komunikasi sistem <i>controller</i> <i>trisen load</i> .	ke atmosfir.		<i>Solenoid, Positioner, Sensor tekanan discharge kompresor yang terkait.</i>						
8	<i>Vibration Monitor (910-C-1D)</i>	Mendeteksi getaran/vibrasi kompresor.	1. Sensor vibrasi	1. Penunjukan vibrasi <i>alarm/trip</i> tidak ada.	6	1. Kondisi area yang	1	2	1. Dengan mengganti alat	6	72	75

			ada yang rusak .	2. Jika indikasi tidak ada atau berubah bisa menyebabkan kerusakan kompresor udara yang fatal.		bervibrasi dan panas.			atau sensor.			
--	--	--	------------------	--	--	-----------------------	--	--	--------------	--	--	--

4.1.4. Analisa Instrumentasi Kompresor Udara 910-C-1D

Dari analisa *worksheed* instrumentasi kompresor udara 910-C-1D pada tabel 4.13 didapatkan nilai RPN rata-rata dari komponen berdasarkan urutan yang tertinggi. Analisa ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.14. RPN rata-rata instrumentasi kompresor udara 910-C-1D.

No.	Komponen	RPN Rata-rata
1	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	75
2	<i>Vibration Monitor</i>	75
4	<i>High Air Temperature Switch</i>	57
3	<i>Control Surging</i>	50
5	<i>Differential Low oil</i>	50
6	<i>Trisen Load</i>	50
7	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	32
8	<i>Pressure Gauge</i>	32
Total		431

Untuk analisa instrumentasi kompresor udara 910-C-1D dengan menggunakan metode FMEA maka didapat RPN total sebesar 431 dengan 8 komponen mengalami gangguan. Nilai RPN rata-rata dari komponen instrumen yaitu: *auxiliary oil pump switch* dan *vibration monitor* sebesar 75, *control surging*, *high air temperature switch*, *differential low oil*, dan *trisen load* sebesar

50, *discharge pressure indicator* sebesar dan *pressure gauge* sebesar 32.

Berdasarkan analisa pada tabel 4.14 diatas, RPN rata-rata tingkat tertinggi terdapat pada komponen instrumen *auxiliary oil pump switch* , dan *vibration monitor* sebesar 75 dan yang terendah terdapat pada *discharge pressure indicator*, dan *pressure gauge* sebesar 32. Dari analisa instrumentasi pada kompresor udara 910-C-1D, dapat dikatakan komponen instrumen pada kompresor udara masih memenuhi target operasi nilai RPN.

Sebelum membuat grafik diagram pareto pada instrumen kompresor udara 910-C-1D dilakukan perhitungan untuk menentukan persentase kumulatif dari RPN pada tabel 4.15. untuk mendapatkan persentase total keseluruhan dapat dilakukan perhitungan, misal:

$$\begin{array}{rcl} \text{RPN rata-rata } \textit{auxiliary oil pump switch} & = & 100 \\ \text{RPN total} & = & 431 \end{array}$$

Maka:

persentase total keseluruhan

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{RPN rata-rata}}{\text{RPN total}} \times 100\% \\ &= \frac{75}{431} \times 100\% \\ &= 0,174013921 \text{ atau } 17,40\% \end{aligned}$$

Tabel 4.15. Persentase kumulatif instrumentasi kompresor udara 910-C-1D.

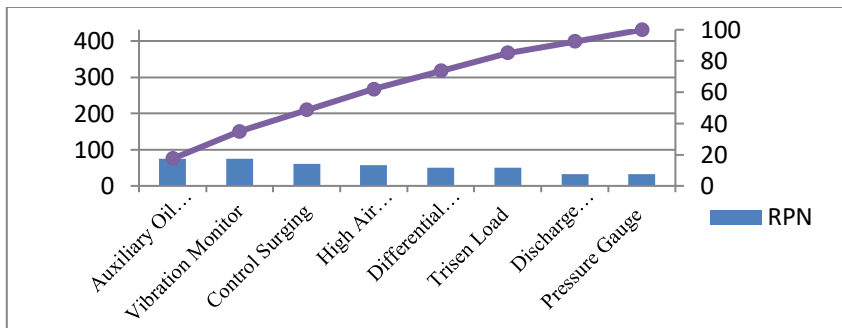
No	Komponen	RPN Rata-Rata	Total Kumulatif	Persentase Total Keseluruhan (%)	Persentase Kumulatif (%)
1	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	75	75	17,40	17,40
2	<i>Vibration Monitor</i>	75	135	17,40	34,80
3	<i>Control Surging</i>	60	210	13,92	48,72
4	<i>High Air Temperature Switch</i>	57	267	13,23	61,95
5	<i>Differential Low oil</i>	50	317	11,60	73,55
6	<i>Trisen Load</i>	50	367	11,60	85,15
7	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	32	399	7,42	92,58
8	<i>Pressure Gauge</i>	32	431	7,42	100

Total	431		100	
-------	-----	--	-----	--

Tabel 4.16. Total kumulatif RPN instrumentasi kompresor udara 910-1-1D untuk diagram pareto.

No.	Komponen	Total Kumulatif	Persentase Kumulatif (%)
1	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	75	17,40
2	<i>Control Surging</i>	135	34,80
3	<i>Vibration Monitor</i>	210	48,72
4	<i>Differential Low oil</i>	267	61,95
5	<i>Trisen Load</i>	317	73,55
6	<i>High Air Temperature Switch</i>	367	85,15
7	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	399	92,58
8	<i>Pressure Gauge</i>	431	100

Untuk analisa grafik diagram pareto kompresor udara 910-C-1D dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik diagram pareto kompresor udara 910-C-1D.

Dari gambar grafik diagram pareto diketahui *auxiliary oil pump switch* dan *vibration monitor* pada kompresor udara 910-C-1D memberikan kontribusi tingkat kekeritisan berdasarkan nilai RPN rata-rata.

Berdasarkan analisa instrumentasi dari keempat kompresor udara, dapat ditarik kesimpulan bahwa kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai masih dikatakan masih memenuhi standar operasi karena masih dibawah nilai standar resiko RPN yang ditetapkan sebesar 200. Gangguan terbanyak terjadi pada kompresor udara 910-C-1B dengan 12 komponen, kompresor udara 910-C-1C dengan 10 komponen, kompresor udara 910-C-1D dengan 8 komponen, dan yang terendah kompresor udara 910-C-1A dengan 7 komponen.

Untuk nilai RPN rata-rata tertinggi instrumen dari masing-masing kompresor didapatkan yaitu kompresor udara udara 910-C-1A pada instrumen *pressure gauge* sebesar 70, kompresor udara

910-C-1B pada *high oil temperature* dan kompresor udara 910-C-1C pada *high air temperature switch* sebesar 100, dan kompresor udara 910-C-1D terdapat pada *auxiliary oil pump switch* dan *vibration monitor* sebesar 75.

4.3 Analisa ketersediaan (*Availability*)

Availability merupakan tingkat ketersediaan atau kemampuan suatu sistem dapat beroperasi sebagaimana mestinya pada kurun waktu yang ditentukan, untuk dapat menentukan ketersediaan pada instrumentasi kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II dilakukan dengan cara:

Menentukan laju kegagalan (λ) instrumentasi kompresor udara selama 3 tahun dengan laju kegagalan komponen misal: *Auxiliary Oil Pump Switch* (910-C-1A) dengan laju kegagalan 1 maka didapat dengan persamaan *Mean Time To Failure* (MTTF):

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1} = 1$$

Keterangan:

1 tahun = 365 hari atau 8760 jam

1 hari = 24 jam

Waktu *standby* kompresor selama sebulan adalah:
= 7 hari atau $24 \times 7 = 168$ jam

Waktu *standby* pertahun = 168×12 bulan
= 2016 jam/tahun.

Waktu operasi pertahun = $8760 - 2016$
= 6744 jam/tahun.

$$\text{Waktu operasi 3 tahun} = 6744 \times 3 = 20232 \text{ jam.}$$

Waktu *standby* adalah waktu kompresor udara dalam keadaan *off* atau tidak beroperasi. Misal diketahui laju perbaikan AOPS selama 4 jam, maka didapat persamaan MTTR adalah μ /waktu operasi, karena periode waktu yang digunakan untuk penelitian selama 3 tahun, maka waktu operasi 3 tahun adalah $6744 \times 3 = 20232$ jam. Jadi untuk nilai *Mean time to Repair* (MTTR) adalah:

$$\text{MTTR} = 4 \text{ jam} = \frac{4}{20232} = 0,000197707$$

Berdasarkan persamaan diatas didapat nilai *availability* adalah:

$$\frac{\text{MTTF}}{\text{MTTF} + \text{MTTR}} = \frac{1}{1 + 0,000197706} = 0.99802332$$

Berdasarkan persamaan maka didapat nilai ketersediaan instrumentasi dari kompresor udara. Untuk analisa ketersediaan pada kompresor udara 910-C-1A dapat dilihat pada tabel 4.17 dibawah ini.

Tabel 4.17. Analisa ketersediaan instrumentasi pada kompresor udara 910-C-1A.

No	Komponen	λ	MTTF	Laju perbaikan (Menit)	Laju Perbaikan (Jam)	MTTR/3 Tahun	Availability
1	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	1	1	240	4	0,00019770	0,99980233
2	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	1	1	240	4	0,00019770	0,99980233
3	<i>Flow Indicator</i>	1	1	300	5	0,000247133	0,99975292
4	<i>High Oil Temperature Switch</i>	1	1	180	3	0,00014828	0,99985174
5	<i>Pressure Gauge</i>	3	0,33	300	5	0,00024713	0,99925167
6	<i>Trisen Load</i>	1	1	630	10,5	0,00051898	0,99948128
7	<i>Vibration Monitor</i>	3	0,33	2465	41,08	0,00203044	0,99388475

Untuk ketersediaan terendah pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1A terjadi pada komponen *vibraton monitor* dengan laju perbaikan 41,08 jam dan ketersediaan sebesar 0,99388475.

Untuk analisa ketersediaan pada kompresor udara 910-C-1B dapat dilihat pada tabel 4.18 dibawah ini.

Tabel 4.18. Analisa ketersediaan instrumentasi kompresor udara 910-C-1B.

No	Komponen	λ	MTTF	Laju perbaikan (Menit)	Laju Perbaikan (Jam)	MTTR/ 3 Tahun	Availability
1	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	1	1	240	1,75	0,00008649	0,99991351
2	<i>High Air Temperature Switch</i>	5	0,2	990	16,5	0,00081554	0,99593886
3	<i>High Oil Temperature Switch</i>	3	0,33	315	5,25	0,00025949	0,99921428
4	<i>High Pressure Steam Valve</i>	1	1	240	4	0,00019770	0,99980233
5	<i>Horn</i>	1	1	90	1,5	0,00007414	0,99992586
6	<i>Manually Operated Reducing Valve /MO1</i>	2	0,5	300	5	0,00024713	0,99950597
7	<i>Manually Operated Reducing Valve /MO2</i>	2	0,5	300	5	0,00024713	0,99950597
8	<i>Pressure Gauge</i>	1	1	120	2	0,00009885	0,99990115
9	<i>Pressure</i>	1	1	105	1,75	0,00008649	0,99991351

	<i>gauge discharge</i>						
10	<i>Pressure Gauge Inlet Steam</i>	2	0,5	240	4	0,00019770	0,99960474
11	<i>Solenoid Valve</i>	1	1	180	3	0,00014828	0,99985174
12	<i>Trisen Load</i>	1	1	630	10,5	0,000518980	0,99948128

Untuk ketersediaan terendah pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1B terjadi pada komponen *high air temperature switch* dengan laju perbaikan 16,5 jam dan ketersediaan sebesar 0,995938861.

Untuk analisa ketersediaan pada kompresor udara 910-C-1C dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.19. Analisa ketersediaan instrumentasi kompresor udara 910-C-1C.

No	Komponen	λ	MTTF	Laju perbaikan (Menit)	Laju Perbaikan (Jam)	MTTR/3 Tahun	Availability
1	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	1	1	180	3	0,00014828	0,999851742
2	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	1	1	240	4	0,00019770	0,999802332
3	<i>High Air Temperature Switch</i>	4	0,25	885	14,75	0,00072904	0,997092307
4	<i>High Oil Temperature</i>	1	1	160	2,6	0,00012850	0,999871507

	<i>Switch</i>						
5	<i>Manually Operated Reducating Valve/MO2</i>	2	0,5	270	4,5	0,00022242	0,999555358
6	<i>Pressure Gauge</i>	1	1	240	4	0,00019770	0,999802332
7	<i>Temperature Switch</i>	1	1	240	4	0,00019770	0,999802332
8	<i>Trisen Load</i>	3	0,33	990	16,5	0,00081554	0,997534760
9	<i>Unloading Control Valve</i>	2	0,5	315	5,25	0,00025949	0,999481289
10	<i>Viration Monitor</i>	2	0,5	270	4,5	0,00022242	0,999555358

Untuk ketersediaan terendah pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1C terjadi pada komponen *high air temperature switch* dengan laju perbaikan 14,75 jam dan ketersediaan sebesar 0,997092307.

Analisa ketersediaan pada kompresor udara 910-C-1D dapat dilihat pada tabel 4.20 dibawah ini.

Tabel 4.20. Analisa ketersediaan instrumentasi kompresor udara 910-C-1D.

No	Komponen	λ	MTTF	Laju perbaikan (Menit)	Laju Perbaikan (Jam)	MTTR/ 3 Tahun	Availability
1	<i>Auxiliary Oil Pump Switch</i>	2	0,5	330	5,5	0,00027184	0,99945660

2	<i>Control Surging</i>	1	1	150	2,5	0,00012356	0,99987644
3	<i>Differential Low oil</i>	1	1	180	3	0,00014828	0,99985174
4	<i>Discharge Pressure Indicator</i>	1	1	240	4	0,00019770	0,99980233
5	<i>High Air Temperature Switch</i>	5	0,2	765	12,75	0,00063019	0,99685894
6	<i>Pressure Gauge</i>	1	1	120	2	0,00009885	0,99990115
7	<i>Trisen Load</i>	1	1	660	11	0,00054369	0,99945660
8	<i>Vibration Monitor</i>	1	1	180	3	0,00014828	0,99985174

Ketersediaan terendah pada instrumentasi kompresor udara 910-C-1D terdapat pada komponen *high air temperature switch* dengan laju perbaikan 12,75 jam dan ketersediaan sebesar 0,99685894.

Berdasarkan hasil analisa ketersediaan (*availability*) instrumentasi dari ke empat kompresor udara di PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai dapat dikatakan bahwa ketersediaan instrumentasi kompresor udara masih memenuhi standar operasi perusahaan karena dari hasil analisa yang telah dilakukan tidak ada ketersediaan dari masing-masing komponen instrumen kompresor udara dibawah target ketersediaan perusahaan yaitu 98,82% atau 0,98.

BAB V PENUTUP

Berdasarkan hasil analisa keandalan instrumentasi kompresor udara PT. Pertamina (Persero) *Refinery Unit II Dumai* menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) didapat ditarik kesimpulan dan saran yaitu:

5.1. Kesimpulan

1. Setelah dilakukan analisa RPN terhadap keandalan instrumentasi pada kompresor udara PT. Pertamina (Persero) RU II menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) diketahui bahwa instrumentasi kompresor udara masih memenuhi setandar operasi karena nilai *Risk Priority Number* (RPN) masih dibawah 200.
2. Nilai RPN rata-rata tertinggi instrumen dari masing-masing kompresor yaitu kompresor udara 910-C1A pada instrumen *pressure gauge* sebesar 70, kompresor udara 910-C-1B dan 910-C-1C pada *high oil temperature switch* dan *high air temperature switch* sebesar 100, serta kompresor udara 910-C-1D terdapat pada *auxiliary oil pump switch* dan *vibration monitor* sebesar 75.
3. Ketersediaan terendah dari masing-masing kompresor udara diketahui, dengan instrumen kompresor udara 910-C-1A pada *vibration monitor* dengan sebesar 0,99388475, kompresor udara 910-C-1B pada *high air temperature switch* sebesar 0,995938861, kompresor udara 910-C-1C pada *high air temperature switch* sebesar 0,997092307 dan kompresor udara 910-C-1D pada *high air temperature switch* sebesar 0,99685894.

5.2. Saran

Perawatan dapat dilakukan khususnya pada komponen *High Oil Pressure Switch (HOTS)*, *High Air Pressure Switch (HATS)* *Vibration Monitor*. Selain menggunakan metode FMEA, penelitian ini dapat dilanjutkan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Critical Analysis (FMECA)* dan *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 1992. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry.* International Sematec.
- Anonymous. Kompresor Dan Sistim Udara Tekan.* [Online]. Available: kk.mercubuana.ac.id/files/14050-3-923317585222.doc. [Diakses 10 maret 2012].
- Antoni, Ronald. 2009. *Analisa Emergency Shutdown System (Esd) Boiler 940-B*". PT. Pertamina (Persero) RU II Dumai.
- Betrianis, dan Robby Suhendra. 2005. *Pengukuran Nilai Overall Equipment Efectiveness Sebagai Dasar Usaha Perbaikan Proses Manufaktur pada Lini Produksi.* Universitas Indonesia. [Online]. Available: citation.itb.ac.id/citeseerx [Diakses 20 November 2012].
- Dieter, George E. 2000. *Engineering Design: A Material and Processing Approach.* Singapore: McGraw-Hill Companies, inc.
- Ebeling, Charles E. 1997. *Reliability and Maintainability Engineering, McGraw-Hill international editions: Electrical engineering series.* Universitas Michigan.
- Febriani, Noni. 2007. *Analysis reliabily pada pumping unit dengan menggunakan metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) di PT. Chevron Pasific Indonesia.* Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Surabaya.
- FS-Elliott. 2005. *Pap Plus Plant Air Package.* [Online]. Available: www.fs-elliott.com/pdf/brochures/PAPPlus.pdfv [Diakses 15 Maret 2013].

- Gaspersz, Vincent. 1998. *Production Planning And Inventory Control*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Giu, Andi Rahman. 2008. *Analisis Kontrol Kualitas Kediklatan Menggunakan Diagram Pareto*". [Online]. Available: [bdkmanado.kemenag.go.id/file/dokumen/ArtikelTeori ParetoAndi.pdf](http://bdkmanado.kemenag.go.id/file/dokumen/ArtikelTeoriParetoAndi.pdf) [Diakses 16 Maret 2013].
- Hanlon, Paul C. 2001. *Compressor Handbook manual*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hendra, Eki Tri. 2012. *Analisis Keandalan Instrumentasi Fuel Oil System PLTG Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis di PT. PLN PLTD/G teluk lembu*". Pekanbaru.
- Julie, King. 2003. *Compressors CM4120*. [Online]. Available: www.chem.mtu.edu. [Diakses 7 Desember 2012].
- Kusma, Yuriadi. *Pusat Pengembangan Bahan Ajar-UMB: Failure Modes And Effects Analysis (FMEA)*". [Online]. Available: <http://www.kk.mercubuana.ac.id/files>. [Diakses 10 November 2012].
- Lange, Kevin A., dkk. 2003. *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Reference Manual*. Dailer Chrysler Corporation.
- Nurkertamanda, Denny dan Fauziyati Tri Wulandari. 2009. *Analisa Mode Dan Efek Kegagalan Failure Mode And Effects Analysis (FMEA) Pada Produk Kursi Lipat Chitose Yamato Haa*". Universitas Diponegoro Semarang,
- Octavia, Lily. 2010. *Aplikasi Metode Failure Mode And Effects Analysis (FMEA) Untuk pengendalian kualitas pada proses Heat Treatment PT. Mitsuba Indonesia*. Jakarta.

- Priyanta, Dwi. 2000. *Keandalan dan Perawatan*. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- R.E. McDermott, R.J Mikulak, and M.R. Beauregard. 2009. *The basics of FMEA 2nd Edition*. New York: Taylor and Francis Group.
- Samadikun, dkk.1889. *Sistem Instrumentasi Elektronika*, ITB, Bandung
- United Technologies Elliott.1977. Dumai Refinery Expansion Project Dumai-Indonesia: Technical Manual Prepared United Technologies Elliot, Driver Frame CYRPG Turbin. Mitsui Madrid: Tecnicas Reunidas SA.*
- United Technologies Elliott.1977. Dumai Refinery Expansion Project Dumai-Indonesia:Technical Manual Prepared United Technologies Elliot, Driver Frame CYRPG Motor. Mitsui Madrid: Tecnicas Reunidas SA.*
- US Department of Energy (US DOE). 2003. *Energy Efficiency and Renewable Energy. Improving Compressed Air System Performance*. DEO/GO-102003-1822.
- Waradiba, Safarina. 2007. *Analisa reliability instrument menggunakan metode Failure Modes And Effect Analysis (FMEA) pada Boiler Feed Pump Turbin (BEPT) untuk memperbaiki kinerja terencana di PT IPMOMI*. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.