



THESIS

ANALISIS RESIKO PADA TIGA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI INDONESIA MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS (FTA) DAN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

**FARIZ HIDAYAT
NRP. 2312 201 902**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D.**

**Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses
Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2013**



THESIS

RISK ANALYSIS OF THREE TYPES OF GEOTHERMAL POWER PLANT IN INDONESIA BY USING FAULT TREE ANALYSIS (FTA) AND FAILURE MODES AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

**FARIZ HIDAYAT
NRP. 2312 201 902**

**Advisor
Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D.**

**Master Program
Chemical Engineering Department
Industrial Faculty of Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Oleh :

Fariz Hidayat
NRP. 2312201902

Tanggal Ujian : 16 Juli 2014
Periode Wisuda : September 2014

Disetujui Oleh :

1. Prof. Ir. Renanto Handogo, MS., PhD (Pembimbing)
NIP. 195307191978031001
2. Prof. Dr. Ir. Mahfud, DEA (Penguji)
NIP. 196108021986011001
3. Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng (Penguji)
NIP. 196301221987011001
4. Juwari Purwo S., S.T., M.Eng., Ph.D. (Penguji)
NIP. 197306151999031003

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP. 196404051990021001

ANALISA RESIKO PADA TIGA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI INDONESIA MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS (FTA) - FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

Nama Mahasiswa : Fariz Hidayat

2312201902

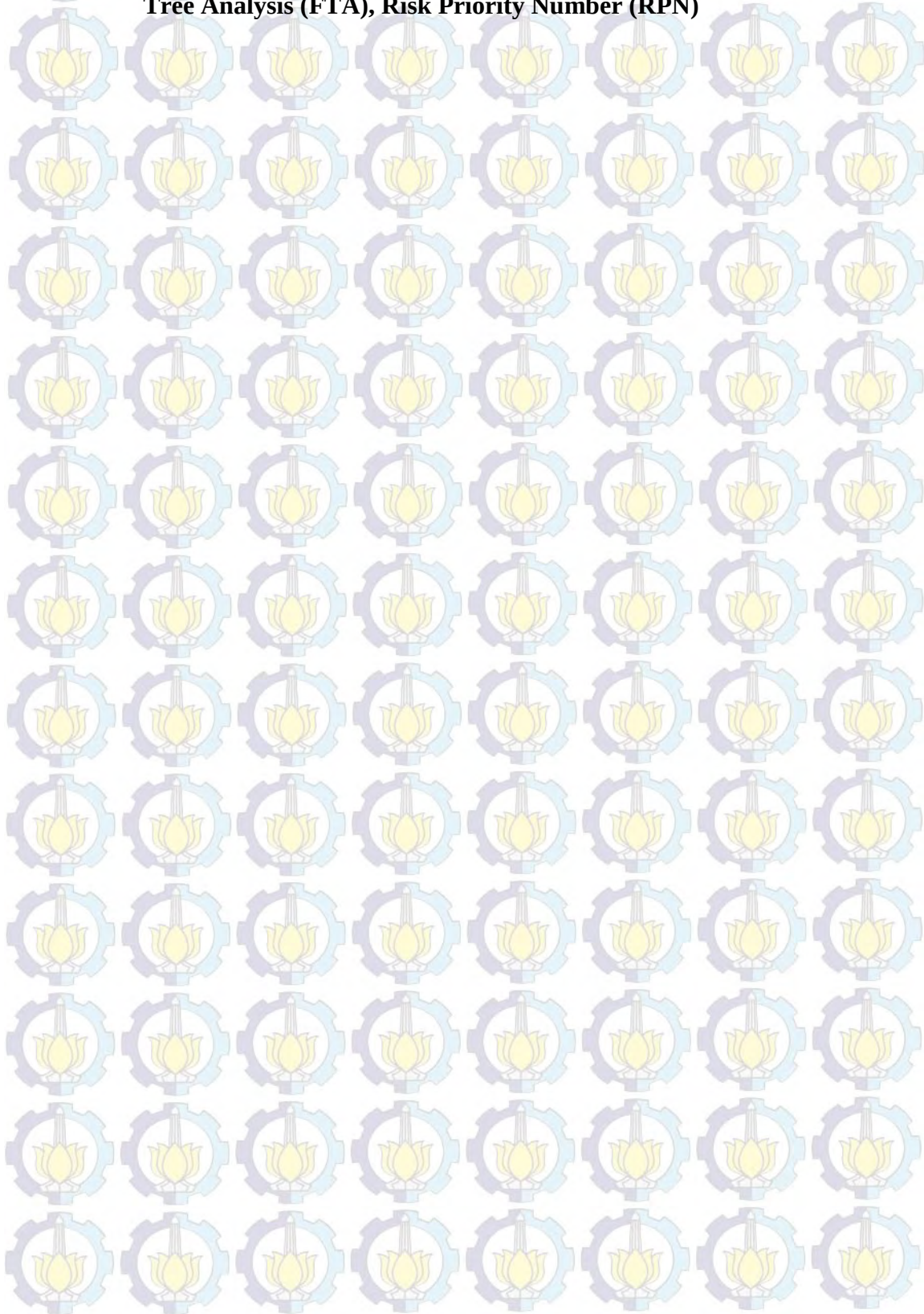
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Renanto Handogo, M.S., Ph.D.

RINGKASAN

Energi panas bumi adalah energi panas yang tersimpan dalam batuan di bawah permukaan bumi dan fluida yang terkandung di dalamnya. Energi panas bumi telah dimanfaatkan untuk pembangkit listrik di Itali sejak tahun 1913 dan di New Zealand sejak tahun 1958. Energi panas bumi ini sebenarnya memiliki banyak kelebihan antara lain bersifat ramah lingkungan bila dibandingkan dengan jenis energi lainnya terutama yang berasal dari hasil pembakaran bahan bakar fosil (fosil fuel). Emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari panas bumi jauh lebih kecil, sehingga bila dikembangkan akan mengurangi bahaya efek rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global. Sampai saat ini di Indonesia terdapat 265 lokasi panas bumi yang tersebar di sepanjang jalur vulkanik yang membentang dari P. Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Maluku serta daerah-daerah non vulkanik seperti Kalimantan dan Papua. Sebagian besar lokasi panas bumi merupakan daerah panas bumi yang berasosiasi dengan lingkungan busur vulkanik kuarter dan sisanya adalah berasosiasi dengan lingkungan non vulkanik yang berada di luar busur vulkanik tersebut. Tersebar nya lokasi panas bumi juga akan mempengaruhi karakteristik Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. Dengan karakteristik lokasi panas bumi di Indonesia, beragam tipe pembangkit, tentunya akan memerlukan *process safety* yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk identifikasi *process safety* tiap jenis atau sistem pembangkit geothermal dengan menggunakan metode Fault Tree Analysis dan Failure mode and Effect Analysis sehingga dapat meminimalisir terjadinya sebuah kecelakaan kerja. Analisa metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dapat memberikan rekomendasi untuk penanganan yang tepat dari bagian sistem yang mempunyai nilai risiko paling tinggi serta kemampuan pencegahan atau pengurangan terhadap risiko atau yang disebut sebagai *Safety Integrity Level* (SIL). Untuk meningkatkan SIL ada beberapa hasil yang dapat dilakukan seperti meningkatkan *test interval*, menggunakan *safety redundant*, mengganti nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) atau *failure rates* yang rendah Langkah pengerjaan metode FMEA yang dilakukan disini adalah dengan studi literatur serta survey, pembuatan *equipment block diagram*, identifikasi efek dan penyebab, kemudian menentukan berbagai tingkat severity, occurrence serta detection rate guna memperoleh Risk Priority Number (RPN). Dengan adanya RPN ini akan memudahkan para *engineer* untuk menentukan prioritas safety pada item tertentu sehingga dapat meminimalisir kesalahan dan dampaknya. Tingkat Risk Priority Number tertinggi Severity dan occurrence telah diilustrasikan untuk merepresentasikan prioritas tertinggi pada moda kesalahan yang berbeda, dengan team review untuk mendapatkan corrective action tiap moda kesalahan. Sesuai data, tingkat prioritas tertinggi adalah pada masalah korosi dengan RPN 532. Untuk

RPN terendah yaitu mengacu pada *rotor vibration* serta loose stator coil dengan RPN 24. Seluruh *recommended action* telah disajikan pada FMEA worksheet tiap sistem.

Kata kunci: Energi Panas Bumi, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), Risk Priority Number (RPN)



RISK ANALYSIS ON THREE SYSTEM OF INDONESIA GEOTHERMAL POWER PLANT USING FAULT TREE ANALYSIS (FTA) AND FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

Student Name : Fariz Hidayat 2312201902

Advisor : Prof. Ir. Renanto Handogo, M.S., Ph.D.

ABSTRACT

Geothermal energy is thermal energy stored in the rocks below the earth's surface and the fluid contained in. Geothermal energy has been exploited for electricity generation in Italy since 1913 and in New Zealand since 1958. This geothermal energy actually has many advantages such as environmentally friendly when compared to other types of energy derived mainly from the burning of fossil fuels (fossil fuel). CO₂ emissions generated from geothermal energy is much smaller, so that when developed will reduce the dangers of the greenhouse effect that causes global warming. In Indonesia, there are 265 geothermal locations scattered along the volcanic line that stretches from Sumatra, Java, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, and Maluku as well as non-volcanic regions such as Kalimantan and Papua. Most locations geothermal energy is geothermal areas associated with volcanic arc environment and the remaining quarter is associated with non-volcanic environments that is outside the volcanic arc. Spread of geothermal sites will also affect the characteristics of the Geothermal Power Plant. The location where the temperature will affect the rate and pressure of the steam that is divided into three types of plants; dry steam, flash steam and binary cycle type. This will affect the type of plant or process system process flow of a geothermal power plant (Kanoglu, 2002). With the characteristics of geothermal sites in Indonesia, various types of plants, of course, will require a different problem of process safety. This study aims to identify each type of process safety or geothermal power system by using the method of Failure mode and Effect Analysis (FMEA) so as to minimize the occurrence of an accident. Method used is to study literature and surveys, breakdown an equipment manufacturing block diagram, identifying the effects and causes, then determine various levels of severity, occurrence and detection rate in order to obtain the Risk Priority Number (RPN). With the RPN, will make it easier for engineers to determine the priority of safety on certain items so as to minimize errors and their impact.

Kata kunci: Geothermal Energy, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), Risk Priority Number (RPN)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Tuhan YME karena berkat Rahmat dan karunia-Nya yang telah memberi segala kemudahan dan kekuatan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tesis ini yang berjudul "Analisis Resiko Pada Tiga Sistem Geothermal di Indonesia Menggunakan Metode FTA dan FMEA" yang merupakan salah satu syarat kelulusan bagi mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Keberhasilan penulisan Tesis ini tidak lepas dari dorongan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Renanto Handogo, MS., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir dan Koordinator Program Studi Pascasarjana.
2. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia.
3. Bapak Agus Pristiono dan Ibu Alfiah Said Alkatiri sebagai orang tua yang telah banyak memberikan dukungan baik moral maupun spiritual.
4. Teman-teman Pascasarjana Teknik Kimia ITS atas dukungannya.
5. Rekan-rekan Fast Track Teknik Kimia 2012 atas dukungan selama mengikuti program Fast Track.
6. Seluruh punggawa Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses yang memberikan suasana kondusif dalam pengerjaan Tugas Akhir.
7. Pihak DIKTI, Karya Salemba Empat dan Total E&P Indonesia atas bantuan beasiswa selama masa studi di Teknik Kimia.
8. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian Tesis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga segala kebaikan dan keikhlasan yang telah diberikan mendapat balasan dari Tuhan YME. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan dan untuk penelitian di masa yang akan datang.

Surabaya, 8 Agustus 2014

Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	
Abstrak	i
Abstract	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar	vii

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Energi Panas Bumi	4
II.2 Sistem dan Potensi Panas Bumi di Indonesia	7
II.2.1 Sistem Panas Bumi Energi Uap Kering	9
II.2.2 Sistem Panas Bumi Energi Air Panas	10
II.2.3 Sistem Panas Bumi Energi Batuan Panas	11
II.3 Process Safety	12
II.4 Safety Instrumented System	21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Metoda Pengumpulan Data	36
III.2 Pembuatan Equipment Block Diagram	36
III.3 Pembuatan Daftar Safety Instrumented Function	36
III.3 Analisa Dengan Pendekatan Fault Tree Analysis	36
III.3 Identifikasi Efek dan Penyebab	36

III.4	Menentukan Tingkat Severity, Occurrence dan Detection	37
III.5	Analisis Hasil Perhitungan Kuantitatif	38
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1	Equipment Block Diagram	40
IV.2	Penghitungan SIL	42
IV.3	Metode Fault Tree Analysis	44
IV.4	Assesment Untuk Geothermal Uap Basah	45
IV.5	Identifikasi Efek dan Penyebab	54
IV.6	Menentukan Tingkat Severity, Occurrence dan Detection	55
IV.7	Pembahasan	59
IV.8	Assesment untuk Geothermal Air Panas	60
BAB V	KESIMPULAN	73
DAFTAR PUSTAKA		
DAFTAR NOTASI		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Temperatur di berbagai lapisan bumi	4
Gambar 2.2	Binary Cycle Geothermal Power Plant	6
Gambar 2.3	Geothermal Reservoir	6
Gambar 2.4	Potensi energy geothermal di Indonesia	7
Gambar 2.5	Skema proses sistem panas bumi energi uap basah	10
Gambar 2.6	Skema pembangkit panas bumi sistem air panas	11
Gambar 2.7	Skema panas bumi energy batuan panas.	12
Gambar 3.1	Flowchart Metode Penelitian FMEA	18
Gambar IV.1	Equipment Block Diagram	41
Gambar IV.2	Konfigurasi valve 1oo2	47
Gambar IV.3	Konfigurasi valve 2oo2	48
Gambar IV.4	Konfigurasi valve 2oo3	49
Gambar IV.5	Risk Priority Number	49

DAFTAR NOTASI

d	Input gangguan
G_c	Fungsi transfer pengendali
G_{c1}	Fungsi transfer pengendali setpoint
G_{c2}	Fungsi transfer pengendali gangguan
G_d	Fungsi transfer gangguan
G_p	Fungsi transfer proses
G_{pm}	Fungsi transfer model
k	Gain proses
s	Domain laplace
S	<i>Sensitivity function</i>
T	<i>Complementary sensitivity function</i>
y	Output
y_{sp}	Set point
α	<i>Lead constant dari pengendali gangguan</i>
λ	<i>Filter time constant</i>
θ	<i>Time delay</i>
τ	<i>Time constant proses</i>
ω	Frekuensi

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Tipe sistem panas bumi di Indonesia dan Estimasi awal potensi energinya	9
Tabel III.1	Severity Rating	16
Tabel III.2	Occurrence Rating	16
Tabel III.3	Detection Rating	17
Tabel IV.1	Contoh Spesifikasi Level Switch	41
Tabel IV.2	Contoh Spesifikasi Pressure Switch	41
Tabel IV.3	Contoh Spesifikasi LCP	42
Tabel IV.4	Contoh Spesifikasi CCP	42
Tabel IV.5	Contoh Spesifikasi SDV	43
Tabel IV.6	PFD masing-masing switch	45
Tabel IV.7	PFD switch separator berdasarkan perubahan TI	46
Tabel IV.8	PFD SIF Separator berdasarkan perubahan TI	46
Tabel IV.9	PFD Masing-masing platform	46
Tabel IV.10	PFD SIF Separator dengan safety redundant	51
Tabel IV.11	PFD masing masing SIF dengan safety redundant	52
Tabel IV.12	PFD masing masing SIF dengan redundancy dan perubahan TI 1 bulan	53
Tabel IV.13	PFD masing masing SIF dengan redundancy dan perubahan TI 8 bulan	53
Tabel IV.14	PFD masing masing SIF dengan redundancy dan perubahan TI 12 bulan	54
Tabel IV.15	FMEA worksheet sistem steam separator and gathering	56
Tabel IV.16	FMEA worksheet sistem turbin	57
Tabel IV.17	FMEA worksheet sistem pendingin	57
Tabel IV.18	FMEA worksheet sistem generator dan listrik	58
Tabel IV.19	FMEA worksheet sistem instrument dan control	58

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Energi panas bumi adalah energi panas yang tersimpan dalam batuan di bawah permukaan bumi dan fluida yang terkandung di dalamnya. Energi panas bumi telah dimanfaatkan untuk pembangkit listrik di Itali sejak tahun 1913 dan di New Zealand sejak tahun 1958. Pemanfaatan energi panas bumi untuk sektor non-listrik (direct use) telah berlangsung di Iceland sekitar 70 tahun (Boudvarsson, 1989). Meningkatnya kebutuhan akan energi serta meningkatnya harga minyak hingga saat ini telah memacu negara-negara lain, termasuk Amerika Serikat, untuk mengurangi ketergantungan mereka pada minyak dengan cara memanfaatkan energi panas bumi. Saat ini energi panas bumi telah dimanfaatkan untuk pembangkit listrik di 24 negara, termasuk Indonesia. Disamping itu fluida panas bumi juga dimanfaatkan untuk sektor non-listrik di 72 negara, antara lain untuk pemanasan ruangan, pemanasan rumah kaca, pengeringan hasil produk pertanian, pemanasan tanah, pengeringan kayu dan kertas.

Energi panas bumi ini sebenarnya memiliki banyak kelebihan antara lain bersifat ramah lingkungan bila dibandingkan dengan jenis energi lainnya terutama yang berasal dari hasil pembakaran bahan bakar fosil (fosil fuel). Emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari panas bumi jauh lebih kecil, sehingga bila dikembangkan akan mengurangi bahaya efek rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global. Sumber energi panas bumi ini juga cenderung tidak akan habis, karena proses pembentukannya yang terus menerus selama kondisi lingkungannya (geologi dan hidrologi) dapat terjaga keseimbangannya (Henley, 1983). Mengingat energi panas bumi ini tidak dapat diekspor, maka pemanfaatnya diarahkan untuk mencukupi kebutuhan energi domestik, dengan demikian energi panas bumi akan menjadi energi alternative andalan dan vital karena dapat mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap sumber energi fosil yang kian menipis dan dapat memberikan nilai tambah dalam rangka optimasi pemanfaatan aneka ragam sumber energi di Indonesia.

Potensi energi panas bumi di Indonesia dipastikan sangat besar dengan kapasitas energi listrik yang bisa dihasilkan mencapai 29.000 Mega Watt atau setara 40% potensi energi panas bumi di dunia. Dari kapasitas energi panas bumi yang ada di Indonesia itu, 22% diantaranya atau sekitar 6.096 MW berlokasi di wilayah Provinsi Jawa Barat. Sampai saat ini

di Indonesia terdapat 265 lokasi panas bumi yang tersebar di sepanjang jalur vulkanik yang membentang dari P. Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Maluku serta daerah-daerah non vulkanik seperti Kalimantan dan Papua. Sebagian besar lokasi panas bumi merupakan daerah panasbumi yang berasosiasi dengan lingkungan busur vulkanik kuarter dan sisanya adalah berasosiasi dengan lingkungan non vulkanik yang berada di luar busur vulkanik tersebut (Badan Geologi, 2009).

Tersebarnya lokasi panas bumi juga akan mempengaruhi karakteristik Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. Dimana lokasi ini akan mempengaruhi tingkat temperature maupun tekanan uap sehingga terbagi menjadi tiga tipe tipe pembangkit; dry steam, flash steam dan tipe Binary cycle. Tipe Pembangkit ini akan mempengaruhi sistem proses atau process flow sebuah pembangkit geothermal (Kanoglu, 2002).

Dengan berbagai keuntungan yang ditawarkan, pembangkit geothermal juga tidak sedikit masalah, terutama masalah process safety. Effluent, Emisi udara, Solid Waste, Well Blow Outs hingga Pipeline faillures adalah masalah yang sering terjadi pada Pembangkit Geothermal. Salah satu kejadian terbaru adalah meledaknya pipa PLTP Dieng yang meledak sehingga menewaskan 14 orang pekerja (Tempo, 2007). Dengan karakteristik lokasi panas bumi di Indonesia, beragam tipe pembangkit, tentunya akan memerlukan process safety yang berbeda. Oleh karena itu penulis bertujuan mengangkat topik Process Safety dengan judul “Analisis Resiko Pada Tiga Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Indonesia Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Failure Modes and Effect Analysis (FMEA)”.

Failure Modes and Effect Analysis adalah sebuah teknik yang efisien yang digunakan untuk proyek-proyek rekayasa industri untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya kesalahan, mengurangi dan bahkan mengeliminasi potensial kesalahan saat berlangsungnya desain sistem proses. Tujuan dari FMEA ini adalah untuk analisis desain relative karakteristik pada proses plant manufaktur untuk meyakinkan bahwa produk sesuai dengan kebutuhan dan keinginan pelanggan (Villacourt, 1992).

Masalah utama dengan penggunaan metode FMEA adalah subjektivitas yang terkandung dalam pelaksanaan prosedurnya. Setiap Man Power akan memiliki pandangan tersendiri dalam penentuan skor bahaya maupun kemungkinan deteksinya (Odenholf, 2011).

Untuk mengurangi subjektivitas metode FMEA maka dibutuhkan sebuah metode kuantitatif. Salah satu metode kuantitatif yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisa, dan menetapkan tingkat risiko bahaya yaitu dengan metode kuantitatif dan metode kualitatif. Dari hasil analisa bahaya suatu sistem akan dihasilkan lebih baik dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dimana dapat memberikan rekomendasi untuk penanganan yang tepat dari bagian sistem yang mempunyai nilai risiko paling tinggi sebagai upaya tindakan pencegahan kecelakaan

Hingga saat ini masih belum ada publikasi mengenai aplikasi FMEA dan FTA pada pembangkit Geothermal berdasarkan tipe-tipe pembangkitnya. Akan tetapi, metode yang digunakan telah digunakan untuk konsumsi sendiri di Pembangkit Geothermal (Feilli, 2013). Dalam karya ini metode FMEA selain dikonsentrasikan untuk identifikasi failure modes, koreksi dan analisis mendalam juga akan dilakukan untuk mengeliminir atau mengurangi Likelihood of Failure Modes. Untuk mendukung itu semua, maka semua variasi mekanisme kerusakan dan kesalahan akan dicatat. Sehingga, metode ini akan memberikan dampak yang besar pada pengurangan resiko kesalahan di pembangkit Geothermal.

I.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang di atas didapatkan sebuah permasalahan urgent yang akan diangkat dalam penelitian ini. Dengan lokasi pembangkit listrik Geothermal di Indonesia yang beragam, Indonesia memiliki lebih dari satu sistem pembangkit listrik Geothermal. Permasalahannya adalah prioritas sistem tingkat keamanan proses akan berbeda antar sistem. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah analisis resiko untuk identifikasi permasalahan tiap sistem pembangkit Geothermal sehingga dapat meminimalisir tingkat kecelakaan atau failure mode. Metoda untuk analisis resiko masih banyak yang menggunakan unsur subjektivitas yang sangat tinggi, oleh karena itu juga diperlukan metoda baru untuk meminimalisir tingkat subjektivitas dengan menggunakan metode FTA.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan gambaran berbagai moda kesalahan di tiap jenis atau sistem pembangkit Geothermal di Indonesia dengan menggunakan metoda Failure Mode and Effect

Analysis (FMEA) dengan meminimalisir unsur subjektivitasnya dengan penambahan metode kuantitatif FTA.

2. Mendapatkan tingkat Safety Integrity Level (SIL), *Severity*, Frekuensi kesalahan terbesar, serta Risk Priority Number (RPN) pada tiap-tiap jenis sistem pembangkit listrik Geothermal.
3. Mendapatkan safety redundant dan metode terbaik untuk peningkatan SIL sehingga dapat mengurangi peluang terjadinya moda kesalahan.

I.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

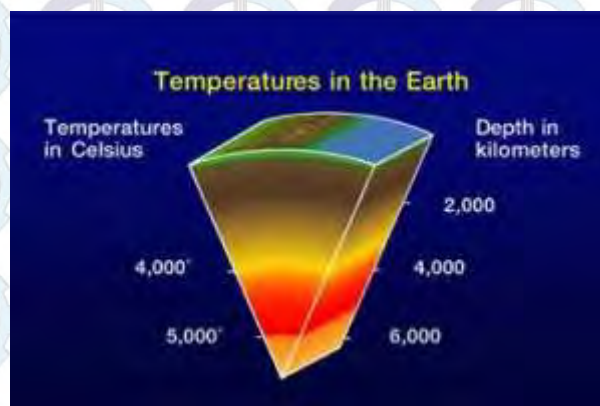
1. Bagi Industri, penelitian ini dapat dijadikan rujukan dalam hal Process Safety pada Industri Pembangkit Listrik Geothermal.
2. Penelitian ini juga dapat membantu mengurangi terjadinya jumlah kecelakaan kerja yang ada di Pembangkit Listrik Geothermal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Energi Panas Bumi

Energi panas bumi atau geothermal energi adalah energi panas yang terdapat di dalam bumi. Suhu lapisan bumi bertambah tiga derajat celcius setiap kedalaman bertambah seratus meter (Gambar II.1). Hal ini terjadi karena pada inti bumi terdapat magma yang memiliki temperatur sekitar seribu derajat celcius. Magma dapat keluar hingga ke permukaan bumi seperti pada gunung berapi. Lapisan bumi yang berada dekat dengan magma akan menerima panas dan mengalami peningkatan temperatur. Energi panas ini dapat dikonversikan dan dimanfaatkan untuk kebutuhan hidup manusia (Ballard, 2000).



Gambar II.1 Temperatur di berbagai lapisan bumi (Ballard, 2009)

Energi panas bumi merupakan salah satu energi alternatif selain energi fosil. Energi panas bumi juga merupakan energi yang terbarukan dan ramah lingkungan karena emisi yang dihasilkan mengandung polutan yang lebih sedikit dibandingkan dengan energi fosil. Energi panas bumi merupakan energi alternatif yang sangat menjanjikan karena panas yang berpindah dari dalam bumi diperkirakan sekitar empat puluh dua juta megawatt (42 TW) yang mengalir secara terus menerus hingga miliaran tahun (Barbier, 2002). Indonesia merupakan negara dengan potensi geothermal terbesar di dunia yaitu sebesar 28.944 MWe (megawatt elektrik).

Energi panas bumi sudah lama dikembangkan dan digunakan. Energi panas bumi pertama kali dimanfaatkan untuk pembangkit listrik pada tahun 1904 di Italia. Pencarian energi panas bumi di Indonesia pertama kali dilakukan pada tahun 1918 di daerah kawah Kamojang dan pada tahun 1926 hingga 1929 dimulai pengeboran. Eksplorasi tersebut terhenti karena pecahnya perang dunia dan perang kemerdekaan Indonesia. Kegiatan eksplorasi secara luas dilakukan pada tahun 1972. Direktorat vulkanologi dan Pertamina melakukan survey di seluruh wilayah Indonesia dengan bantuan pemerintah Perancis dan Selandia Baru. Dari survey tersebut, diketahui bahwa di Indonesia terdapat 256 prospek panas bumi yaitu sepanjang jalur vulkanik dari Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Maluku, dan Sulawesi. Pada tahun 1983 PLTPB (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi) Unit 1 Kamojang yang memiliki kapasitas 30 MW diresmikan oleh presiden Soeharto. PLTPB di kamojang saat ini memiliki daya bangkitan 200 MW yang dihasilkan oleh empat unit PLTPB. Energi panas bumi yang dimanfaatkan di Indonesia saat ini adalah 1,2 Mwe atau 4% dari potensi panas bumi di Indonesia (Kasbani, 2011).

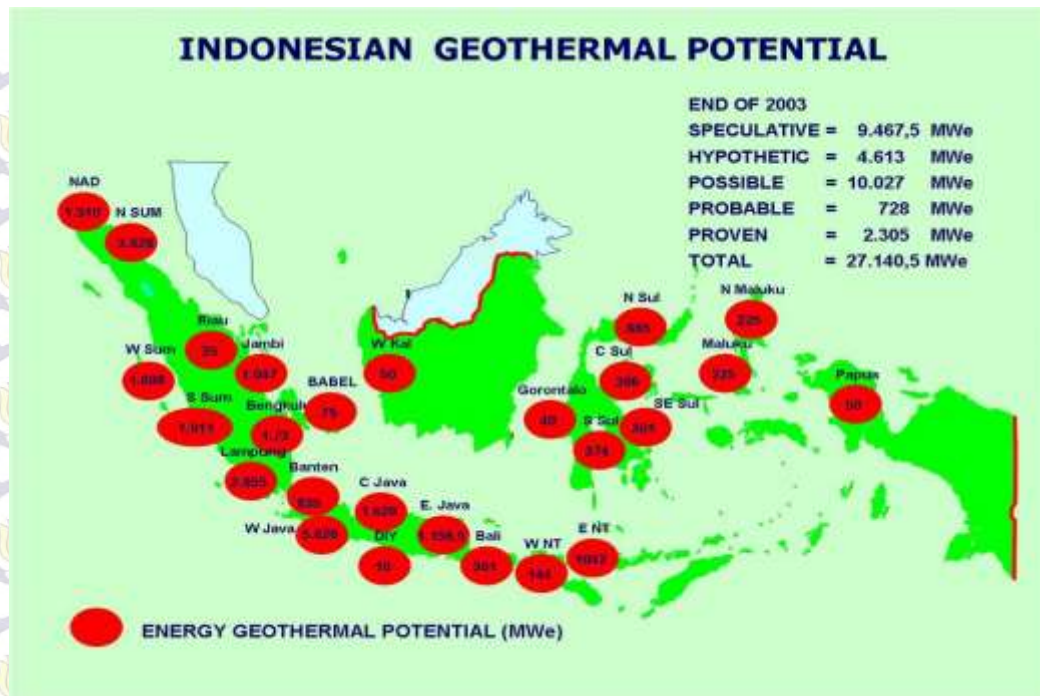
Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) pada umumnya hampir sama dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Bedanya PLTU menggunakan batu bara untuk mengubah air menjadi uap, sedangkan PLTP menggunakan panas bumi untuk menghasilkan uap. Panas bumi ini diperoleh dengan melakukan pengeboran hingga kedalaman tertentu. Uap yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan turbin. Turbin ini akan menggerakkan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Setelah keluar dari turbin, suhu dan tekanan uap akan berkurang dan akan dikondensasikan. Cairan pendingin kemudian didinginkan di *cooling tower*. Air yang keluar dari *cooling tower* akan diinjeksikan kembali ke dalam tanah untuk dipanaskan kembali. Air yang diinjeksikan akan berubah menjadi uap panas yang akan digunakan kembali untuk menggerakkan turbin dan generator (Bogie, 2005).

Beberapa PLTPB yang sudah beroperasi di Indonesia antara lain adalah PLTPB Sibayak (12 MW), Salak (375 MW), Wayang Windu (227 MW), Kamojang (200 MW), Darajat (255 MW), Dieng (60 MW), dan Lahendong (60 MW). Sebagian besar panas bumi di Indonesia digarap oleh Pertamina Geothermal Energi. PLTPB Salak dan Darajat dioperasikan oleh KOB-Chevron Geothermal, PLTPB dieng dioperasikan Geo Dipa Energi, dan PLTPB Wayang Windu dioperasikan oleh KOB-Star Energi Geothermal namun operator-operator tersebut beroperasi dengan lisensi dari Pertamina Geothermal Energi (ESDM, 2011).

Panas bumi merupakan energi yang relatif murah. Biaya operasional energi panas bumi sebesar 0,06 – 0,08 dollar AS per kWh. Sedangkan Investasi yang diperlukan untuk membangun pembangkit listrik tenaga panas bumi sebesar 800 – 3000 dollar AS per kW. Di seluruh dunia telah dibangun PLTPB dengan kapasitas daya terpasang 8,0 GW yang menyebar di Kawasan Amerika 3,8 GW, Asia 2,9 GW, Eropa 0,9 GW dan Pasifik 0,4 GW. Kapasitas daya terpasang ini mengalami pertumbuhan rata-rata 5% per tahun. Negara dengan kapasitas daya terpasang PLTPB terbesar adalah Amerika Serikat sekitar 3 GW, disusul negara tetangga kita, Filipina sekitar 1,9 GW. Seiring meningkatnya kebutuhan energi nasional dan merebaknya isu-isu lingkungan, Indonesia harus mengembangkan dan menambah investasi untuk energi panas bumi.

2.2 Sistem dan Potensi Panas Bumi di Indonesia

Posisi Kepulauan Indonesia yang terletak pada pertemuan antara tiga lempeng besar (Eurasia, Hindia Australia, Pasifik) menjadikannya memiliki tatanan tektonik yang kompleks (Gambar II.2). Subduksi antar lempeng benua dan samudra menghasilkan suatu proses peleburan magma dalam bentuk partial melting batuan mantel dan magma mengalami diferensiasi pada saat perjalanan ke permukaan proses tersebut membentuk kantong – kantong magma (silicic / basaltic) yang berperan dalam pembentukan jalur gunungapi yang dikenal sebagai lingkaran api (ring of fire). Munculnya rentetan gunung api Pasifik di sebagian wilayah Indonesia beserta aktivitas tektoniknya dijadikan sebagai model konseptual pembentukan sistem panas bumi Indonesia (ESDM, 2009).



Gambar II.2 Potensi Energi Geotermal di Indonesia (ESDM, 2010)

Berdasarkan asosiasi terhadap tatanan geologinya, sistem panas bumi di Indonesia dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu : vulkanik, vulkano – tektonik dan Non-vulkanik. Sistem panas bumi vulkanik adalah sistem panas bumi yang berasosiasi dengan gunungapi api Kuarter yang umumnya terletak pada busur vulkanik Kuarter yang memanjang dari Sumatra, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara, sebagian Maluku dan Sulawesi Utara. Pembentukan sistem panas bumi ini biasanya tersusun oleh batuan vulkanik menengah (andesit-basaltis) hingga asam dan umumnya memiliki karakteristik reservoir sekitar 1,5 km dengan temperature reservoir tinggi ($\sim 250 - \leq 370^{\circ}\text{C}$) (Yari, 2010). Pada daerah vulkanik aktif biasanya memiliki umur batuan yang relatif muda dengan kondisi temperature yang sangat tinggi dan kandungan gas magmatik besar. Ruang antar batuan (permeabilitas) relatif kecil karena faktor aktivitas tektonik yang belum terlalu dominan dalam membentuk celah-celah atau rekahan yang intensif sebagai batuan reservoir. Daerah vulkanik yang tidak aktif biasanya berumur relatif lebih tua dan telah mengalami aktivitas tektonik yang cukup kuat untuk membentuk permeabilitas batuan melalui rekahan dan celah yang intensif. Pada kondisi tersebut biasanya terbentuk temperatur menengah – tinggi dengan konsentrasi gas magmatik yang lebih sedikit. Sistem vulkanik dapat dikelompokkan lagi menjadi beberapa tipe, misal : sistem tubuh gunung api strato jika 28.112 MWe 68 hanya terdiri dari satu gunungapi utama,

sistem kompleks gunung api jika terdiri dari beberapa gunungapi, sistem kaldera jika sudah terbentuk kaldera dan sebagainya. Hal ini untuk menunjukkan bahwa tipe yang sama akan memberikan potensi yang jauh berbeda jika lingkungannya berbeda. Sistem panas bumi vulkano – tektonik, sistem yang berasosisasi antara struktur graben dan kerucut vulkanik, umumnya ditemukan di daerah Sumatera pada jalur sistem sesar sumatera (Sesar Semangko). Lingkungan non-vulkanik di Indonesia bagian barat pada umumnya tersebar di bagian timur sundaland (paparan sunda) karena pada daerah tersebut didominasi oleh batuan yang merupakan penyusun kerak benua Asia seperti batuan metamorf dan sedimen. Di Indonesia bagian timur lingkungan non-vulkanik berada di daerah lengan dan kaki Sulawesi serta daerah Kepulauan Maluku hingga Irian didominasi oleh batuan granitik, metamorf dan sedimen laut (Kasbani, 2011). Tabel 2.1 menjelaskan mengenai tipe dan sistem panas bumi yang ada di Indonesia.

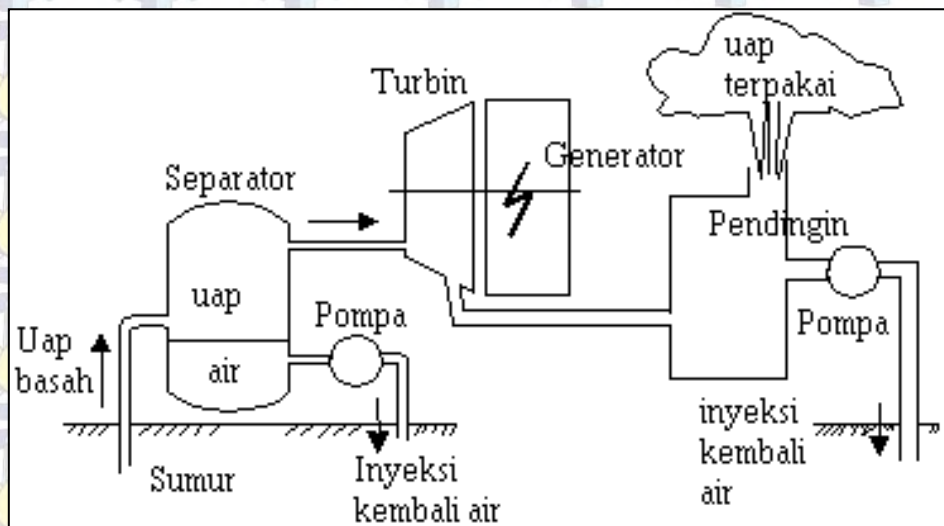
Tabel 2.1 Hubungan antara tipe sistem panas bumi di Indonesia dan Estimasi Awal potensi energinya (Kasbani, 2011).

	Tipe	Temperatur/Entalpi	Potensi Energi	Contoh
Vulkanik	Gunung api strato tunggal	Tinggi ~ 250 C	Sedang 50 - 100 MW	G.Lawu, G. Tampomas, G. Endut
	Komplek Gunung api	Tinggi ~ 250 C	Besar > 100 MW	G. Salak, G. Wayang Windu, G. Arjuno Welirang
	Kaldera	Tinggi ~ 250 C	Besar > 100 MW	Kamojang, Darajat, Ulumbu, Sibayak
Vulkano-Tektonik	graben-kerucut vulkanik	Sedang-Tinggi 200-250 C	Sedang - Besar 50 - 100 MW	Sarula, Bonjol, Danau Rano, Sipaholon
Non-Vulkanik	Intrusi	Rendah-Sedang ~ 200 C	Kecil - Sedang ~ 50 MW	Lapangan-lapangan di Sulsel, Sulteng, dan Sultra, P. Buru

Selain pembagian berdasarkan lokasi, sistem geothermal dibagi berdasarkan energi asalnya, yakni sistem energi panas bumi uap kering, air panas, serta batuan panas (Yari, 2010).

2.2.1 Sistem Panas Bumi Uap Basah

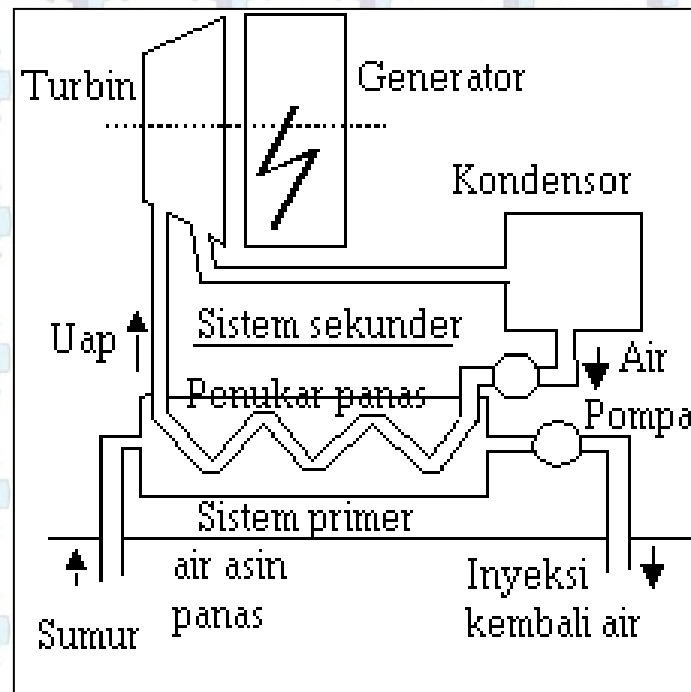
Pemanfaatan energi panas bumi yang ideal adalah bila panas bumi yang keluar dari perut bumi berupa uap kering, sehingga dapat digunakan langsung untuk menggerakkan turbin generator listrik. Namun uap kering yang demikian ini jarang ditemukan termasuk di Indonesia dan pada umumnya uap yang keluar berupa uap basah yang mengandung sejumlah air yang harus dipisahkan terlebih dulu sebelum digunakan untuk menggerakkan turbin. Jenis sumber energi panas bumi dalam bentuk uap basah agar dapat dimanfaatkan maka terlebih dahulu harus dilakukan pemisahan terhadap kandungan airnya sebelum digunakan untuk menggerakkan turbin, seperti pada gambar II.3. Uap basah yang keluar dari perut bumi pada mulanya berupa air panas bertekanan tinggi yang pada saat menjelang permukaan bumi terpisah menjadi kira-kira 20 % uap dan 80 % air. Atas dasar ini maka untuk dapat memanfaatkan jenis uap basah ini diperlukan separator untuk memisahkan antara uap dan air. Uap yang telah dipisahkan dari air diteruskan ke turbin untuk menggerakkan generator listrik, sedangkan airnya disuntikkan kembali ke dalam bumi untuk menjaga keseimbangan air dalam tanah.



Gambar II.3 Skema proses sistem panas bumi energi uap basah (kasbani 2011)

2.2.2 Sistem Panas Bumi Energi Air Panas Bumi

Air panas yang keluar dari perut bumi pada umumnya berupa air asin panas yang disebut "brine" dan mengandung banyak mineral. Karena banyaknya kandungan mineral ini, maka air panas tidak dapat digunakan langsung sebab dapat menimbulkan penyumbatan pada pipa-pipa sistem pembangkit tenaga listrik. Untuk dapat memanfaatkan energi panas bumi jenis ini, digunakan sistem biner (dua buah sistem utama) yaitu wadah air panas sebagai sistem primernya dan sistem sekundernya berupa alat penukar panas (*heat exchanger*) yang akan menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin seperti ditunjukkan pada gambar II.4. Energi panas bumi "uap panas" bersifat korosif, sehingga biaya awal pemanfaatannya lebih besar dibandingkan dengan energi panas bumi jenis lainnya.



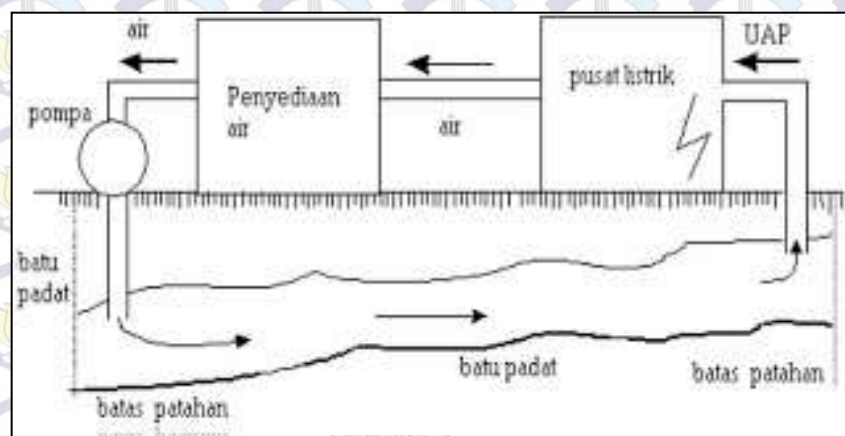
Gambar II.4 Skema pembangkit panas bumi sistem air panas (Kasbani, 2011)

2.2.3 Sistem Panas Bumi Energi Batuan Panas Bumi

Energi panas bumi jenis ketiga berupa batuan panas yang ada dalam perut bumi terjadi akibat berkontak dengan sumber panas bumi (magma). Energi panas bumi ini harus diambil sendiri dengan cara menyuntikkan air ke dalam batuan panas dan dibiarkan menjadi uap panas, kemudian diusahakan untuk dapat diambil kembali sebagai uap panas untuk menggerakkan turbin. Sumber batuan panas pada umumnya terletak jauh di dalam perut

bumi, sehingga untuk memanfaatkannya perlu teknik pengeboran khusus yang memerlukan biaya cukup tinggi.

Energi yang berada pada *Hot Dry Rock* (HDR) ini disebut juga sebagai energi petrothermal, yang merupakan sumber terbesar dari energi panas bumi. HDR terletak pada kedalaman sedang dan bersifat impermeabel. Untuk menggunakan energi yang dimiliki HDR, perlu menginjeksikan air pada HDR dan mengembalikannya kembali ke permukaan. Hal ini membutuhkan mekanisme transportasi untuk dapat membuat batuan impermeabel menjadi struktur permeabel dengan luas permukaan perpindahan panas yang besar. Permukaan yang luas ini diperlukan karena sifat batu yang memiliki konduktivitas termal yang kecil. Proses perubahan batuan permeabel dapat dilakukan memecahkan batuan tersebut dengan menggunakan air bertekanan tinggi ataupun ledakan nuklir .Proses eksplorasi yang dilakukan terhadap jenis ini lebih aman dibandingkan dengan jenis *hydrothermal* yang kemungkinan besar memiliki fluida, baik berupa uap maupun air panas. Hal ini disebabkan jenis energi panas bumi ini memiliki tingkat korosi, erosi serta zat-zat beracun yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis *hydrothermal* seperti yang ditunjukkan pada gambar II.5.



Gambar II.5 Skema panas bumi energi batuan panas (Kasbani, 2011)

2.3 Process Safety

Pengertian keselamatan proses (*process safety*) merupakan pencegahan kecelakaan dengan menggunakan teknologi yang tepat untuk mengidentifikasi bahaya (*hazard*) dari sebuah proses kimia dan menganalisis bahaya sebelum terjadinya kecelakaan (*accident*). Analisis proses bahaya terdiri dari dua macam yaitu analisis kualitatif dan analisis kuantitatif.

2.3.1. Analisis Keselamatan Secara Kualitatif

2.3.1.1. Checklist Analisis

Checklist analisis merupakan metode analisis menggunakan daftar tertulis yang terstruktur untuk menganalisis suatu sistem dan didasarkan pada pengalaman (*experienced base analysis*). Checklist analisis ini bersifat sangat detail dan sering digunakan untuk analisis kesesuaian dengan standard yang ada, serta mudah dilakukan untuk "*less experience engineers*". Kelebihan lain dari checklist analisis adalah dapat dilakukan pada semua tahap "*process life time*" tetapi pembuatan daftar checklistnya sangat dibatasi oleh pengalaman lapangan pembuat checklist tersebut. Daftar pertanyaan checklist analisis harus terus diaudit dan diperbarui secara berkala (biasa setiap tahun) (Daniel, 2002).

2.3.1.2. HAZOP (*Hazard and Operability*)

HAZOP adalah metode yang sistematis untuk identifikasi bahaya dan operabilitas. Metode hazard and operability merupakan prosedur normal untuk identifikasi bahaya pada fasilitas proses kimia, yang mana metode ini merupakan pendekatan yang membiarkan pikiran bebas terkendali. Macam – macam kejadian disaranka untuk setiap bagian tertentu dari peralatan dengan menetapkan pendukung apa dan bagaimana kejadian tersebut dapat terjadi apakah kejadian tersebut dapat menghasilkan resiko dalam bentuk lain. Hazop *analysis* dikembangkan pada akhir 1960 oleh ICI di UK. Prinsip dasar dari Hazop *analysis* adalah penyimpangan kondisi normal. Sebelum metode Hazop diterapkan maka perlu dipersiapkan data-data antara lain:

- Up to date *process flow diagram* (PFD)
- Piping and Instrument Diagram (P&ID)
- Detail umum gambar
- Reliev dan filosofi keluarnya udara
- Data bahan kimia berbahaya
- Spesifikasi perpipa
- Data sheet Proses
- Laporan keselamatan sebelumnya
- Instruksi perawatan dan pengoperasian

- Dokumen prosedur keselamatan
- Informasi peralatan dari vendor
- Piping Isimetric

(Bob Skelton, 2002)

Studi hazop mengidentifikasi masalah hazard dan juga masalah operabilitas suatu proses di industri kimia

Prosedur metode HAZOP yaitu sebagai berikut :

- Dimulai dengan memahami flowsheet detail
- Memilih study node, yaitu tempat dimana study hazop akan dilakukan
- Menjelaskan tujuan perancangan dari node studi, misal vessel V1 dirancang untuk menyimpan persediaan benzene sebelum masuk reaktor.
- Memilih parameter proses
- Menggunakan kata bantu untuk parameter proses yang menunjukkan kemungkinan penyimpangan
- Jika penyimpangan tersebut dapat diaplikasikan, kemudian menentukan kemungkinan penyebab dan mencatat seluruh sistem perlindungan
- Mengevaluasi konsekuensi dari penyimpangan
- Mencatat seluruh informasi

2.3.1.3. *Safety Review*

Safety review adalah penjelasan berbagai potensi permasalahan yang berkaitan dengan keselamatan. Metode *Safety review* lebih efektif tetapi kurang formal dibandingkan dengan metode hazop dan hasilnya juga sangat tergantung pada pengalaman dan sinergisme dari proses yang ditinjau.

Metode *Safety review* terdiri dari 2 tipe, yaitu :

1. Tipe informal dapat digunakan untuk proses baru, perubahan substansial dalam proses yang tetap, dan proses yang membutuhkan *review up to date*.
2. Tipe formal digunakan untuk proses baru, perubahan substansial dalam proses yang tetap, dan proses yang membutuhkan *review up to date*.

Prinsip pelaksanaan *Safety review* yaitu sebagai berikut : konsisten dalam menyiapkan detail formal *Safety review report*, memiliki comitee review report dan inspection report, serta mengimplementasikan rekomendasi (Daniel, 2002)

2.3.2. Analisis Keselamatan Secara Kuantitatif

2.3.2.1. Event tree analysis (ETA)

Event tree analysis adalah pendekatan secara induktif dari kejadian yang memicu timbulnya kecelakaan (*initiating event*) sampai seluruh kejadian akhir yang dapat ditimbulkan.

Langkah – langkah analisis Even tree yaitu sebagai berikut (Daniel, 2002):

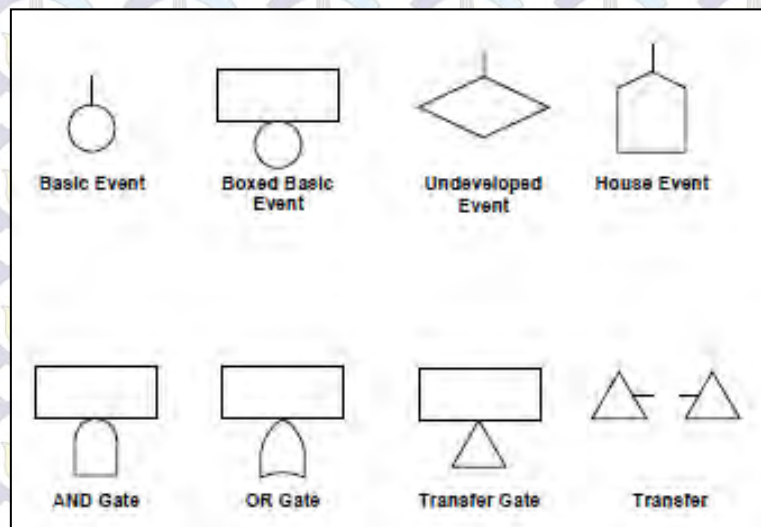
- Mengidentifikasi *initiating event* yang terkait
- Mengidentifikasi fungsi *Safety* yang dirancang untuk dipertemukan dengan *initiating event*
- Menkontruksi *event tree*
- Menggambarkan urutan hasil *event* kecelakaan

Urutan perhitungan pada penerapan metode *Event tree*

- Frekuensi pada cabang yang lebih rendah yang menunjukkan fungsi *Safety* gagal dihitung dengan mengalikan probabilitas kegagalan dari fungsi *Safety* dengan frekuensi dari cabang sebelumnya.
- Frekuensi pada cabang yang lebih tinggi yang menunjukkan fungsi *Safety* sukses dihitung dengan mengurangi 1 dengan *probability* dari frekuensi dari cabang yang lebih rendah.
- Net frekuensi kegagalan adalah jumlah dari frekuensi keadaan yang unsafe.

2.3.2.2. Fault tree Analysis (FTA)

Fault tree Analysis ditemukan pada tahun 1960 oleh “Bell Telephone Laboratories” dibawah arahan A. Watson. Waktu itu, FTA dikembangkan untuk mengevaluasi keamanan dari menentukan probabilitas dari suatu peluncuran sengaja dari rudal Minuteman. Metode ini telah diperluas sampai pada industri nuklir pada tahun 1970 untuk mengevaluasi potensi laju pergerakan reaktor nuklir. Sejak awal 1980-an, FTA telah digunakan untuk mengevaluasi potensi insiden dalam industri proses, termasuk potensi kegagalan *Safety Instrumented Function* (SIF). FTA merupakan teknik yang sangat baik dalam menentukan kemungkinan dari kejadian yang terjadi karena kegagalan dari bermacam komponen dan peralatan. Simbol yang digunakan pada FTA adalah sebagai berikut:



Gambar II.6 Simbol dari *Fault tree Analysis* (ISA TR, 2003)

Setiap *Fault tree* Symbol merepresentasikan logika yang spesifik :

- *Basic Event* : adalah *event* kegagalan yang tidak memerlukan definisi lebih lanjut atau batas dimana logika kegagalan dapat diselesaikan. Sebuah *Basic event* harus mempunyai definisi yang cukup untuk menentukan laju kegagalan dan persamaan yang tepat
- *Boxed Basic event* : adalah sama dengan *basic event*. Kotak / Box digunakan untuk pendiskripsian dengan teks yang diletakkan diatas *basic event*.
- *Undeveloped event* : *Event* yang tidak dapat dikembangkan lagi selama tidak cukup informasi yang tersedia atau peristiwa yang bisa dipecah menjadi sub-komponen. Tetapi, untuk tujuan model dalam pengembangan tidak dipecah lebih lanjut.
- *House event* : Peristiwa yang dijamin pasti terjadi atau dijamin pasti tidak terjadi. “*House event*” biasanya digunakan ketika memodelkan SIF secara berurutan atau ketika aksi dari operator atau tidak beraksinya hasil di dalam kegagalan SIF.
- “AND” gates : digunakan untuk mendefinisikan sebuah set dari kondisi atau penyebab dimana semua kejadian yang diset harus hadir dalam gate *event*. Setting dari kejadian dalam “AND” gates harus melalui uji “necessary” dan “sufficient”. Menghasilkan *event* output yang membutuhkan *event* input sekaligus / serentak.

- “OR” gates : digunakan untuk mendefinisikan beberapa peristiwa di mana salah satu dari peristiwa dijadikan set point secara otomatis. Menghasilkan output yang tergantung oleh salah satu input.
- Transfer gates : digunakan untuk memindahkan kedalam atau keluar halaman.

FTA umumnya merupakan proses yang melibatkan pemodelan SIF untuk menentukan PFD, lalu memodifikasi SIF (dan model yang terkait) untuk mencapai target PFD. *Fault tree Analysis* dari SIF dapat dipecah menjadi 5 langkah penting yaitu (ISA TR, 2003):

- Diskripsi SIF dan Informasi pengaplikasian
- Identifikasi Top *Event*
- Mengkonstruksi FTA
- Pemeriksaan kualitatif dari Patahan Struktur Tree
- Evaluasi FTA secara kuantitatif

2.3.2.3. Quantitative Risk Analysis (QRA)

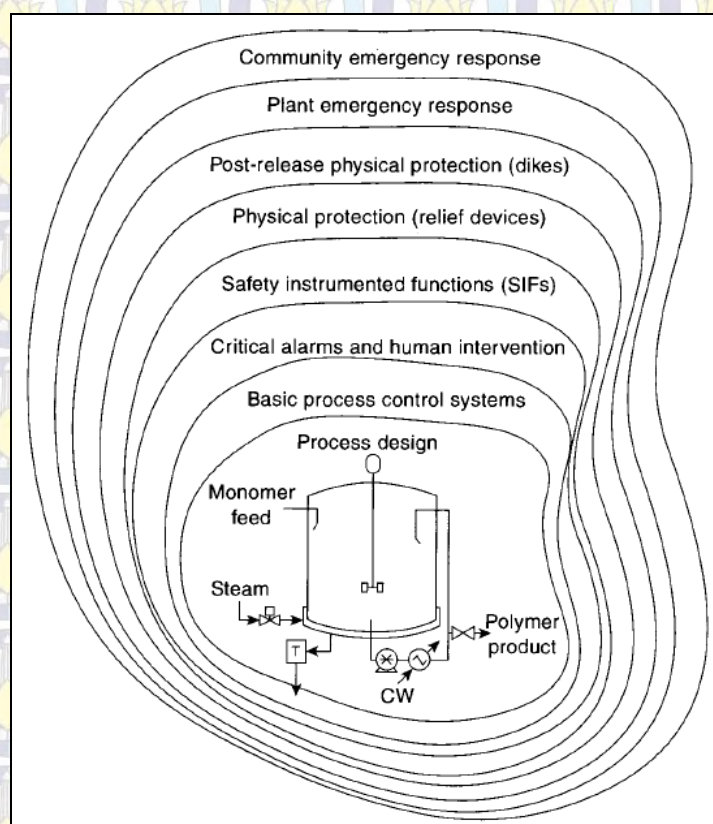
QRA (Quantitative Risk *Analysis*) adalah metode yang mengidentifikasi operasi-operasi teknik atau sistem manajemen yang dapat dimodifikasi untuk mengurangi resiko.

Langkah – langkah analisis QRA sebagai berikut (Daniel, 2002):

- Mengidentifikasi urutan *events* dan incidents yang potensial
- Mengevaluasi konsekuensi – konsekuensi incident (alat yang tipikal untuk langkah ini termasuk model dispersi, dan permodelan kebakaran dan ledakan)
- Mengestimasi frekuensi incident yang potensial dengan menggunakan *event tree* dan *fault tree*
- Mengestimasi dampak incident pada manusia, lingkungan dan aset (property).
- Mengestimasi risk dengan mengkombinasikan dampak dan frekuensi, dan mencatat risk yang menggunakan grafik.

2.3.3 Lapisan Keselamatan

Lapisan keselamatan dimulai dari hal yang mendasar yaitu desain proses dan termasuk sistem kontrol, alarm dan *interlock*, sistem *Safety shutdown*, sistem pertahanan hingga *Community Emergency Response* yang dinyatakan seperti pada Gambar II.7 Pendekatan intrinsik dan pasif untuk keselamatan dapat menjadi bagian dari beberapa lapisan perlindungan.



Gambar II.7 Lapisan Keselamatan (ISA TR, 2003)

a. *Process Design*

Dalam pembuatan suatu pabrik kimia sedapat mungkin berdasarkan kaidah keselamatan seperti contoh mendesain peralatan dengan tekanan yang rendah.

b. *Basic Controls, Process Alarm, and Operator Supervision*

Pada lapisan ini perlindungan dapat berupa tindakan pemantauan yang dilakukan oleh seorang operator selama proses berlangsung. Pemantauan dapat dilakukan baik secara lokal pada alat-alat pengukur yang terdapat pada alat, pengontrolan, dan pengecekan

dilakukan secara langsung oleh operator. Pemantauan secara tidak langsung melalui ruang kontrol. Selain itu juga terdapat sistem kontrol sangat berfungsi dalam hal keselamatan dan keamanan karena sistem ini yang menjaga proses berjalan pada kondisi proses dalam batas aman. Dalam suatu pengendalian proses dibutuhkan 4 aspek yang harus dipenuhi, yaitu:

- a. Adanya proses yang akan dikontrol.
- b. Adanya elemen pengukur, contohnya suatu sensor.
- c. Adanya alat pengendali atau kontroler.

Dari segi keamanan, kontrol yang dapat berpotensi mengurangi resiko yang terkait dengan penyebab kegagalan proses harus sudah diidentifikasi. Fokus dari pengontrolan adalah:

- a. Menghilangkan bahaya.
- b. Mengurangi kemungkinan terjadinya insiden besar.
- c. Mengurangi tingkat resiko dari insiden yang besar.
- d. Mengurangi konsekuensi yang harus terjadi.

Mengontrol langkah-langkah untuk melindungi bahaya dalam industri kimia yaitu:

- a. Program inspeksi peralatan.
- b. Izin melakukan pekerjaan.
- c. Merubah proses persetujuan.
- d. Mengontrol peralatan (batas kecepatan, batas masukan, kontrol *ignition*).
- e. Prosedur.
- f. Sistem *shutdown*.
- g. Pemantauan dan pengamatan kondisi proses.
- h. Pengujian perangkat pelindung.
- i. Pelatihan terhadap personel untuk melakukan tugas mereka.

Perencanaan proses membutuhkan ratusan bahkan ribuan perulangan kontrol yang saling terhubung dan bekerja sama menghasilkan suatu produk. Tiap-tiap perulangan kontrol didesain untuk menjaga suatu variabel proses yang penting seperti tekanan, laju alir, temperatur yang membutuhkan kisaran operasi tertentu untuk menjamin kualitas dari produk yang akan dihasilkan. Tiap perulangan akan menerima bahkan menghasilkan gangguan yang mempengaruhi variabel proses. Untuk mengurangi efek dari beban gangguan maka sensor dan transmitter dipasang guna mengetahui variabel proses yang berhubungan dengan *set point* yang ditentukan. Kontroler dipasang untuk mengembalikan

variabel proses akibat beban gangguan. Kontroler yang paling banyak digunakan dalam proses industri adalah *control valve* yang berfungsi memanipulasi laju fluida, air, uap atau komponen kimia untuk menjaga variabel proses sedekat mungkin dengan *set point* yang ditentukan. Contoh dari kontroler adalah *level control* (LC), *temperature control* (TC), *pressure control* (PC), dan lainnya. Adanya *final control element* seperti *valve*.

c. *Critical Alarms and Operator Response, and Manual Intervention*

Alarm disediakan untuk menjadi peringatan bagi operator bahwa kondisi proses berjalan diluar batas kondisi normal sehingga perlu adanya keputusan yang berdasarkan aspek keamanan.

d. *Automatic Action Safety Instrumented Systems or Emergency Shutdown System*

Safety Instrumented Systems dirancang untuk merespon kondisi pabrik kimia yang berbahaya. Hal ini dikarenakan apabila tidak diambil tindakan maka dapat menimbulkan bahaya. Sistem ini harus menghasilkan keluaran yang sesuai untuk mengurangi bahaya atau mencegah konsekuensi. SIS terdiri dari sensor, *logic solver*, dan aktuator.

Emergency Shutdown Systems. Peralatan *shutdown*, peralatan isolasi dan proses kontrol bertujuan untuk mencegah hilangnya tahanan dari situasi yang tidak wajar yang terdeteksi sejak dini atau untuk mengurangi konsekuensi dari suatu insiden besar jika terdeteksi cukup awal. *Emergency Shutdown Systems* secara otomatis diaktifkan jika kondisi proses tidak wajar terdeteksi, namun sistem *shutdown* dapat diaktifkan secara manual oleh operator untuk mencegah pelepasan jika teramati sejak awal.

e. *Physical Protection*

Sejumlah perlindungan terhadap bahaya dapat dilakukan oleh perangkat mekanik seperti *relief valve*, *flare system*, dan *dikes*. Salah satu contoh perangkat yang digunakan adalah *pressure relief device*. Metode yang paling umum untuk perlindungan terhadap kelebihan tekanan adalah melalui penggunaan *Safety relief valve* dan atau *rupture disks* yang sistem kerjanya dengan membuang kelebihan tekanan ke sistem terbuka lainnya yaitu ke atmosfer atau ke sistem pembuangan seperti *flare*.

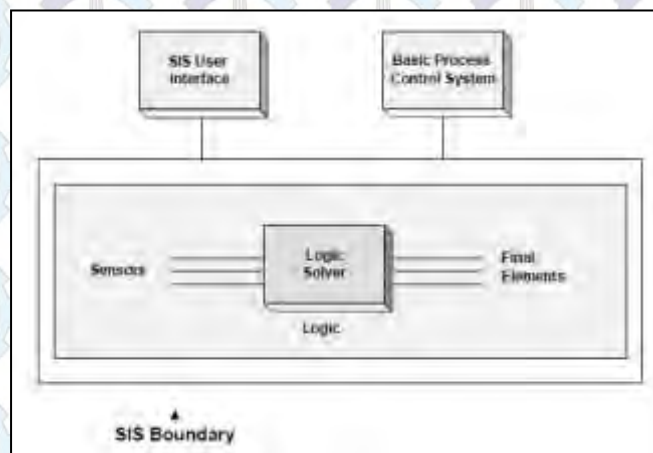
f. *Emergency Response Plant*

Emergency Response Plant yang menyeluruh harus dipersiapkan. Rencana ini secara teratur di uji untuk memastikan respon yang efektif dan efisien sehingga dapat mengurangi konsekuensi insiden utama yang terjadi. Suatu pabrik pasti dipasang alarm darurat di setiap sisi sebagai peringatan dini atau kejadian yang berpotensi

membahayakan bagi daerah tersebut sehingga perlu cepat dievakuasi dan konsekuensi dari sebuah insiden dapat dieliminasi atau dikurangi. Pada sistem alarm darurat, respon langsung adalah suara sirine terus menerus, lampu merah berkedip pada daerah yang bising, dan lonceng berdering terus menerus dalam bangunan. Setelah mendengar alarm darurat semua personel yang tidak begitu penting berkumpul dari suatu area yang aman. Perlu juga untuk disediakan mobil pemadam kebakaran dan pelindung kebakaran yang menyeluruh dan sistem pertahanan api yang berpindah dan peralatan lain untuk memadamkan kebakaran pada setiap pabrik.

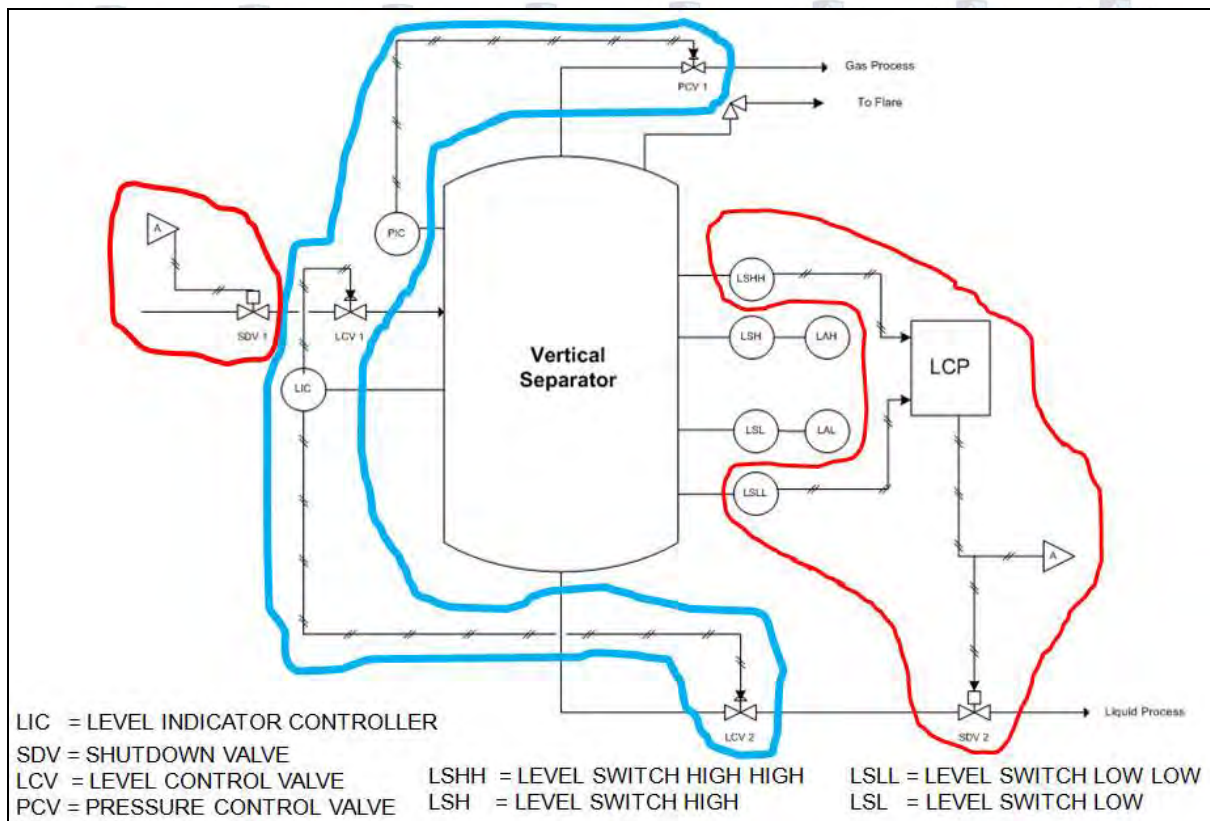
2.4. *Safety Instrumented System (SIS)*

Safety Instrumented System (SIS) adalah suatu sistem yang terdiri dari sensor, pengolah logika atau *logic solver* dan *final element* dengan tujuan untuk membawa suatu proses pada suatu kondisi yang aman ketika kondisi yang tidak diinginkan terjadi. Ada beberapa tahapan sistem keselamatan yang ada di lapangan. Seperti yang ditunjukkan Gambar II.8 untuk setiap tahapan sistem keselamatan tersebut merupakan prosedur pelaksanaan sistem keselamatan yang biasa digunakan di dunia industri.



Gambar II.8. Definisi dari *Safety Instrumented System (SIS)* (Kumar, 2009)

Integrated Control System (ICS) memiliki dua buah program kontrol yang berbeda, satu digunakan untuk *Basic Process Control System (BPCS)* dan yang lainnya digunakan untuk *Safety Instrumented System (SIS)*. BPCS berfungsi untuk mengontrol, mengevaluasi serta melaksanakan perintah untuk sebuah proses yang ada di lapangan, sedangkan SIS berfungsi sebagai pengaman ketika suatu bahaya terjadi.



Gambar II.9 Susunan SIS dan BPCS (Kumar, 2009)

Dari Gambar II.9 dapat dilihat bahwa di dunia industri, antara SIS dan BPCS setiap komponen penyusunnya harus dipisahkan. Disebabkan oleh beberapa hal yang sangat mampu mengakibatkan kejadian yang sangat fatal. Sebaiknya sistem pengontrol yang ada di sebuah peralatan harus memiliki sebuah pengaman yang terpasang juga sehingga diharapkan ketika terjadi suatu bahaya dapat segera dihentikan dikarenakan oleh sistem yang terpisah tersebut. Ada beberapa bagian yang harus dipisahkan antara SIS dan BPCS yaitu:

1. *Logic solver.*
2. Sensor di lapangan.
3. *Final element.*
4. Komunikasi antar elemen.

Meskipun BPCS tidak memiliki fungsi utama sebagai sistem keselamatan tetapi dengan mengontrol proses secara tidak langsung telah melakukan perlindungan terhadap sistem. Ketika BPCS tidak mampu mengontrol sistem yang ada, maka alarm akan bekerja. Alarm berfungsi untuk memberitahukan bahwa kondisi di sebuah sistem tersebut berada

dalam keadaan bahaya. Tindakan keselamatan berikutnya yaitu menjaga alat yang ada di sistem agar tidak berada di atas titik ambang batas. Ada dua cara untuk menjaga alat agar tidak berada di atas ambang batas yaitu dengan cara menghentikan aliran proses yang akan masuk ke dalam sistem dan membuka aliran proses yang ada di dalam sistem. Ketika semua sistem keselamatan tersebut tidak dapat mengendalikan proses yang ada, maka langkah selanjutnya yaitu dengan melakukan prosedur evakuasi, meninggalkan lokasi proses. Dalam perancangan sebuah sistem keselamatan harus diketahui terlebih dahulu resiko atau bahaya yang dapat terjadi berdasarkan kepada konsekuensi dan probabilitas terjadinya bahaya pada suatu alat. Untuk itu dilakukan analisis sistem keselamatan yang akan dipasang. Langkah-langkah dalam mendesain sebuah SIS menurut *Safety life cycle* yaitu:

1. Menetapkan target level keamanan proses.
2. Melakukan analisis bahaya.
3. Melakukan analisis risiko dari proses untuk mengevaluasi risiko proses.
4. Mengidentifikasi kejadian berbahaya yang tidak memenuhi target level keselamatan.
5. Evaluasi pengurangan resiko dengan menggunakan sistem teknologi keamanan lainnya (perangkat mekanik) dan fasilitas pengurangan risiko eksternal (misalnya, tanggul).
6. Mengidentifikasi SIF (*Safety Instrumented System*) yang harus dilaksanakan dalam SIS.
7. Tentukan SIL dari SIF (*Safety Instrumented System*)
8. Tentukan persyaratan spesifikasi fungsi keselamatan SIS.
9. Mengintegrasikan SIF (*Safety Instrumented System*) ke SIS.
10. Menetapkan prosedur untuk mengevaluasi probabilitas gagal pada permintaan SIS tersebut.
11. Mengevaluasi SIL dari SIS.
12. Mengevaluasi proses pengurangan risiko akibat penggunaan SIS.
13. Membuat modifikasi yang diperlukan dan analisis untuk memastikan bahwa SIS memenuhi pengurangan risiko (SIL) persyaratan.

Langkah 1 menetapkan target tingkat keamanan proses. Langkah 2 - 9, inklusif, fokus pada analisis risiko dari proses dan mengidentifikasi fungsi keselamatan dan SIL mereka untuk mencapai tingkat target keselamatan (Kumar, 1998).

2.4.1. Penetapan Tingkat Keselamatan (SIL)

Penetapan tingkat keselamatan harus diketahui resiko yang akan terjadi pada alat yang akan dipasang. Resiko dapat diartikan sebagai besar konsekuensi terburuk dan kemungkinan bahaya tersebut terjadi pada alat tersebut.

$$\text{Bahaya} = \text{Konsekuensi} \times \text{Kemungkinan}$$

Keselamatan dalam suatu proses sangatlah dibutuhkan untuk menjamin keselamatan dalam proses dimana untuk memperoleh kondisi aman dalam proses yang sedang beroperasi maupun tidak beroperasi maka dalam proses tersebut memerlukan adanya alat-alat penunjang keselamatan proses, seperti instrumentasi-instrumentasi keselamatan. Instrumentasi inilah memiliki peranan penting karena instrumen yang mengatur, mengendalikan, memulai, dan mengakhiri suatu dinamika proses yang terjadi sehingga banyak faktor keamanan dikendalikan oleh instrumen ini, maka penerapannya dinamakan suatu *Safety Instrumented System*. *Safety Instrumented System* ini memiliki fungsi-fungsi tersendiri dalam hal penunjang keselamatan proses yaitu *Safety Instrumented Function* dan di SIF inilah memiliki *Safety Integrity Level* untuk masing-masing fungsi.

Rata-rata kemungkinan performa SIF apakah sesuai dengan kondisi-kondisi yang diinginkan pada periode waktu tertentu yaitu tertera pada SIL. SIL yang memiliki beberapa level untuk menentukan kebutuhan SIL pada SIF untuk dialokasikan ke SIS. SIL terdiri 4 level menurut IEC 61508, semakin tinggi level SIL maka semakin tingginya probabilitas yang diperlukan SIF melakukan kerja sesuai fungsinya.

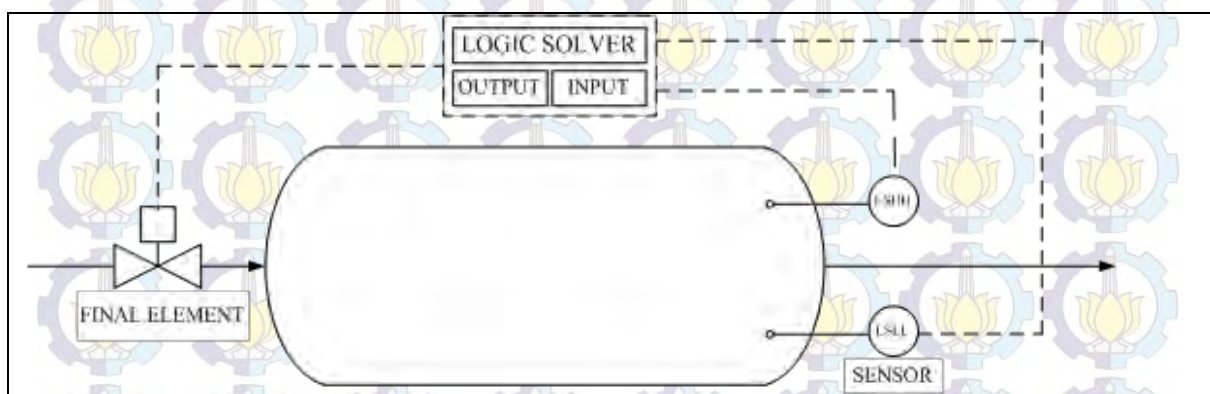
Dalam klasifikasi SIL berdasarkan frekuensi skenario permintaan dan tingkat keparahan konsekuensi dari peristiwa berbahaya yang digunakan untuk menetapkan SIL yang mengacu pada norma umum untuk keselamatan IEC 61508 dan norma keselamatan diadaptasi untuk proses industri IEC 61511 dimana menentukan tingkat yang diperlukan untuk pengurangan risiko. SIL menunjukkan probabilitas minimum yang peralatan berhasil akan melakukan apa yang diinginkan untuk dilakukan ketika dipanggil untuk melakukannya. Begitu risiko yang diperlukan pengurangan diketahui, dapat diubah menjadi probabilitas kegagalan berdasarkan permintaan yang diperlukan untuk SIF dan yang menghasilkan ke SIL.

Tabel II.2 IEC 61508-4 Definisi SIL (ISA TR, 2003)

Safety Integrity Level (SIL)	Probability of Failure on Demand (PFD)	1/PFD
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	10.000 – 100.000
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$	1.000 – 10.000
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$	100 – 1.000
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$	10 – 100

Tabel 2.2 dapat dilihat bahwa untuk berada di SIL 1 maka nilai PFD sistem yang terpasang harus berada di rentang 10^{-1} sampai 10^{-2} . Dan begitu seterusnya sampai di SIL 4 nilai PFD berada di rentang 10^{-4} sampai 10^{-5} . SIL menunjukkan bahwa sebuah sistem tersebut mampu mengurangi resiko yang terjadi. Semakin tinggi SIL maka akan semakin kecil kemungkinan terjadinya bahaya, begitu juga sebaliknya semakin rendah SIL akan semakin semakin besar kemungkinan terjadinya bahaya. Setelah mengetahui pada suatu alat akan terpasang berada pada tingkat keselamatan tertentu, maka dipasang alat keselamatan yang akan sesuai dengan penetapan dari tingkat yang ada.

Secara matematis proses penghitungan berdasarkan kepada seberapa besar suatu alat keselamatan tersebut akan mengalami kegagalan ketika akan terjadi bahaya. Sebuah *Safety Instrumented Function* (SIF) terdiri dari sensor, *logic solver* dan juga *final element*.



Gambar II.10 *Safety Instrumented Function* (SIF) (ISA TR, 2002)

Sebuah *Safety Instrumented Function* (SIF) seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.10 dapat dilihat bahwa sebuah sistem tersebut terdiri dari sebuah sensor, sebuah *logic*

solver yang terdiri dari *input modul* dan *output modul*, dan sebuah *final element*. Sehingga untuk menghitung tingkat keselamatan diperlukan nilai kemungkinan kegagalan setiap komponen ketika terjadi bahaya. Nilai kemungkinan komponen mengalami kegagalan ketika terjadi permintaan biasa dituliskan dengan PFD komponen. PFD merupakan singkatan dari *Probability of Failure on Demand* yang berarti bahwa kemungkinan sebuah komponen mengalami kegagalan ketika terjadinya permintaan. Permintaan yang dimaksud yaitu ketika terjadinya bahaya sensor dapat mengidentifikasi adanya bahaya, *logic solver* mampu melaksanakan perintah dan *final element* dapat melaksanakan perintah yang disampaikan oleh *logic solver*.

Faktor-faktor yang memengaruhi untuk penghitungan nilai PFD yaitu:

a. Laju kegagalan

Laju kegagalan adalah frekuensi dari sebuah komponen untuk mengalami kegagalan, dinyatakan dengan jumlah kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan ditunjukkan dengan lambang λ (lambda) per satuan waktu. Klasifikasi dari beberapa jenis laju kegagalan yaitu:

1. Laju kegagalan berbahaya (λ_D)

Kegagalan berbahaya terdiri dari dua yaitu:

- a. Laju kegagalan berbahaya yang dapat dideteksi (λ_{DD}), laju kegagalan bahaya yang dideteksi dengan segera ketika terjadi.
- b. Laju kegagalan berbahaya yang tidak dapat dideteksi (λ_{DU}), bahaya yang tidak dapat dideteksi yaitu suatu bahaya yang terjadi ketika alat tersebut diminta untuk aktif tetapi tidak dapat bekerja.

2. Laju kegagalan aman (λ_S)

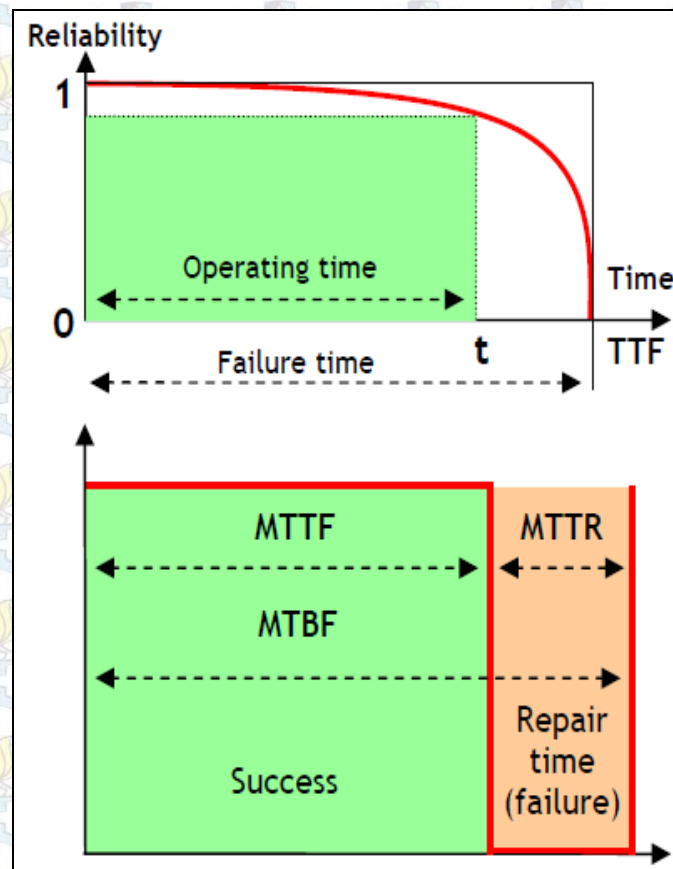
- a. Laju kegagalan aman terdeteksi (λ_{SD}), kegagalan yang tidak berbahaya yang dapat dideteksi secara otomatis. Di beberapa konfigurasi, pendeteksian kegagalan dapat mencegah *spurious trip* sistem.
- b. Laju kegagalan aman tidak terdeteksi (λ_{SU}), kegagalan yang tidak berbahaya yang tidak dapat dideteksi oleh pengecekan secara otomatis. Proses penghitungan nilai PFD yang digunakan adalah nilai laju kegagalan bahaya yang tidak dapat dideteksi (λ_{DU}).

Secara praktis, nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) komponen biasa digunakan untuk menghitung nilai laju kegagalan dari sebuah komponen. Dengan menggunakan Persamaan (II.1):

(ISA, 2002)

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad \text{Persamaan (2.1)}$$

λ_{DU} merupakan laju kegagalan bahaya tidak dapat dideteksi (per tahun) MTTF (*Mean Time to Failure*) merupakan rata-rata sebuah komponen akan mengalami kegagalan pada suatu waktu tertentu.



Gambar II.11 *Mean Time Between Failure* (MTBF) (ISA TR, 2002)

Waktu antara satu kegagalan dengan kegagalan lain disebutkan sebagai waktu kegagalan sebuah komponen. Seperti ditunjukkan pada Gambar II.11 sebuah komponen dapat mengalami beberapa kegagalan. Waktu rata-rata setiap komponen gagal terhadap kegagalan lain disebutkan sebagai *Mean Time Between Failure* (MTBF).

b. Test Interval

Test interval atau dalam kata lain disebut *function test* yang berarti selang waktu dilaksanakannya pengetesan terhadap alat yang digunakan.

c. Konfigurasi

Untuk menghitung nilai PFD dari setiap komponen SIS yang digunakan, konfigurasi dari setiap komponen juga harus diperhatikan. Konfigurasi memiliki arti yaitu struktur dan posisi dari komponen yang digunakan untuk sistem tersebut.

Berdasarkan kepada ISA TR 84.00.02-2002 proses penghitungan tingkat keselamatan (SIL) ada tiga metode yaitu dengan menggunakan metode *Simplified Equation*, *Fault tree Analysis*, dan *Markov Analysis*. Ketiga metode sama-sama mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Penelitian ini akan menggunakan metode *Fault tree Analysis* karena ditinjau dari keuntungannya metode FTA dapat menyelesaikan SIF yang kompleks, dapat mengerjakan waktu perbaikan yang berbeda untuk elemen yang berlebih, dapat mengerjakan teknologi yang beragam, teknik perhitungan simpel menggunakan boolean algebra, dan dapat memperlihatkan grafik yang mudah dibaca. Hanya saja kekurangan metode FTA inisulit untuk mengerjakan kegagalan yang berurutan (*dynamics failure*).

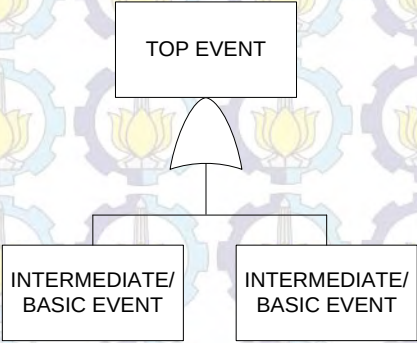
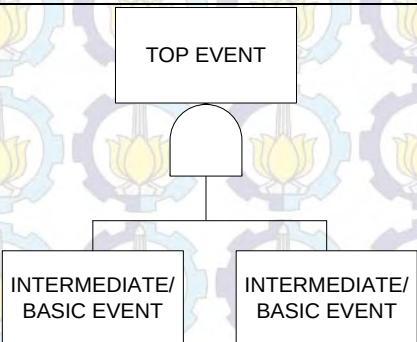
Analisis pohon kegagalan (*Fault Tree Anlysis*) merupakan pendekatan secara induktif dari suatu kejadian untuk mengetahui penyebab utamanya. Analisis dengan menggunakan metode FTA adalah suatu analisis logika yang digunakan untuk menentukan penyebab-penyebab yang memungkinkan kegagalan di suatu sistem. Penyebab-penyebab tersebut bisa diakibatkan dari kondisi lingkungan, kesalahan manusia, kegagalan dari setiap komponen, dan lain sebagainya. Analisis tersebut dapat dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif tergantung dengan objek yang dianalisis. Secara kualitatif, dengan menentukan kombinasi-kombinasi kejadian dasar yang dapat menyebabkan kegagalan sistem sedangkan secara kuantitatif dilakukan dengan menentukan nilai kemungkinan kegagalan sistem.

Untuk menggunakan pohon kegagalan dilakukan langkah-langkah:

- a. Menentukan *top event* atau bahaya yang mungkin terjadi kepada sistem tersebut.
- b. Merumuskan *event* yang ada.
- c. Mendefinisikan *event* yang tidak diijinkan.
- d. Merumuskan batas fisik dari proses.
- e. Merumuskan konfigurasi peralatan.
- f. Merumuskan level ketetapan.

g. Menggambarkan pohon kegagalan dengan menggunakan gerbang logika.

Tabel 2.3 Gerbang Logika FTA (ISA TR, 2002)

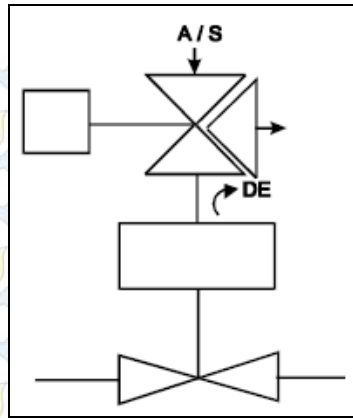
OR		Logika OR berarti <i>output</i> kejadian <i>Top Event</i> terjadi jika salah satu <i>Intermediate/Basic Event</i> terjadi.
AND		Logika AND berarti <i>output</i> kejadian <i>Top Event</i> terjadi jika semua <i>Intermediate/Basic Event</i> terjadi pada saat yang bersamaan.

Tabel 2.3 dapat ditunjukkan bahwa simbol-simbol tersebut biasa digunakan untuk membentuk sebuah pohon kegagalan.

Nilai PFD juga dipengaruhi oleh konfigurasi SIF yang digunakan. Untuk setiap konfigurasi digunakan Persamaan yang berbeda-beda:

1. Penghitungan SIL jika menggunakan konfigurasi 1oo1 yaitu dengan menggunakan Persamaan (2.2)

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda \times (TI)}{2} \quad \text{Persamaan (2.2)}$$

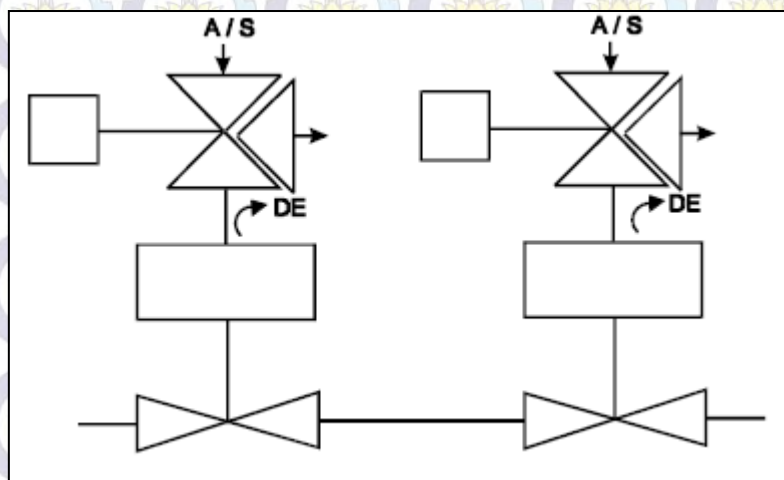


Gambar II.12 Contoh Konfigurasi *Valve* 1oo1

Gambar II.12 merupakan sebuah contoh konfigurasi sebuah *final element* berupa *valve* 1oo1. Konfigurasi 1oo1 berarti menggunakan satu buah komponen pada sistem tersebut. Suatu sistem dikatakan memiliki konfigurasi 1oo1 berarti setiap komponen hanya terpasang satu buah saja.

2. Penghitungan SIL jika menggunakan konfigurasi 1oo2 yaitu dengan menggunakan Persamaan (2.3)

$$PFD_{avg} = \frac{(\lambda)^2 \times T I^2}{4} \quad \text{Persamaan (2.3)}$$



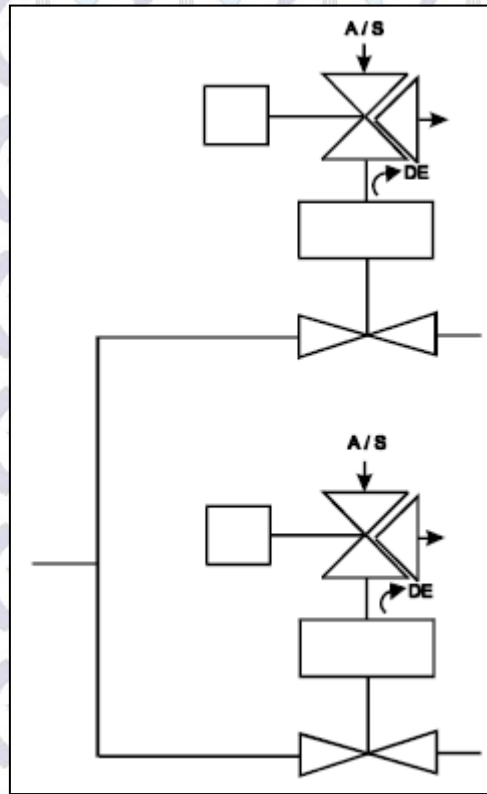
Gambar II.13 Contoh Konfigurasi *Valve* 1oo2

Gambar II.13 merupakan sebuah contoh konfigurasi sebuah *final element* berupa *valve* 1oo2. Konfigurasi 1oo2 berarti menggunakan dua buah komponen yang terpasang sekaligus pada sistem tersebut. Konfigurasi 1oo2 pada sebuah sistem berarti setiap komponen yang dipasang telah *redundant*.

3. Penghitungan SIL jika menggunakan konfigurasi 2oo2 yaitu dengan menggunakan Persamaan (2.4)

$$PFD_{avg} = \lambda.(TI)$$

Persamaan (2.4)



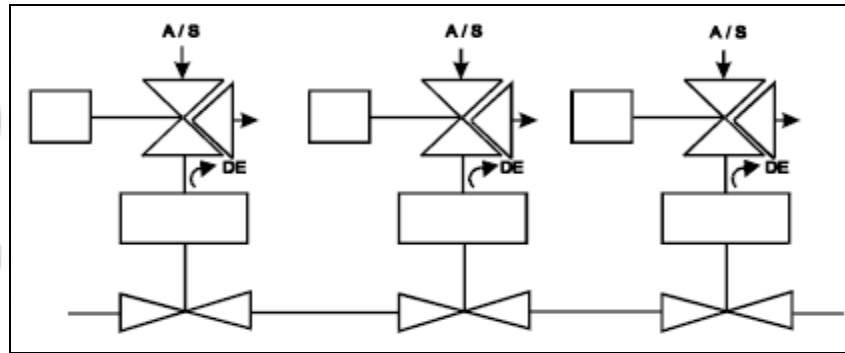
Gambar II.14 Contoh Konfigurasi Valve 2oo2

Gambar II.14 merupakan sebuah contoh konfigurasi sebuah *final element* berupa valve 2oo2. Konfigurasi 2oo2 merupakan suatu konfigurasi pada sebuah sistem di mana pada sistem tersebut terdapat dua buah aliran masukan dan terpasang dua buah sistem keamanan sendiri.

4. Penghitungan SIL jika menggunakan konfigurasi 2oo3 yaitu dengan menggunakan Persamaan (II.5)

$$PFD_{avg} = \frac{3\lambda^2(TI)^2}{4}$$

Persamaan (2.5)



Gambar II.15 Contoh Konfigurasi *Valve 2oo3*

Gambar II.15 merupakan sebuah contoh konfigurasi sebuah *final element* berupa *valve 2oo3*. Konfigurasi 2oo3 menggunakan tiga buah komponen yang digunakan sebagai alat keselamatan.

Tujuan pembuatan FTA antara lain:

1. Dapat menyediakan tampilan berupa model dari kemungkinan kegagalan yang akan sangat membantu perkiraan secara matematis.
2. Dapat mengetahui kehandalan (reability) dari sistem yang ada.
3. Berguna untuk membantu mencari kesalahan yang ada ketika apabila terjadi kejadian yang tidak diinginkan.

2.5 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah pendekatan sistematis yang menerapkan suatu metode pentabelan untuk membantu proses pemikiran yang digunakan oleh *engineers* untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dan efeknya. FMEA merupakan teknik evaluasi tingkat keandalan dari sebuah sistem untuk menentukan efek dari kegagalan dari sistem tersebut. Kegagalan digolongkan berdasarkan dampak yang diberikan terhadap kesuksesan suatu misi dari sebuah sistem (Barendsa, 2012).

Secara umum, FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*) didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu:

- Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk, dan proses selama siklus hidupnya,
- Efek dari kegagalan tersebut,
- Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses.

FMEA merupakan alat yang digunakan untuk menganalisa keandalan suatu sistem dan penyebab kegagalannya untuk mencapai persyaratan keandalan dan keamanan sistem, desain dan proses dengan memberikan informasi dasar mengenai prediksi keandalan sistem, desain, dan proses. Terdapat lima tipe FMEA yang bisa diterapkan dalam sebuah industri manufaktur (Puente, 2002), yaitu:

- *Sistem*, berfokus pada fungsi sistem secara global
- *Design*, berfokus pada desain produk
- *Process*, berfokus pada proses produksi, dan perakitan
- *Service*, berfokus pada fungsi jasa
- *Software*, berfokus pada fungsi *software*

Berikut ini adalah tujuan yang dapat dicapai oleh perusahaan dengan penerapan FMEA:

- Untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat keparahan efeknya
- Untuk mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan
- Untuk mengurutkan pesanan desain potensial dan defisiensi proses
- Untuk membantu fokus engineer dalam mengurangi perhatian terhadap produk dan proses, dan membantu mencegah timbulnya permasalahan.

Dari penerapan FMEA pada perusahaan, maka akan dapat diperoleh keuntungan – keuntungan yang sangat bermanfaat untuk perusahaan, antara lain:

- Meningkatkan kualitas, keandalan, dan keamanan produk
- Membantu meningkatkan kepuasan pelanggan
- Meningkatkan citra baik dan daya saing perusahaan
- Menurangi waktu dan biaya pengembangan produk
- Memperkirakan tindakan dan dokumen yang dapat mengurangi resiko

Sedangkan manfaat khusus dari *Process* FMEA bagi perusahaan (Chiotis, 1995) adalah:

- Membantu menganalisis proses manufaktur baru.
- Meningkatkan pemahaman bahwa kegagalan potensial pada proses manufaktur harus dipertimbangkan.

- Mengidentifikasi defisiensi proses, sehingga para *engineer* dapat berfokus pada pengendalian untuk mengurangi munculnya produksi yang menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan yang diinginkan atau pada metode untuk meningkatkan deteksi pada produk yang tidak sesuai tersebut.
- Menetapkan prioritas untuk tindakan perbaikan pada proses.
- Menyediakan dokumen yang lengkap tentang perubahan proses untuk memandu pengembangan proses manufaktur atau perakitan di masa datang.

Output dari *Process FMEA* (Mazur, 2009) adalah:

- Daftar mode kegagalan yang potensial pada proses.
- Daftar *critical characteristic* dan *significant characteristic*.
- Daftar tindakan yang direkomendasikan untuk menghilangkan penyebab munculnya mode kegagalan atau untuk mengurangi tingkat kejadiannya dan untuk meningkatkan deteksi terhadap produk cacat bila kapabilitas proses tidak dapat ditingkatkan.

FMEA merupakan dokumen yang berkembang terus. Semua pembaharuan dan perubahan siklus pengembangan produk dibuat untuk produk atau proses. Perubahan ini dapat dan sering digunakan untuk mengenal mode kegagalan baru. Mengulas dan memperbaharui FMEA adalah penting (Ree, 2003) terutama ketika:

- Produk atau proses baru diperkenalkan.
- Perubahan dibuat pada kondisi operasi produk atau proses diharapkan berfungsi.
- Perubahan dibuat pada produk atau proses (dimana produk atau proses berhubungan).
Jika desain produk dirubah, maka proses terpengaruh begitu juga sebaliknya.
- Konsumen memberikan indikasi masalah pada produk atau proses.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Metoda Pengumpulan Data

Untuk mengidentifikasi semua faktor internal dan eksternal, berbagai komponen dan hubungan antar komponen, parameter, efek, serta semua data terkait. Metoda pengumpulan yang akan dilakukan adalah dengan Review berbagai literature, studi lapangan, dan riset survey. Tempat dilakukannya pengambilan data ini ada tiga tempat yakni:

1. PLTP Kamojang

PLTP Kamojang adalah salah satu jenis sumber energi panas bumi dalam bentuk uap basah. Untuk dapat dimanfaatkan, maka terlebih dahulu harus dilakukan pemisahan terhadap kandungan airnya sebelum digunakan untuk menggerakkan turbin. Uap basah yang keluar dari perut bumi pada mulanya berupa air panas bertekanan tinggi yang pada saat menjelang permukaan bumi terpisah menjadi kira-kira 20 % uap dan 80 % air. Atas dasar ini maka untuk dapat memanfaatkan jenis uap basah ini diperlukan separator untuk memisahkan antara uap dan air. Uap yang telah dipisahkan dari air diteruskan ke turbin untuk menggerakkan generator listrik, sedangkan airnya disuntikkan kembali ke dalam bumi untuk menjaga keseimbangan air dalam tanah.

2. PLTP Wayang Windu

PLTP Wayang Windu adalah salah satu sistem pembangkit air panas. Air panas yang keluar dari perut bumi pada umumnya berupa air asin panas yang disebut "brine" dan mengandung banyak mineral. Karena banyaknya kandungan mineral ini, maka air panas tidak dapat digunakan langsung sebab dapat menimbulkan penyumbatan pada pipa-pipa sistem pembangkit tenaga listrik. Untuk dapat memanfaatkan energi panas bumi jenis ini, digunakan sistem biner (dua buah sistem utama) yaitu wadah air panas sebagai sistem primernya dan sistem sekundernya berupa alat penukar panas (*heat exchanger*) yang akan menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin

3. PLTP Salak

PLTP Gunung Salak merupakan pembangkit listrik panas bumi jenis batuan panas. Batuan Panas yang ada dalam perut bumi terjadi akibat berkontak dengan sumber panas bumi (magma). Energi panas bumi ini harus diambil sendiri dengan cara menyuntikkan air ke dalam batuan panas dan dibiarkan menjadi uap panas, kemudian diusahakan untuk dapat diambil kembali sebagai uap panas untuk menggerakkan turbin. Sumber batuan panas pada umumnya terletak jauh di dalam perut bumi, sehingga untuk memanfaatkannya perlu teknik pengeboran khusus yang memerlukan biaya cukup tinggi.

III.2 Pembuatan Equipment Block Diagram

Salah satu tahap penting dalam penggunaan FMEA adalah dengan pembuatan block diagram peralatan. Pembuatan blok diagram peralatan dilakukan dengan cara membagi sistem ke dalam komponen-komponen tersendiri. Pada penelitian ini sistem akan dibagi menjadi lima bagian komponen yakni, *Production and Transmission, Turbine and Auxiliaries*, sistem pendingin, sistem ekstraksi gas dan *Generator and Electrical*.

III.3 Pembuatan Daftar Safety Instrumented Function

Setelah melakukan pengumpulan data-data serta analisa bahaya maka dilanjutkan dengan pembuatan daftar *Safety Instrumented Function* dimana dari daftar ini digunakan untuk menetapkan sistem tersebut yang akan dinilai dalam semua aktifitas berikutnya.

III.4 Analisa dengan Pendekatan Fault Tree Analysis

Analisa dilakukan dengan melakukan identifikasi kejadian awal serta fungsi keselamatan yang dirancang untuk dipertemukan dengan kejadian awal serta mengkonstruksi *fault tree* dan menggambarkan pula hasil *event* kecelakaan. Pada pendekatan FTA ini, proses juga akan dioptimasi dengan penambahan berbagai macam variasi safety redundant sebagai berikut :

- Konfigurasi 1oo1 berarti menggunakan satu buah komponen pada sistem tersebut. Suatu sistem dikatakan memiliki konfigurasi 1oo1 berarti setiap komponen hanya terpasang satu buah saja.

- Konfigurasi 1oo2 berarti menggunakan dua buah komponen yang terpasang sekaligus pada sistem tersebut. Konfigurasi 1oo2 pada sebuah sistem berarti setiap komponen yang dipasang telah *redundant*.
- Konfigurasi 2oo2 merupakan suatu konfigurasi pada sebuah sistem di mana pada sistem tersebut terdapat dua buah aliran masukan dan terpasang dua buah sistem keamanan sendiri.
- Konfigurasi 2oo3 menggunakan tiga buah komponen yang digunakan sebagai alat keselamatan.

III.5 Identifikasi efek dan penyebab.

Setelah membagi sistem menjadi komponen-komponen tersendiri, dilakukan identifikasi berbagai moda kesalahan dan resiko yang berhubungan dimana dapat menyebabkan efek yang besar pada keamanan sistem geothermal. Umumnya berbagai moda kesalahan terjadi bukan karena kecelakaan. Sehingga, kesalahan-kesalahan tersebut seharusnya dapat dihindari.

III.6 Menentukan tingkat Severity, Occurrence dan Detection rate

Tahap ini dilakukan dengan memberi skor tiap-tiap moda kesalahan berdasarkan tingkat Severity (S), Occurrence (O) dan Detection rate (D) (Feili, 2013). Penentuan tingkat severity, occurrence dan detection rate akan dijelaskan pada tabel dibawah ini. Dari perhitungan SIL akan diketahui sistem tersebut berapa pada lapis keselamatan tingkat tertentu. Dari sini akan ditarik untuk menentukan nilai rating pada detection dan occurrence rating pada setiap moda kesalahan.

Tabel III.1 Severity Ranking

Severity Ranking	Deskripsi
1-2	Failure hanyalah sebatas minor, operator kemungkinan tidak mendeteksi kesalahan
3-5	Failure akan berdampak sedikit (slight deterioration) pada bagian sistem
6-7	Failure akan menyebabkan ketidakpuasan operator dan atau pada bagian dari sistem
8-9	Failure akan berdampak pada ketidakpuasan operator yang tinggikan berdampak pada sistem yang tidak berfungsi dengan baik
10	Failure akan memberikan dampak kerusakan yang besar (Major damage)

Tabel III.2 Occurrence Rating

Occurrence Ranking	Deskripsi
1	Kemungkinan terjadinya Failure sangat kecil kurang dari 0,001 (SIL 4)
2-3	Kemungkinan terjadinya failure antara 0,01 – 0,001 (remote probability) (SIL 3)
4-6	Kemungkinan terjadinya failure 0,01 – 0,1 (occasional probability) (SIL 2)
7-8	Kemungkinan terjadinya kesalahan 0,1 – 0,2 (medium probability) (SIL 1)
9-10	Kemungkinan terjadinya failure 0,2 (high probability) (UC SIL)

Tabel III.3 Detection Rating

Detection Ranking	Deskripsi
1-2	Probabilitas sangat tinggi pada cacat yang dapat dideteksi
3-4	Probabilitas tinggi pada cacat agar terdeteksi
5-7	Probabilitas moderat untuk mendeteksi cacat
8-9	Probabilitas kecil untuk dapat mendeteksi cacat
10	Probabilitas sangat kecil atau nol untuk dapat mendeteksi cacat.

III. 5 Analisis Hasil Perhitungan Kuantitatif

Hasil analisis penentuan tingkat severity, occurrence dan detection rate akan dihitung secara kuantitatif dengan menggunakan Risk Priority Number (RPN). RPN adalah hasil multiplikasi perkalian antara severity (S), occurrence (O) dan detection rate (D). Perhitungan RPN akan dilakukan dengan tujuan agar dapat mengetahui prioritas pada resiko kesalahan yang akan terjadi.

$$RPN = S \times O \times D \quad (3.1)$$

Pada dasarnya, dengan menghitung RPN, para *engineer* dapat lebih fokus pada nilai RPN tertinggi secara langsung. Lebih jauh lagi, para *engineer* juga dapat melakukan pencegahan untuk item yang terprioritaskan.

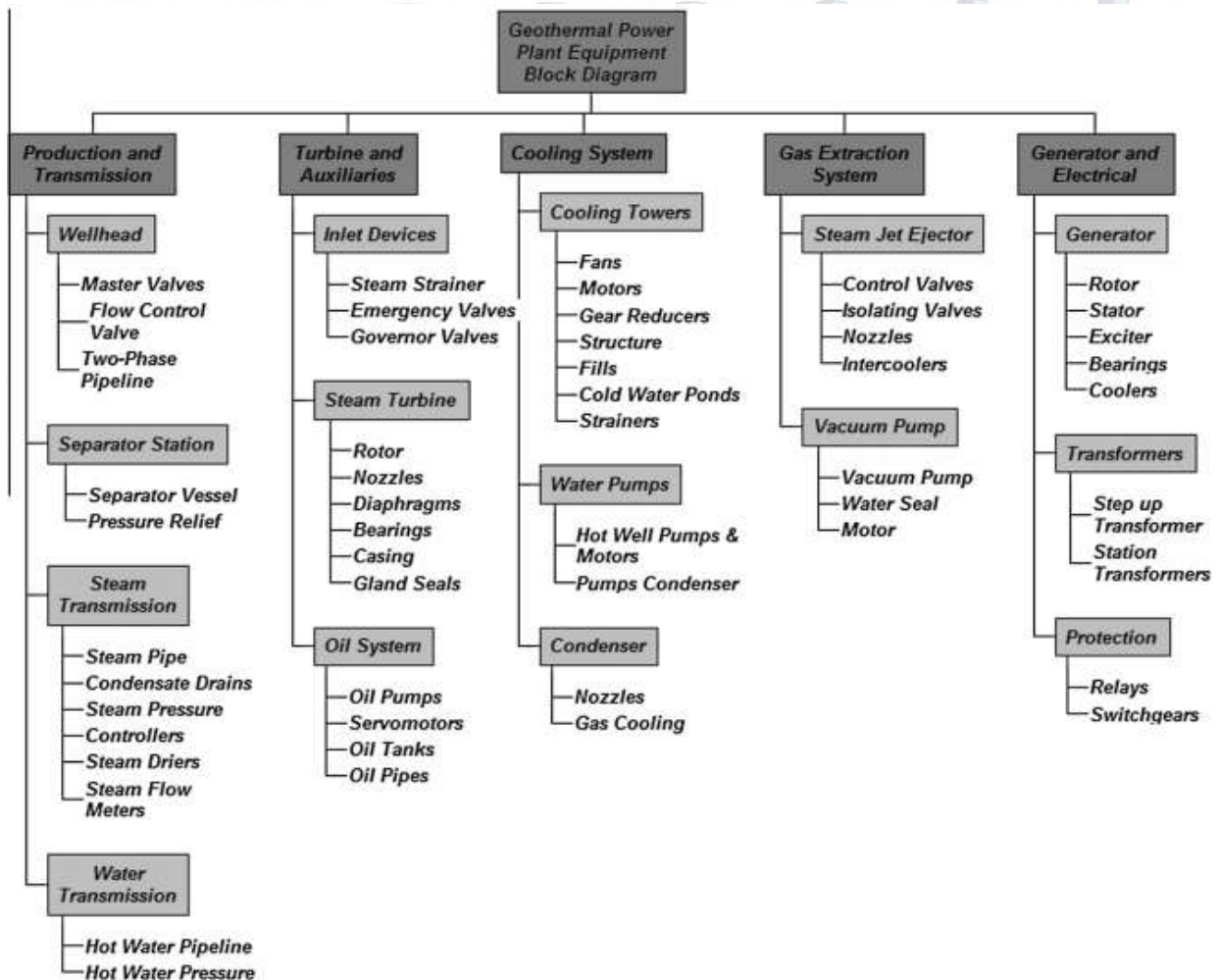
Setelah didapatkan data kuantitatif untuk Risk Priority Number, maka langkah selanjutnya adalah membandingkan tiap hasil pada tiga sistem panas bumi yang ada di Indonesia. Dari perbandingan ini nanti akan didapatkan sebuah master plan safety process untuk tiap-tiap sistem panas bumi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Equipment Bolck Diagram

Equioment Blok diagram yang dibentuk disini bertujuan untuk menentukan sistem apa saja pada geothermal power plant yang akan diuji. Dari hasil studi literature didapatkan bahwa pada geothermal power plant dibagi menjadi lima sistem uji, Production and Transmission, Tubines and Auxiliaries, Cooling system, Gas Extraction System, Generator and



Gambar IV.1 Equipment Block Diagram

IV.2 Penentuas Safety Integrity Factor (SIF)

SIF yang dapat dianalisa dari equipment block diagram yang ada adalah pada sistem Steam Gathering, Turbines dan Cooling system. Untuk Sistem Instrumen dan elektrik masih belum ada alat analisa yang dapat menentukan nilai deteksi keselamatan atau Probability Failure Detection. Dengan adanya SIF yang telah ditentukan maka dapat dilakukan perhitungan untuk Safety Integrity Level/Layer. Proses penghitungan SIL harus diketahui besar PFD dari setiap komponen penyusun SIS terlebih dahulu yang diketahui dari data *Preventive Maintenance*.

IV.2.1 PFD Sensor

Proses untuk mengetahui besarnya PFD sebuah sensor yang akan dipasang, terlebih dahulu harus mengetahui besar MTBF dari setiap komponen. Nilai MTBF sebuah komponen dapat menunjukkan nilai kehandalan sebuah komponen tersebut. Pada *Steam Gathering (Separator I)* digunakan *transmitter* yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal *analog* ke dalam *logic solver* untuk memberikan informasi masukan yang ada di *Separator*. Adapun vendor yang menyediakan *transmitter* yang ada di lapangan yaitu Baker CAC (purchased by PTMI) untuk *pressure switch* sementara *level switch* oleh PT. Automatic Accessories Indo/M.S.W. U.S.A.

Tabel IV.1 Contoh spesifikasi *level switch*

Kode	LP-LSHH 1
Peralatan	<i>Production Separator</i>
Fungsi	Trip
Vendor	PT. Automatic Accessories Indo/M.S.W. U.S.A

Tabel IV.2 Contoh spesifikasi *pressure switch*

Nomor	LP-PSHH-1
Peralatan	<i>Production Separator Train I High High Pressure</i>
Fungsi	Trip
Vendor	Baker CAC (purchased by PTMI)
<i>Set Point</i>	40 bar

Nilai MTBF untuk seri tersebut sebesar 16 tahun untuk *pressure switch* dan 20 tahun untuk *level switch*. Nilai MTBF dapat menunjukkan laju kegagalan bahaya tidak terdeteksi (λ_{DU}) dari sebuah *transmitter*. Dengan menggunakan Persamaan (III.1), besar laju kegagalan bahaya tidak terdeteksi sebuah *transmitter* yaitu $\lambda_{pressure\ switch} = 0,062$ per tahun dan $\lambda_{level\ switch} = 0,05$ per tahun. Selain besar laju kegagalan, harus diketahui juga lama *test interval* dari sebuah *transmitter* tersebut. Secara aktual di lapangan, *test interval* dilaksanakan selama 6 bulan sekali. Pengetesan dilakukan bersamaan dengan perawatan 6 bulan-an yang selalu dilakukan selama ini. Adapun konfigurasi sensor yang terpasang yaitu *single not redundant* (1001). Persamaan yang digunakan yaitu Persamaan (III.4):

untuk *pressure switch*

$$PFD_{avg} = 1 + \left(\frac{e^{-\lambda TI} - 1}{\lambda TI} \right)$$

$$PFD_{avg} = 1 + \left(\frac{e^{-0,062 \times 0,5} - 1}{0,062 \times 0,5} \right)$$

$$PFD_{avg} = 0,015$$

$$PFD_{avg} = 1,5 \times 10^{-2}$$

untuk *level switch*

$$PFD_{avg} = 1 + \left(\frac{e^{-\lambda TI} - 1}{\lambda TI} \right)$$

$$PFD_{avg} = 1 + \left(\frac{e^{-0,05 \times 0,5} - 1}{0,05 \times 0,5} \right)$$

$$PFD_{avg} = 0,012$$

$$PFD_{avg} = 1,2 \times 10^{-2}$$

IV.2.2 PFD Logic Solver

Logic solver yang digunakan merupakan model konvensional dengan menggunakan aliran *pneumatic*.

Tabel IV.3 Contoh spesifikasi *local control panel*

Nomor	<i>Local Control Panel</i>
Tipe	<i>air operate ball valve</i>

Tabel IV.4 Contoh spesifikasi *central control panel*

Nomor	<i>Central Control Panel</i>
Peralatan	<i>electro-mechanical relay</i>

Adapun konfigurasi sensor yang terpasang yaitu *single not redundant* (1oo1). Persamaan yang digunakan yaitu Persamaan (2.2):

untuk *local control panel*

$$PFD_{avg} = 1 + \left(\frac{e^{-\lambda TI} - 1}{\lambda TI} \right)$$

$$PFD_{avg} = 1 + \left(\frac{e^{-0,025 \times 0,5} - 1}{0,025 \times 0,5} \right)$$

$$PFD_{avg} = 0,006$$

$$PFD_{avg} = 6 \times 10^{-3}$$

untuk *central control panel*

$$PFD_{avg} = 1 + \left(\frac{e^{-\lambda TI} - 1}{\lambda TI} \right)$$

$$PFD_{avg} = 1 + \left(\frac{e^{-0,025 \times 0,5} - 1}{0,025 \times 0,5} \right)$$

$$PFD_{avg} = 0,006$$

$$PFD_{avg} = 6 \times 10^{-3}$$

IV.2.3 PFD Final Element

Proses penghitungan nilai PFD *final element*, *final element* yang digunakan yaitu *Shutdown Valve* (SDV). Prinsip kerja sebuah *shutdown valve* yaitu ketika mendapatkan sinyal dari *logic solver*, *shutdown valve* akan bekerja secara normal (*normally close*). Pertimbangan dalam penghitungan besar kegagalan sebuah *shutdown valve* yaitu ketika *shutdown valve* diminta untuk menutup tetapi *shutdown valve* tidak menutup. Jenis kegagalan ini disebut dengan *fail to close on demand*.

Tabel IV.5 Contoh spesifikasi *shutdown valve*

Nomor	LP-SDV-1
Peralatan	<i>Production Separator I Inlet</i>
Kondisi	12"
Vendor	PT. Alton Nusantara Jaya/TK Valve

sehingga didapatkan, Untuk menghitung nilai PFD *shutdown valve* diperlukan data lainnya yaitu konfigurasi *shutdown valve* dan juga *test interval*. Konfigurasi yang terpasang yaitu *single/not redundant* (1001) serta *test interval* dilakukan selama 6 bulan sekali, sesuai dengan perawatan setengah tahun yang selama ini dilakukan. Nilai MTBF untuk seri tersebut sebesar 40 tahun. Dengan menggunakan Persamaan (2.1), besar laju kegagalan bahaya tidak terdeteksi sebuah *transmitter* yaitu $\lambda_{shutdown\ valve} = 0,025$ per tahun. Dengan menggunakan Persamaan (2.4)

$$PFD_{avg} = 1 + \left(\frac{e^{-\lambda TI} - 1}{\lambda TI} \right)$$

$$PFD_{avg} = 1 + \left(\frac{e^{-0,025 \times 0,5} - 1}{0,025 \times 0,5} \right)$$

$$PFD_{avg} = 0,006$$

$$PFD_{avg} = 6 \times 10^{-3}$$

IV.3 Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

Metode lain yang digunakan untuk menghitung besar tingkat keamanan (SIL) yaitu dengan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). Penggunaan metode FTA terlebih dahulu harus diketahui *top event* permasalahan yang akan dianalisis. Pendeskripsian dari permasalahan atau bahaya yang terjadi harus dapat menjawab pertanyaan apa, di mana dan kapan.

- a. Apa. Pertanyaan ini mendeskripsikan jenis dari bahaya yang terjadi. Contohnya: terjadi kebakaran, ledakan, terjadi kegagalan sistem dan lain sebagainya.
- b. Di mana. Pertanyaan ini mendeskripsikan di mana bahaya tersebut terjadi. Contohnya: di proses oksidasi reaktor, proses pembakaran gas dan lain sebagainya.

c. Kapan. Pertanyaan ini mendeskripsikan kapan bahaya tersebut terjadi. Contohnya: selama proses berlangsung.

Sehingga dari pertanyaan-pertanyaan tersebut dapat diketahui bahwa *top event* yang terjadi di *Production Separator* yaitu “gagalnya SIF itu sendiri di *Production Separator*“. Proses selanjutnya yaitu mengkonstruksi *fault tree analysis*. Hasil konstruksi dari *top event* yang ada yaitu dapat diketahui kemungkinan-kemungkinan kegagalan SIS diakibatkan oleh dari komponen-komponen SIS yang digunakan.

Tabel IV.6 PFD Masing-Masing SIF pada Sistem Binary Flash

No	SIF	PFD Avg	SIL
1	Steam Separator	0.07	SIL 1
2	Turbines	0.0432	SIL 1
3	Cooling System	0.12	UC SIL
	SIS	0.22	UC SIL

Dari Tabel IV.6 akan didapatkan nilai SIS untuk keseluruhan sistem sebesar UC SIL. Hasil penghitungan nilai PFD tersebut menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang terpasang memiliki nilai SIL rendah sehingga perlu dilakukan peningkatan tingkat keselamatan yang telah terpasang tersebut untuk masing-masing SIF.

IV.4 Pemberian Rekomendasi

Pemberian rekomendasi berfungsi untuk meningkatkan SIL yang telah terpasang. Berdasarkan kepada analisis data aktual, besar SIL yang ada masih belum sesuai dengan SIL yang diinginkan, sehingga dibutuhkan tindakan untuk mencapai SIL yang diinginkan. Adapun tindakan yang dapat dilakukan dibagi menjadi dua kategori besar antara lain:

1. Tidak membutuhkan perencanaan biaya, yakni dengan meningkatkan *test interval* atau *function test*.
2. Membutuhkan perencanaan biaya, antara lain:
 - a. Mengubah konfigurasi setiap komponen dengan cara menambahkan *redundancy*.
 - b. Mengganti *logic solver* yang ada dari pneumatik menjadi PLC.
 - c. Mengganti sensor atau *final element* yang memiliki nilai MTTF yang paling rendah.
 - d. Meningkatkan *test interval* dan mengubah konfigurasi komponen.

IV.4.1 Meningkatkan *Test Interval* atau *Function Test*

Untuk proses meningkatkan *test interval*, peneliti menggunakan beberapa rentang waktu, yaitu 1 bulan, 4 bulan, 8 bulan, dan 12 bulan. Peningkatan *test interval* dilakukan kepada sensor, *logic solver*, dan *final element*. Untuk hasil penghitungan dapat dilihat pada Tabel IV.2.

Tabel IV.7 PFD Komponen SIF *Production Separator I* dengan Perubahan *Test Interval*

PFD	<i>Test Interval</i>			
	1 bulan	4 bulan	6 bulan	12 bulan
PFD _{pressure switch}	2×10^{-3}	7×10^{-3}	$1,5 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-2}$
PFD _{level switch}	2×10^{-3}	6×10^{-3}	$1,2 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$
PFD _{local control panel}	1×10^{-3}	3×10^{-3}	$6,0 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$
PFD _{central control panel}	1×10^{-3}	3×10^{-3}	$6,0 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$
PFD _{shutdown valve}	1×10^{-3}	3×10^{-3}	$6,0 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$

Dari Tabel IV.7 dapat dilihat jika semakin kecil rentang waktu *test interval* dilakukan maka akan semakin rendah nilai PFD yang dihasilkan. Setiap nilai PFD untuk *test interval* yang divariasikan tersebut dilakukan variasi untuk menghitung nilai PFD yang diinginkan.

Tabel IV.8 PFD SIF *Production Separator* dengan Perubahan *Test Interval*

	TI 1 bulan	TI 4 bulan	TI 8 bulan	TI 12 bulan
PFD _{SIF}	0,017	0,07	0,138	0,207

Dari Tabel IV.8 dapat dilihat besar PFD yang diinginkan yaitu berkisar dari 10^{-1} – 10^{-2} , sehingga didapatkan optimal besar PFD tersebut dimulai jika dilakukan *test interval* selama 1 bulan.

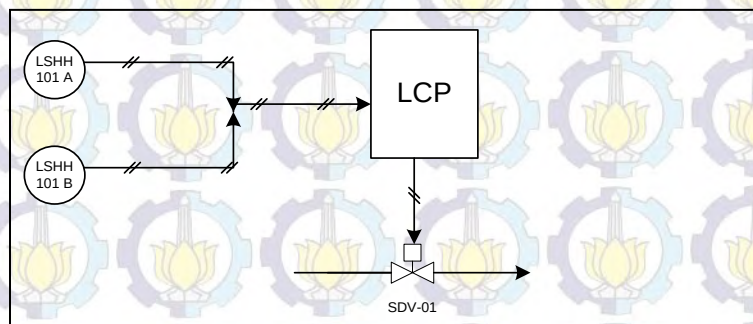
Tabel IV.9 PFD Masing-Masing SIF *Platform* dengan Perubahan *Test Interval*

SIF	BULAN							
	1		4		8		12	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.017	SIL 1	0.069	SIL 1	0.138	UC SIL	0.207	UC SIL
Turbines	0.011	SIL 1	0.043	SIL 1	0.086	SIL 1	0.129	UC SIL
Cooling	0.030	SIL 1	0.118	UC SIL	0.235	UC SIL	0.352	UC SIL
SIS	0.057	SIL 1	0.215	UC SIL	0.398	UC SIL	0.552	UC SIL

Dari Tabel IV.9 akan didapatkan nilai SIL untuk keseluruhan *Platform*. Hasil penghitungan nilai PFD tersebut menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang terpasang memiliki nilai SIL rendah dengan nilai PFD besar, yakni UC SIL. Peningkatan *test interval* dapat meningkatkan nilai SIL untuk masing-masing SIF. Hasil terbaik ialah meningkatkan nilai *test interval* dari basis selama 6 bulan menjadi 1 bulan. Namun dengan melakukan perubahan pada *test interval* tidak cukup untuk meningkatkan nilai SIL untuk keseluruhan *Platform*. Dengan meningkatkan *test interval* sebuah alat berarti harus meningkatkan kinerja perawatan terhadap alat tersebut.

IV.4.2 Mengubah Konfigurasi Setiap Komponen dengan Menambahkan *Safety Redundant*

Dengan menambahkan *redundancy* berarti mengubah desain masing-masing SIF yang terpasang. *Redundancy* yang dilakukan pada sensor dan *final* elementnya. Adapun *redundancy* yang akan digunakan yaitu 1oo2, di mana dengan menggunakan konfigurasi 1oo2 berarti menambahkan sebuah alat yang sama.



Gambar IV.2 Konfigurasi *Valve* 1oo2

[illegible]

untuk *pressure switch*

$$PFD_{komponen} = \frac{0,062^2 \times 0,33^2}{2}$$

$$PFD_{komponen} = 1 \times 10^{-4}$$

untuk *level switch*

$$PFD_{\text{komponen}} = \frac{0,05^2 \times 0,33^2}{2}$$

untuk *shutdown valve*

$$PFD_{komponen} = \frac{0,025^2 \times 0,33^2}{2}$$

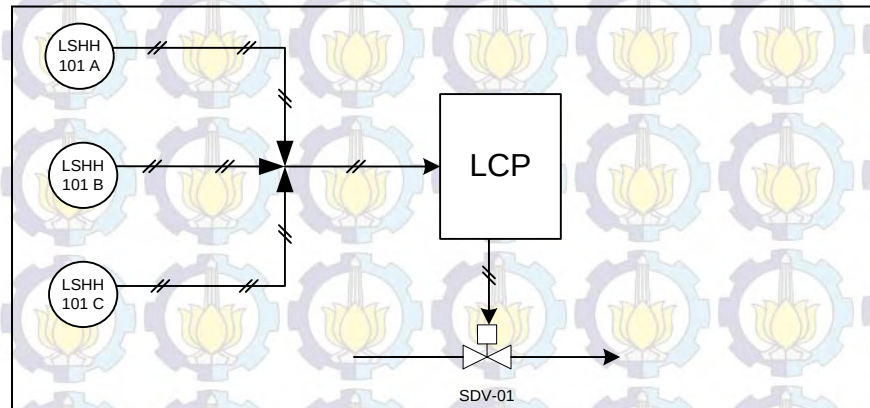
$$PFD_{komponen} = 3 \times 10^{-5}$$

[illegible]

$$PFD_{SIF} = 8 \times 10^{-4}$$

Hasil penghitungan nilai PFD tersebut menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang terpasang termasuk dalam nilai SIL 2.

Adapun *redundancy* yang akan digunakan yaitu 2oo2, di mana dengan menggunakan konfigurasi 2oo2 berarti menambahkan sebuah alat yang sama.



Gambar IV.3 Konfigurasi Valve 2oo2

Gambar IV.3 menunjukkan bahwa komponen tersebut akan terpasang seperti itu di lapangannya. Jadi ada dua buah komponen yang terpasang seri dipasang pada satu jalur aliran. Untuk menghitung besar PFD jika menggunakan konfigurasi 2oo2 digunakan Persamaan (III.5) :

$$PFD_{komponen} = \frac{\lambda_{DU} \times TI}{2}$$

untuk *pressure switch*

$$PFD_{komponen} = \frac{\lambda_{DU} \times TI}{2}$$

$$PFD_{komponen} = \frac{0,062 \times 0,33}{2}$$

$$PFD_{komponen} = 6,7 \times 10^{-3}$$

untuk *level switch*

$$PFD_{komponen} = \frac{\lambda_{DU} \times TI}{2}$$

$$PFD_{komponen} = \frac{0,05 \times 0,33}{2}$$

$$PFD_{komponen} = 5,3 \times 10^{-3}$$

untuk *shutdown valve*

$$PFD_{komponen} = \frac{\lambda_{DU} \times TI}{2}$$

$$PFD_{komponen} = \frac{0,05 \times 0,33}{2}$$

$$PFD_{komponen} = 4,2 \times 10^{-3}$$

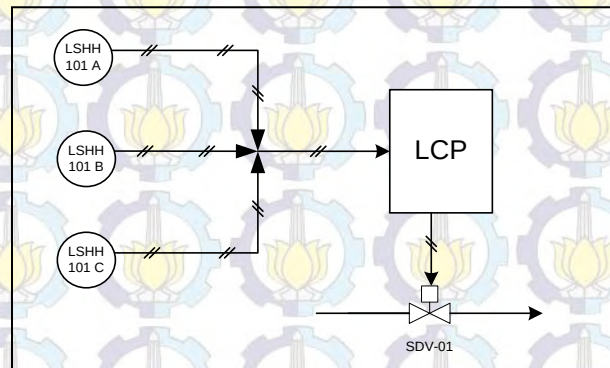
sehingga,

$$PFD_{SIF} = 1 - [(1 - (6,7 \times 10^{-3}))(1 - (6,7 \times 10^{-3}))(1 - (5,3 \times 10^{-3}))(1 - (5,3 \times 10^{-3}))(1 - (6,7 \times 10^{-3}))(1 - (6,7 \times 10^{-3}))(1 - (5,3 \times 10^{-3}))(1 - (5,3 \times 10^{-3}))(1 - (4,2 \times 10^{-3}))(1 - (4,2 \times 10^{-3}))(1 - (4,2 \times 10^{-3}))(1 - (4,2 \times 10^{-3}))]$$

$$PFD_{SIF} = 6,76 \times 10^{-2}$$

Hasil penghitungan nilai PFD tersebut menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang terpasang termasuk dalam nilai SIL 1.

Adapun *redundancy* yang akan digunakan yaitu 2oo3, di mana dengan menggunakan konfigurasi 2oo3 berarti menambahkan sebuah alat yang sama.



Gambar IV.4 Konfigurasi *Valve* 2oo3

Gambar IV.4 menunjukkan bahwa komponen tersebut akan terpasang seperti itu di lapangannya. Jadi ada dua buah komponen yang terpasang seri dipasang pada satu jalur aliran.

Untuk menghitung besar PFD jika menggunakan konfigurasi 2oo3 digunakan Persamaan (III.5):

$$PFD_{komponen} = (\lambda_{DU})^2 \times (TI)^2$$

untuk *pressure switch*

$$PFD_{komponen} = (\lambda_{DU})^2 \times (TI)^2$$

$$PFD_{komponen} = (0,062)^2 \times (0,33)^2$$

$$PFD_{komponen} = 1,7 \times 10^{-4}$$

untuk level switch

$$PFD_{komponen} = (\lambda_{DU})^2 \times (TI)^2$$

$$PFD_{komponen} = (0,05)^2 \times (0,33)^2$$

$$PFD_{komponen} = 1,2 \times 10^{-4}$$

untuk shutdown valve

$$PFD_{komponen} = (\lambda_{DU})^2 \times (TI)^2$$

$$PFD_{komponen} = (0,025)^2 \times (0,33)^2$$

$$PFD_{komponen} = 6,9 \times 10^{-4}$$

sehingga,

$$PFD_{SIF} = 1 - [(1 - (1,7 \times 10^{-4}))(1 - (1,7 \times 10^{-4}))(1 - (1,2 \times 10^{-4}))(1 - (1,2 \times 10^{-4}))(1 - (1,7 \times 10^{-4}))(1 - (1,7 \times 10^{-4}))(1 - (1,2 \times 10^{-4}))(1 - (1,2 \times 10^{-4}))(1 - (6,9 \times 10^{-4}))(1 - (6,9 \times 10^{-4}))(1 - (6,9 \times 10^{-4}))(1 - (6,9 \times 10^{-4}))]$$

$$PFD_{SIF} = 1,5 \times 10^{-3}$$

Hasil penghitungan nilai PFD tersebut menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang terpasang termasuk dalam nilai SIL 2.

Tabel IV.10 PFD Komponen SIF *Production Separator* dengan *Safety Redundant*

PFD	Safety Redundancy			
	1oo1	1oo2	2oo2	2oo3
$PFD_{pressure\ switch}$	$6,7 \times 10^{-3}$	1×10^{-4}	$6,7 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-4}$
$PFD_{level\ switch}$	5×10^{-3}	1×10^{-4}	$5,6 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-4}$
$PFD_{shutdown\ valve}$	$4,0 \times 10^{-3}$	3×10^{-5}	$4,2 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-3}$

Dari Tabel IV.10 dapat dilihat jika dengan menggunakan *safety redundant* 1oo2 dan 2oo3 maka akan semakin rendah nilai PFD yang dihasilkan. Sementara untuk 2oo2 akan menghasilkan nilai PFD yang sama dengan tanpa digunakannya *safety redundant* atau 1oo1.

Tabel IV.11 PFD Masing-Masing SIF Platform dengan Penggunaan *Safety Redundant*

SIF	Safety Redundant							
	1oo1		1oo2		2oo2		2oo3	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.070	SIL 1	0.0008	SIL 2	0.0675	SIL 1	0.0016	SIL 2
Turbines	0.043	SIL 1	0.00049	SIL 2	0.0433	SIL 1	0.0010	SIL 1
Cooling	0.118	UC SIL	0.0014	SIL 2	0.1186	UC SIL	0.0028	SIL 2
ESD	0,166	UC SIL	0,008	SIL 2	0,167	UC SIL	0,010	SIL 1
SIS	0.215	SIL 1	0.003	SIL 2	0.214	SIL 1	0.005	SIL 2

Dari Tabel IV.11 akan didapatkan nilai SIL untuk keseluruhan Platform. Hasil penghitungan nilai PFD tersebut menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang terpasang memiliki nilai SIL rendah dengan nilai PFD besar, yakni SIL 1. Penggunaan *safety redundant* dapat meningkatkan nilai PFD untuk masing-masing SIF. Hasil terbaik ialah menggunakan *safety redundant* dari basis 1oo1 menjadi 1oo2. Namun dengan melakukan perubahan dengan penggunaan *safety redundant* tidak cukup untuk meningkatkan nilai SIL untuk keseluruhan Platform. Perbedaan penggunaan *safety redundant* antara 1oo2 dan 2oo3 dimana keduanya mampu meningkatkan nilai SIL secara signifikan ialah dari segi ekonomis. Untuk *safety redundant* 1oo2 membutuhkan penambahan 1 buah komponen, baik sensor maupun *final element*, sementara untuk 2oo3 membutuhkan penambahan 2 buah komponen. Hal ini menunjukkan untuk penambahan menjadi 2oo3 akan membutuhkan biaya yang lebih besar jika dibandingkan dengan 1oo2.

IV.4.3 Meningkatkan *Test Interval* dan Mengubah Konfigurasi Komponen

Tabel IV.12 PFD Masing-Masing SIF *Platform* dengan *Redundancy* dan *Test Interval* 1 Bulan

SIF	TI = 1 bulan							
	1oo1		1oo2		2oo2		2oo3	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.0174	SIL 1	0.000048	SIL 2	0.0174	SIL 1	0.00010	SIL 2
Turbines	0.011	SIL 1	0.000031	SIL 2	0.0110	SIL 1	0.00006	SIL 2
Cooling	0.03	SIL 1	0.000086	SIL 2	0.0296	SIL 1	0.00017	SIL 2
ESD	0.165	UC	0.001	SIL 2	0.028	SIL 1	0.001	SIL 2
SIS	0.0574	SIL 1	0.0002	SIL 2	0.057	SIL 1	0.00033	SIL 2

Tabel IV.13 PFD Masing-Masing SIF *Platform* dengan *Redundancy* dan *Test Interval* 8 Bulan

SIF	TI = 8 bulan							
	1oo1		1oo2		2oo2		2oo3	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.1384	UC SIL	0.0031	SIL 2	0.1400	UC SIL	0.0062	SIL 2
Turbines	0.086	SIL 1	0.0019	SIL 2	0.0870	SIL 1	0.0040	SIL 2
Cooling	0.24	UC SIL	0.0051	SIL 2	0.2370	UC SIL	0.0110	SIL 2
ESD	0.165	UC SIL	0.003	SIL 2	0.084	SIL 1	0.004	SIL 2
SIS	0.3976	SIL 1	0.0101	SIL 2	0.401	SIL 1	0.02102	SIL 2

Tabel IV.14 PFD Masing-Masing SIF *Platform* dengan *Redundancy* dan *Test Interval* 12 Bulan

SIF	TI = 12 bulan							
	1001		1002		2002		2003	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.2100	UC SIL	0.0698	SIL 1	0.2090	UC SIL	0.0140	SIL 1
Turbines	0.130	UC SIL	0.0045	SIL 1	0.1300	UC SIL	0.0089	SIL 2
Cooling	0.35	UC SIL	0.0124	SIL 1	0.3560	UC SIL	0.0250	SIL 1
ESD	0.165	UC SIL	0.019	SIL 1	0.32	UC SIL	0.027	SIL1
SIS	0.5546	SIL 1	0.0855	SIL 1	0.557	SIL 1	0.04721	SIL 1

Dari Tabel IV.12 hingga IV.14 akan didapatkan nilai SIL untuk keseluruhan Platform. Hasil penghitungan nilai PFD tersebut menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang terpasang memiliki nilai SIL rendah. Penggunaan *safety redundant* dan peningkatan *test interval* dapat meningkatkan nilai SIL untuk masing-masing SIF. Hasil terbaik ialah dengan menggunakan *safety redundant* yang semula 1001 menjadi 1002 dengan *test interval* yang tetap yakni 4 bulan. Dengan melakukan penggunaan *safety redundant* dan peningkatan *test interval* tersebut cukup untuk meningkatkan nilai SIL untuk keseluruhan Platform menjadi SIL 1.

IV.5 Identifikasi Efek dan Penyebab

Setelah pembuatan equipment blok diagram, bagian terpenting ialah identifikasi moda kesalahan dan resiko terkait yang akan memberikan efek pada sebuah process safety. Secara umum, dapat diterima bahwa mayoritas kesalahan bukan *by accident*. Oleh karena itu, semua dapat dilakukan pencegahannya. Seorang professional akan dapat mengidentifikasi moda kesalahan dengan pengalamannya. hal ini penting untuk menentukan apa penyebab utama pada kesalahan yang terjadi. Karena beberapa moda kesalahan dapat menyebabkan kerusakan pada sistem, maka semua moda kesalahan akan dituliskan dalam bentuk list.

Semua moda kesalahan yang dapat terjadi akan dituliskan dalam bentuk tabel, pada tabel IV.15 seperti contohnya pada sistem production and transmission akan ada 7 moda kesalahan, begitu pun untuk keempat sistem yang lain akan dituliskan moda-moda kesalahan yang umum terjadi pada tabel IV.15.

IV.6 Penentuan Tingkat Severity, Occurrence dan Detection rate.

Seperti disebutkan pada sebelumnya bahwa, tingkat Severity, Occurrence dan detection rate harus ada untuk menentukan tingkat prioritas resiko utama pada sebuah geothermal power plant. Dengan mengalikan tingkat Severity, Occurrence dan Detection rate, kita akan mendapatkan angka Risk Priority Number untuk tiap moda kesalahan. Hasil FMEA worksheet, akan ditampilkan pada tabel 4.

Pada pekerjaan ini, beberapa aksi pengendalian juga akan direpresentasikan untuk mencegah terjadinya moda kesalahan. Dengan kata lain, control action adalah sebuah mekanisme yang dapat meminimalisir atau mencegah terjadinya lagi moda kesalahan.

Tabel IV.15 FMEA Worksheet Sistem Steam Gathering

Failure	Effect	Si	Cause	Oi	Control	Di	RPNi	Recommended Action
Sticking valve	Valve lost disk, scaling	2	Environmental Effect	8	Review Operation of valve	8	128	Overhaul
Leaking Glands	Split, Crack	8	Separator, Wrong Quality	7	Redesign Maintenance Schedule	6	336	Replace Glands
Blocked Pipes	Deformation	8	Deformation	7	Redesign Maintenance Schedule	6	336	Overhaul
Worn Valve Disk	Loss of Well	3	Leakage	8	Inhibit scaling agent	7	168	Replace
Failed Traps	Wrong Specification	8	Pressure Device	7	Redesign of steam traps	6	336	Replace
Scaling Problem	Production losses	9	Plugging and deposit	8	check different components	6	432	Replace
Corrosion Problems	Reduce efficiency	8	Steam corrosion cracking in steam turbines	8	Using high alloy metals	8	512	Replace

Tabel IV.16 FMEA Worksheet sistem Turbines and Auxiliaries

Failure	Effect	Si	Cause	Oi	Control	Di	RPNi	Recommended Action
Scaling on Rotor and Diaphragms blades	Reduced Efficiency	7	vibration	6	Review operating pressures and flow	6	252	Address the cause
Wear and Corrosion	Reduced Safety	6	Blocked blades	6	Check the steam drying process	5	180	Repair failed part
Sticking of valves	Reduced Efficiency	2	sticking, leaking	6	Regular stem free test of valves	3	36	Redesign the system
Rotor vibration	Loss of control	2	Inadequate flow	6	improve quality of cooling water	2	24	Detect and Identify

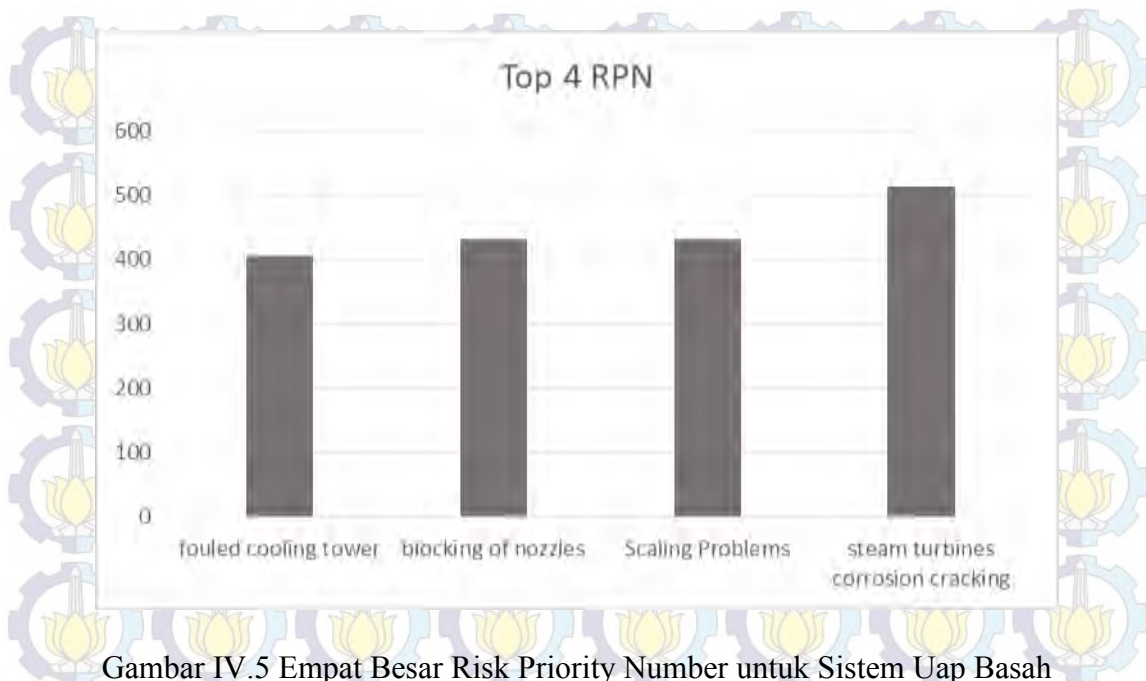
Tabel IV.17 FMEA Worksheet sistem Cooling and NCG

Failure	Effect	Si	Cause	Oi	Control	Di	RPNi	Recommended Action
Fouling of condenser tubes	loss efficiency	2	corrosion on tubes	10	improve quality of cooling water	7	140	Detect and Identify
Blocking of nozzles	loss efficiency	6	scaling and corrosion	9	improve steam processing	8	432	address the cause
fouled cooling tower fins	loss efficiency	9	Fan blade failure	9	chemical dosing of cooling tower	5	405	Repair the failed part
Vacuum pump water seal breaking	loss of vacuum	2	water seal break	9	check operating pressure for steam ejector	6	108	Redesign the system

IV.4 Pembahasan

Sesuai hasil pada tabel IV, prioritas tertinggi dapat dilihat pada gambar IV.5, lebih jauh lagi analisa output pada proses FMEA memberikan beberapa moda kesalahan tertinggi pada severity rate. Pada gambar IV.5 tingkat prioritas tertinggi atau RPN terbesar adalah 532 untuk masalah nozzles yang tersumbat akibat korosi, dimana dapat dikendalikan dengan instalasi backup safety dan kalibrasi peralatan secara berkala. Terdapat juga untuk RPN diatas 250 yakni fouled cooling tower, yang dapat dikendalikan dengan repair bagian yang mengalami kerusakan dan menggantinya secara berkala. Recommended action untuk dua kesalahan diatas ini adalah titik krusial pada masa depan geothermal power plant.

Sesuai hasil pada FMEA worksheet untuk tingkat severity tertinggi ada pada kesalahan pada motor. Sehingga, monitoring seluruh performa motor pada kesalahan motor sebagai factor pengendali akan menjadi solusi yang layak. Frekuensi tertinggi terjadi untuk masalah korosi. Air yang digunakan Geothermal masih dalam kondisi brine, dimana brine adalah potensi terbesar untuk timbulnya masalah korosi. Hal ini menyebabkan banyak variasi masalah operasional seperti well and line plugging, berkurangnya flow steam, hilangnya produksi tenaga, kerusakan peralatan, dan plant shutdown parsial maupun total. Masalah korosi juga menyebabkan peningkatan biaya pada operasi geothermal power plant. Untuk mengatasi masalah ini, penggunaan alloy metal akan sangat berguna. Disamping itu, kondisi operasi juga menentukan pembentukan korosi pada power plant. Pengurangan laju alir dan peningkatan tekanan power plant dapat membantu masalah korosi. Pengendalian korosi ini menjadi vital pada desain awal pembangunan geothermal power plant, dan untuk pencegahan awal yang dapat dipertimbangkan dalam pengoperasian power plant.



Gambar IV.5 Empat Besar Risk Priority Number untuk Sistem Uap Basah

IV. 5 Assesment untuk Pembangkit Geothermal Sistem Air Panas

Air panas yang keluar dari perut bumi pada umumnya berupa air asin panas yang disebut "brine" dan mengandung banyak mineral. Karena banyaknya kandungan mineral ini, maka air panas tidak dapat digunakan langsung sebab dapat menimbulkan penyumbatan pada pipa-pipa sistim pembangkit tenaga listrik. Untuk dapat memanfaatkan energi panas bumi jenis ini, digunakan sistem biner (dua buah sistem utama) yaitu wadah air panas sebagai sistem primemnya dan sistem sekundernya berupa alat penukar panas (*heat exchanger*) yang akan menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin. Energi panas bumi "uap panas" bersifat korosif, sehingga biaya awal pemanfaatannya lebih besar dibandingkan dengan energi panas bumi jenis lainnya.

Pada sistem ini sistem *steam separator* untuk berbeda pada sistem pertama, karena disini tidak memisahkan uap, akan tetapi juga memisahkan kandungan brine yang cukup tinggi. Dengan apabila asumsi keadaan untuk setiap switch, shut down valve dan panel yang sama dengan sistem pertama (Tabel IV.10) kecuali untuk bagian steam separator maka didapatkan hasil perhitungan seperti tabel berikut.

Tabel IV.20 SIF untuk sistem Geothermal Air Panas

No	SIF	PFD Avg	SIL
1	Steam Separator	0.10	UC SIL
2	Turbines	0.052	SIL 1
3	Cooling System	0.14	UC SIL
	SIS	0.27	UC SIL

Dari tabel IV.20 didapatkan hasil yang berbeda dengan hasil pada geothermal sistem uap basah (tabel IV.6). Pada sistem air panas didapatkan SIL uncertainty untuk SIF steam separator, hal ini sudah dijelaskan pada fenomena bahwa pada proses separasi ini melibatkan kandungan mineral garam yang lebih tinggi dari pada sistem Geothermal uap basah. Langkah selanjutnya adalah menentukan test interval untuk sistem kedua ini.

Tabel IV.21 Interval Test Sistem Geothermal Air Panas

SIF	BULAN							
	I		4		8		12	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.026	SIL 1	0.100	UC SIL	0.209	UC SIL	0.311	UC SIL
Turbines	0.013	SIL 1	0.052	SIL 1	0.104	UC SIL	0.155	UC SIL
Cooling	0.030	SIL 1	0.118	UC SIL	0.235	UC SIL	0.352	UC SIL
SIS	0.068	SIL 1	0.248	UC SIL	0.458	UC SIL	0.623	UC SIL

Dari Tabel IV.21 akan didapatkan nilai SIL untuk keseluruhan *Platform*. Hasil penghitungan nilai PFD tersebut menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang terpasang memiliki nilai SIL rendah dengan nilai PFD besar, yakni UC SIL. Dibandingkan dengan sistem pertama nilai SIL Uncertainty pada sistem air panas ini lebih banyak, terutama pada masalah steam separator.

Tabel IV.22 Nilai SIL sistem Air Panas tiap Konfigurasi Redundant untuk Tes Interval 1 bulan

SIF	TI = 1 bulan							
	1001		1002		2002		2003	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.0260	SIL 1	0.00016	SIL 3	0.0264	SIL 1	0.00023	SIL 2
Turbines	0.013	SIL 1	0.000046	SIL 3	0.0131	SIL 1	0.00009	SIL 3
Cooling	0.03	SIL 1	0.000130	SIL 3	0.0360	SIL 1	0.00026	SIL 2
ESD	0,165	UC	0,001	SIL 2	0,028	SIL 1	0,001	SIL 2
SIS	0.0675	SIL 1	0.0003	SIL 2	0.074	SIL 1	0.00058	SIL 2

Tabel IV.23 Nilai SIL sistem Air Panas tiap Konfigurasi Redundant untuk Tes Interval 4 bulan

SIF	Safety Redundant							
	1001		1002		2002		2003	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.100	UC SIL	0.0008	SIL 2	0.0675	SIL 1	0.0016	SIL 2
Turbines	0.052	SIL 1	0.00049	SIL 2	0.0524	SIL 1	0.0015	SIL 2
Cooling	0.140	UC SIL	0.0002	SIL 2	0.1440	UC SIL	0.0041	SIL 2
ESD	0,166	UC	0,008	SIL 2	0,167	UC	0,010	SIL 1
SIS	0.266	SIL 1	0.002	SIL 2	0.244	SIL 1	0.007	SIL 2

Tabel IV.24 Nilai SIL sistem Air Panas tiap Konfigurasi Redundant untuk Tes Interval 8 bulan

SIF	TI = 8 bulan							
	1001		1002		2002		2003	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.209	UC SIL	0.0074	SIL 2	0.2111	UC SIL	0.0148	SIL 1
Turbines	0.104	UC SIL	0.0030	SIL 2	0.1050	UC SIL	0.0059	SIL 1
Cooling	0.235	UC SIL	0.0082	SIL 2	0.2880	UC SIL	0.0369	SIL1
ESD	0,165	UC SIL	0,003	SIL 2	0,084	SIL 1	0,004	SIL 1
SIS	0.4576	UC SIL	0.0184	SIL 1	0.497	UC SIL	0.05675	SIL 1

Tabel IV.25 Nilai SIL sistem Air Panas tiap Konfigurasi Redundant untuk Tes Interval 12 bulan

SIF	TI = 12 bulan							
	1001		1002		2002		2003	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.311	UC SIL	0.0167	SIL 1	0.3167	UC SIL	0.0330	SIL 1
Turbines	0.155	UC SIL	0.0067	SIL 1	0.1571	UC SIL	0.0133	SIL 1
Cooling	0.352	UC SIL	0.0184	SIL 1	0.4314	UC SIL	0.0369	SIL 1
ESD	0.165	UC SIL	0.019	SIL 1	0.32	UC SIL	0.027	SIL1
SIS	0.6227	UC SIL	0.0413	SIL 1	0.673	UC SIL	0.08107	SIL 1

Dari Tabel IV.22 hingga IV.25 akan didapatkan nilai SIL untuk keseluruhan Platform. Hasil penghitungan nilai PFD tersebut menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang terpasang memiliki nilai SIL rendah. Penggunaan *safety redundant* dan peningkatan *test interval* dapat meningkatkan nilai SIL untuk masing-masing SIF. Sama seperti pada sistem pertama, hasil terbaik ialah dengan menggunakan *safety redundant* yang semula 1001 menjadi 1002 dengan *test interval* 1 bulan. Dengan melakukan penggunaan *safety redundant* dan peningkatan *test interval* tersebut cukup untuk meningkatkan nilai SIL untuk keseluruhan Platform menjadi SIL 2.

Tabel IV.26 FMEA Worksheet Sistem Air Panas untuk Steam Separator

Failure	Effect	Si	Cause	Oi	Control	Di	RPNi	Recommended Action
Sticking valve	Valve lost disk, scaling	2	Environmental Effect	8	Review Operation of valve	8	128	Overhaul
Leaking Glands	Split, Crack	8	Separator, Wrong Quality	9	Redesign Maintenance Schedule	6	432	Replace Glands
Blocked Pipes	Deformation	8	Deformation	7	Redesign Maintenance Schedule	6	336	Overhaul
Worn Valve Disk	Loss of Well	3	Leakage	8	Inhibit scaling agent	7	168	Replace
Failed Traps	Wrong Specification	8	Pressure Device	7	Redesign of steam traps	6	336	Replace
Scaling Problem	Production losses	9	Plugging and deposit	9	check different components	6	486	Replace
Corrosion Problems	Reduce efficiency	8	Steam corrosion cracking in steam turbines	10	Using high alloy metals	8	640	Replace

Tabel IV.27 FMEA Worksheet sistem Air Panas untuk Turbines and Auxiliaries

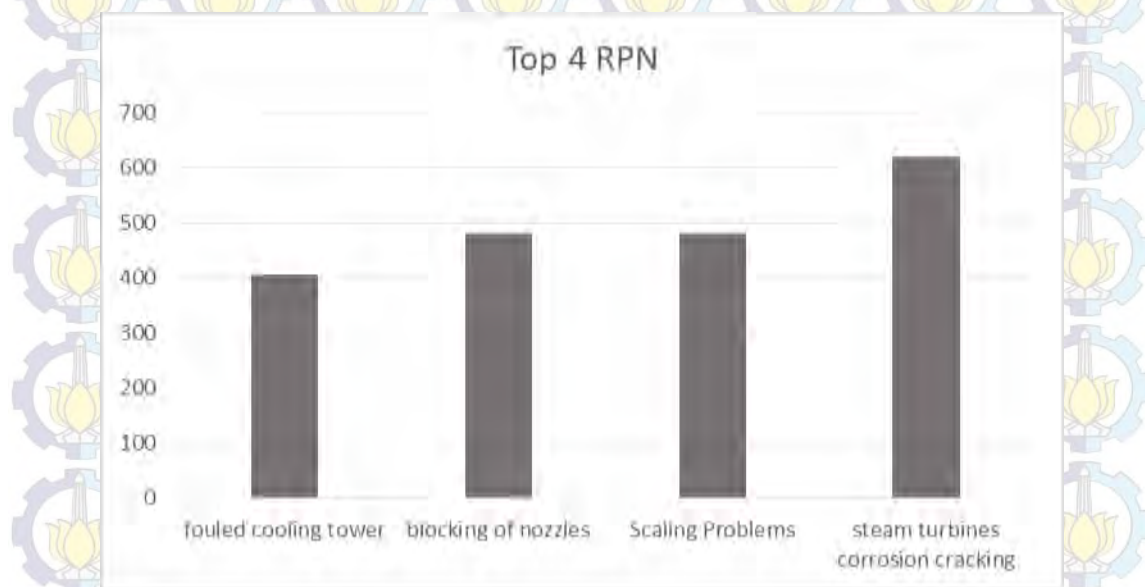
Failure	Effect	Si	Cause	Oi	Control	Di	RPNi	Recommended Action
Scaling on Rotor and Diaphragms blades	Reduced Efficiency	7	vibration	8	Review operating pressures and flow	6	336	Address the cause
Wear and Corrosion	Reduced Safety	6	Blocked blades	8	Check the steam drying process	5	240	Repair failed part
Sticking of valves	Reduced Efficiency	2	sticking, leaking	6	Regular stem free test of valves	3	36	Redesign the system
Rotor vibration	Loss of control	2	Inadequate flow	7	improve quality of cooling water	2	28	Detect and Identify

Tabel IV.28 FMEA Worksheet sistem Air Panas untuk Cooling System

Failure	Effect	Si	Cause	Oi	Control	Di	RPNi	Recommended Action
Fouling of condenser tubes	loss efficiency	2	corrosion on tubes	10	improve quality of cooling water	7	140	Detect and Identify
Blocking of nozzles	loss efficiency	6	scaling and corrosion	10	improve steam processing	8	480	address the cause
fouled cooling tower fins	loss efficiency	9	Fan blade failure	9	chemical dosing of cooling tower	5	405	Repair the failed part
Vacuum pump water seal breaking	loss of vacuum	2	water seal break	9	check operating pressure for steam ejector	6	108	Redesign the system

Pembahasan

Sesuai hasil pada tabel IV 26 hingga IV 28, prioritas tertinggi dapat dilihat pada gambar IV.6 lebih jauh lagi analisa output pada proses FMEA memberikan beberapa moda kesalahan tertinggi pada severitiy rate. Hasil tidak jauh berbeda dengan sistem uap basah, prioritas tertinggi harus di jatuhkan pada masalah korosi. Pada sistem Air Panas ini memberikan nilai yang sangat tinggi, yakni lebih dari 600 poin sedangkan pada sistem uap basah hanya memberikan poin 532. Tentunya hal ini sudah sangat wajar, mengingat kandungan garam yang lebih tinggi pada sistem air panas ini akan memberikan masalah korosi yang lebih tinggi pula.



Gambar IV.6 Empat Besar Risk Priority Number untuk Sistem Air Panas

Pada sistem Geothermal Air Panas ini empat prioritas terbesar masih sama seperti pada sistem uap basah. Keseluruhan masalah ini bersumber dari adanya korosi dan kerak yang terkandung pada steam.

IV. 6 Assesment untuk Pembangkit Geothermal Sistem Batuan Panas

Energi panas bumi jenis ketiga berupa batuan panas yang ada dalam perut bumi terjadi akibat berkontak dengan sumber panas bumi (magma). Energi panas bumi ini harus diambil sendiri dengan cara menyuntikkan air ke dalam batuan panas dan dibiarkan menjadi uap panas, kemudian diusahakan untuk dapat diambil kembali sebagai uap panas untuk menggerakkan turbin. Sumber batuan panas pada umumnya terletak jauh di dalam perut bumi, sehingga untuk memanfaatkannya perlu teknik pengeboran khusus yang memerlukan biaya cukup tinggi.

Energi yang berada pada *Hot Dry Rock* (HDR) ini disebut juga sebagai energi petrothermal, yang merupakan sumber terbesar dari energi panas bumi. HDR terletak pada kedalaman sedang dan bersifat impermeabel. Untuk menggunakan energi yang dimiliki HDR, perlu menginjeksikan air pada HDR dan mengembalikannya kembali ke permukaan. Hal ini membutuhkan mekanisme transportasi untuk dapat membuat batuan impermeabel menjadi struktur permeabel dengan luas permukaan perpindahan panas yang besar. Permukaan yang luas ini diperlukan karena sifat batu yang memiliki konduktivitas termal yang kecil. Proses perubahan batuan permeabel dapat dilakukan memecahkan batuan tersebut dengan menggunakan air bertekanan tinggi ataupun ledakan nuklir

Tabel IV.29 SIF untuk sistem Geothermal Batuan Panas

No	SIF	PFD Avg	SIL
1	Steam Separator	0.05	SIL 1
2	Turbines	0.0324	SIL 1
3	Cooling System	0.08	SIL 1
SIS		0.27	UC SIL

Dari tabel IV.29 didapatkan hasil yang berbeda dengan hasil pada geothermal sistem uap basah dan sistem air panas. Pada sistem batuan panas untuk masing masing sistem memiliki nilai SIL 1 yang artinya proses keselamatan berada pada lapis kedua, berbeda dengan kedua sistem sebelumnya dimana dalam sistem masih terdapat proses keselamatan lapis satu atau tingkat paling bawah.

Tabel IV.30 Interval Test Sistem Geothermal Batuan Panas

SIF	BULAN							
	I		4		8		12	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.013	SIL 1	0.050	SIL 1	0.107	UC SIL	0.160	UC SIL
Turbines	0.008	SIL 1	0.032	SIL 1	0.065	SIL 1	0.097	SIL 1
Cooling	0.021	SIL 1	0.080	SIL 1	0.167	UC SIL	0.250	UC SIL
SIS	0.042	SIL 1	0.154	UC SIL	0.304	UC SIL	0.431	UC SIL

Dari Tabel IV.30 akan didapatkan nilai SIL untuk keseluruhan *Platform*. Hasil penghitungan nilai PFD tersebut menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang terpasang memiliki nilai SIL rendah dengan nilai PFD besar, yakni UC SIL. Dibandingkan dengan sistem pertama dan kedua nilai SIL Uncertainty pada sistem air panas ini lebih sedikit.

Tabel IV.31 Nilai SIL sistem Batuan Panas tiap Konfigurasi Redundant untuk Tes Interval 1 bulan

SIF	TI = 1 bulan							
	1oo1		1oo2		2oo2		2oo3	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.01	SIL 1	0.000028	SIL 3	0.0013	SIL 2	0.00006	SIL 3
Turbines	0.008	SIL 2	0.000017	SIL 3	0.0081	SIL 2	0.00003	SIL 3
Cooling	0.02	SIL 1	0.000042	SIL 3	0.0021	SIL 2	0.00008	SIL 3
ESD	0,165	UC	0,001	SIL 2	0,028	SIL 1	0,001	SIL 2
SIS	0.0377	SIL 1	0.0001	SIL 2	0.012	SIL 1	0.00017	SIL 2

Tabel IV.32 Nilai SIL sistem Batuan Panas tiap Konfigurasi Redundant untuk Tes Interval 4 bulan

SIF	Safety Redundant							
	1001		1002		2002		2003	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.05	SIL 1	0.0008	SIL 2	0.0675	SIL 1	0.0016	SIL 2
Turbines	0.032	SIL 1	0.00049	SIL 2	0.0325	SIL 1	0.0005	SIL 2
Cooling	0.080	SIL 1	0.0007	SIL 2	0.0840	SIL 1	0.0014	SIL 2
ESD	0,166	UC SIL	0,008	SIL 2	0,167	UC	0,010	SIL 1
SIS	0.154	SIL 1	0.002	SIL 2	0.174	SIL 1	0.003	SIL 2

Tabel IV.33 Nilai SIL sistem Batuan Panas tiap Konfigurasi Redundant untuk Tes Interval 8 bulan

SIF	TI = 8 bulan							
	1001		1002		2002		2003	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.1068	UC SIL	0.0018	SIL 2	0.1070	UC SIL	0.0001	SIL 3
Turbines	0.065	SIL 1	0.0011	SIL 2	0.0650	SIL 1	0.0021	SIL 2
Cooling	0.167	UC SIL	0.0027	SIL 2	0.1680	UC SIL	0.0050	SIL 2
ESD	0,165	UC SIL	0,003	SIL 2	0,084	SIL 1	0,004	SIL 2
SIS	0.3043	UC SIL	0.0056	SIL 2	0.305	SIL 1	0.00715	SIL 2

Tabel IV.34 Nilai SIL sistem Batuan Panas tiap Konfigurasi Redundant untuk Tes Interval 12 bulan

SIF	TI = 12 bulan							
	1001		1002		2002		2003	
	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
Steam Gathering	0.1587	UC SIL	0.0040	SIL 2	0.1610	UC SIL	0.0080	SIL 2
Turbines	0.097	SIL 1	0.0024	SIL 2	0.0980	SIL 1	0.0048	SIL 2
Cooling	0.250	UC SIL	0.0061	SIL 2	0.2520	UC SIL	0.0121	SIL 1
ESD	0.165	UC SIL	0.019	SIL 1	0.32	UC SIL	0.027	SIL1
SIS	0.4302	UC SIL	0.0125	SIL 1	0.434	UC SIL	0.02471	SIL 1

Dari Tabel IV.30 hingga IV.33 akan didapatkan nilai SIL untuk keseluruhan Platform. Hasil penghitungan nilai PFD tersebut menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang terpasang memiliki nilai SIL rendah. Penggunaan *safety redundant* dan peningkatan *test interval* dapat meningkatkan nilai SIL untuk masing-masing SIF. Berbeda dengan sistem pertama dan kedua, untuk sistem ketiga ini sebenarnya dengan penggunaan safety redundant 1oo1 sudah cukup untuk atau memiliki nilai keselamatan lebih tinggi dari pada kedua sistem pertama, akan tetapi akan lebih baik jika menggunakan safety redundant 2oo3.

Tabel IV.34 FMEA Worksheet Sistem Batuan Panas untuk Steam Separator

Failure	Effect	Si	Cause	Oi	Control	Di	RPNi	Recommended Action
Sticking valve	Valve lost disk, scaling	2	Environmental Effect	8	Review Operation of valve	8	128	Overhaul
Leaking Glands	Split, Crack	6	Separator, Wrong Quality	4	Redesign Maintenance Schedule	6	144	Replace Glands
Blocked Pipes	Deformation	6	Deformation	5	Redesign Maintenance Schedule	6	180	Overhaul
Worn Valve Disk	Loss of Well	3	Leakage	8	Inhibit scaling agent	5	120	Replace
Failed Traps	Wrong Specification	8	Pressure Device	3	Redesign of steam traps	4	96	Replace
Scaling Problem	Production losses	5	Plugging and deposit	6	check different components	6	180	Replace
Corrosion Problems	Reduce efficiency	5	Steam corrosion cracking in steam turbines	6	Using high alloy metals	6	180	Replace

Tabel IV.35 FMEA Worksheet sistem Batuan Panas untuk Turbines and Auxiliaries

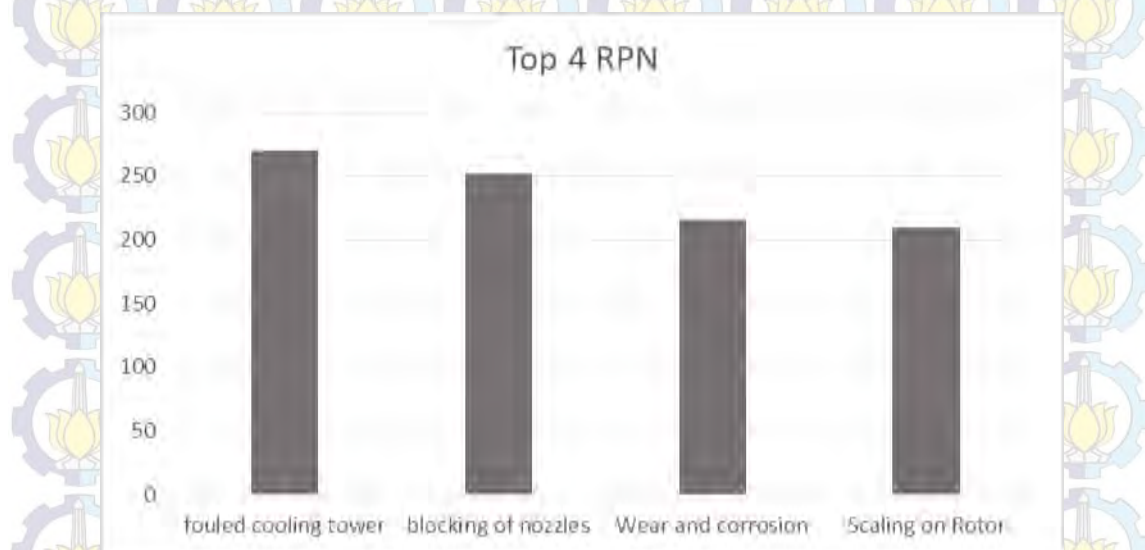
Failure	Effect	Si	Cause	Oi	Control	Di	RPNi	Recommended Action
Scaling on Rotor and Diaphragms blades	Reduced Efficiency	7	vibration	6	Review operating pressures and flow	5	210	Addres the cause
Wear and Corrosion	Reduced Safety	6	Blocked blades	6	Check the steam drying process	6	216	Repair failed part
Sticking of valves	Reduced Efficiency	2	sticking, leaking	6	Regular stem free test of valves	3	36	Redesign the system
Rotor vibration	Loss of control	2	Inadequate flow	6	improve quality of cooling water	2	24	Detect and Identify

Tabel IV.36 FMEA Worksheet sistem Batuan Panas untuk Cooling System

Failure	Effect	Si	Cause	Oi	Control	Di	RPNi	Recommended Action
Fouling of condenser tubes	loss efficiency	2	corrosion on tubes	7	improve quality of cooling water	7	98	Detect and Identify
Blocking of nozzles	loss efficiency	6	scaling and corrosion	6	improve steam processing	7	252	addres the cause
fouled cooling tower fins	loss efficiency	9	Fan blade failure	6	chemical dosing of cooling tower	5	270	Repair the failed part
Vacuum pump water seal breaking	loss of vacuum	2	water seal break	9	check operating pressure for steam ejector	6	108	Redesign the system

Pembahasan

Sesuai hasil pada tabel IV 34 hingga IV 36, prioritas tertinggi dapat dilihat pada gambar IV.7 lebih jauh lagi analisa output pada proses FMEA memberikan beberapa moda kesalahan tertinggi pada severity rate. Hasil berbeda dengan sistem uap basah dan sistem air panas, prioritas tertinggi harus dijatuhkan pada masalah di cooling tower. Pada sistem Batuan Panas ini fouled cooling tower memberikan nilai yang sangat tinggi, yakni lebih dari 272 poin sedangkan untuk masalah korosi dimana masalah utama pada dua sistem sebelumnya hanya memberikan 216 poin. Hal ini dapat terjadi karena sistem batuan panas beroperasi pada kedalaman yang lebih dalam dan tekanan yang lebih tinggi sehingga meminimalisir adanya kandungan mineral yang terikat pada steam.



Gambar IV.7 Empat Besar Risk Priority Number untuk Sistem Batuan Panas

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Gambaran moda kesalahan dari ketiga tipe Pembangkit Geothermal didapatkan dalam bentuk tingkat prioritas resiko atau Risk Priority Number. Pada Pembangkit Tipe Uap Basah maupun Air Panas moda kesalahan yang sering terjadi adalah dikarenakan korosi turbin disebabkan uap yang masih mengandung brine. Pada sistem Batuan Panas moda kesalahan yang beresiko tinggi adalah gagalnya proses pada cooling tower.
2. Dari hasil penelitian secara kuantitatif dan kualitatif didapatkan bahwa untuk sistem Uap Basah dan Air Panas prioritas utama kesalahan adalah pada gangguan korosi pada turbin. Sedangkan untuk sistem Batuan Panas Prioritas utama adalah pada kerusakan fan pada rotor dan blade, hal ini dikarenakan pada sistem Batuan Panas jumlah garam dan mineral yang terkandung pada steam sangat sedikit dikarenakan beroperasi pada kedalaman yang lebih serta pada tekanan yang sangat tinggi.
3. Nilai SIL dapat diperoleh dari nilai *failure rate*. Nilai SIL menunjukkan kemampuan SIS untuk mengurangi risiko bahaya yang terjadi. Semakin tinggi tingkat keselamatan di sebuah bagian dari *plant* maka akan semakin tinggi juga permintaan perawatan dan kebutuhan pengadaan alat keamanan yang digunakan. Pemilihan komponen yang handal dan pelaksanaan perawatan berbasis waktu sangat berpengaruh besar dalam peningkatan sistem keselamatan.
4. Dalam meningkatkan nilai SIL, ada beberapa cara yang dapat diaplikasikan antara lain:
 - a. Meningkatkan *test interval* atau *function test*.
 - b. Menambahkan *redundancy* 1oo2 atau 2oo3 pada sensor dan *final element*.
 - c. Mengganti alat yang memiliki nilai MTTF terendah.
 - d. Mengimplementasikan cara peningkatan SIL terbaik sesuai dengan faktor-faktor *safety*, efisien, dan *reliable* ialah dengan cara meningkatkan *test interval* dari semula 6 bulan menjadi 3 bulan, menggunakan *safety redundant* 1oo2.

VI.2 Saran

Dalam melakukan penelitian ini, terdapat saran yang dapat dipertimbangkan, yaitu :

1. Untuk meningkatkan keselamatan yang ada, peneliti menyarankan untuk menggunakan cara meningkatkan *test interval* serta menambahkan *redundancy* pada komponen sensor dan *final element*.
2. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan dapat menambahkan variabel harga/biaya untuk membandingkan biaya yang dikeluarkan untuk perawatan atau pengadaan alat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Geologi. *Potensi Energi Panas Bumi Indonesia*. 2009.
- Ballard, R.D.. "Encyclopedia of Volcanoe"; Academic Press, United States. 2000.
- Barbier E; "Geothemal Energy Technology and Current Status; *Journal of Renew Sustain Energy* 6, 3-65, 2002.
- Bogie L; Lawless J.V.; "Magmatic-Related Hydrotemal System : Classification of the Types of Geothermal Systems and Their Ore Minerallization; Geothermal Congress. 2005.
- Boudvarsson, G.S; Whitterspoon; "Geothermal Reservoir Engineering Part 1"; *Journal of Geothermal Sci. & Tech* 2 1-68. 1989.
- Chiotis E; Vrellis G; "Analysis of Casting Failures of deep Geothermal wells in Greece"; *Journal of Geothermic* 24, 695-705, 1995.
- Crowl, Daniel A. dan Joseph F. Louvar. 2002. *Chemical Process Safety : Fundamental with Applications 2nd edition*. United States of America : Prentice Hall PTR.
- Feili H.R; Akar N; Hosein L; Bairampour M; Nasiri S; "Risk Analysis of Geothermal Power Plants Using Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) Technique"; *Journal of Energy Conversion and Management* 72, 69-76, 2013.
- Henley, RW; Ellis A.J; "Geothermal system, ancient and modern"; *Earth Science Review* 19, 1-50. 1983
- Kanoglu M; "Energy Analysis of a dual level binary geothermal power plant"; *Journal of Geothermic* 31, 709-724, 2002.
- Kasbani; "Tipe Sistem Panas Bumi di Indonesia dan Estimasi Potensi Energinya"; Badan Geologi, 2011.
- Mandal S; Maiti J; "Risk Analysis Using FMEA: Fuzzy Similarity Value and Possibility Theory Based Approach; *Expert System and Application*, 2013.
- Mazur Z; Garcia P; Calderon P; "Last Stage Blade Failure Analysis of a 28 MW Geothermal Turbine"; *Journal of Engineering Failure Analysis* 16, 1020-1032, 2009.

Oldenholf M; Nauta M; Barends D.M; “*Consistency of FMEA Used in Validation of Analytical Procedure*”; Journal of Pharmaceutical and Biochemical Engineering 54, 592-595, 2011.

Puente J; Pino R; Priore P; “*A decision Support System for Applying Failure Modes and Effect Analysis*”; Qual Reliability Manage Journal 19, 137-150; 2002.

Rhee Sj; Ishii K; “*Using cost based of FMEA to enhance reliability and service ability*”; Journal of Advance Engineering 17, 179-188, 2003.

Stavrianidis, Paris dan Kumar Bhimavarapu. 2000. *Performance-based standards: safety instrumented functions and safety integrity levels*. Journal of Hazardous Materials, 71, 449-465. United States of America: Elviesier Science Ltd.

Skelton, Bob. 1997. *Process Safety Analysis: An Introduction*. United States of America: Gulf Publishing Company.

Stematis D.H; “*Failure Modes and Effects Analysis – FMEA From Theory to Execution*”; New York: ASQC Quality Press, 1995.

The Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA), ANSI/ISA TR 84.00.01-2004 (IEC 61511- mod) *part 1-3. Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector*.

Villacourt M; “*Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) : a guide for continuous improvement for the semiconductor equipment industry technology transfer*”; International SEMATECH technology transfer, Montopolis Drive : Austin, 1992.

Yari M; “*Exergetic Analysis of Various Types of Geothermal Power Plants*”; Journal of Renewable Energy 35, 112-121, 2010.

<http://www.esdm.go.id/panas-bumi> diakses 3 September 2013 pukul 19.04

<http://www.tempo.co> diakses 3 September 2013 pukul 19.10

BIODATA PENULIS

Fariz Hidayat



Lahir di Kota Batu, 9 Juni 1991. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Agus Pristiono dan Afiah Said Alkatiri. Penulis pernah bersekolah di SDN Ngaglik 01 Batu, SMP Negeri 01 Batu, dan SMA Negeri 01 Batu. Pada tahun 2009, dengan mengikuti SNMPTN, penulis diterima di Jurusan Teknik Kimia FTI - ITS.

Penulis memiliki kegemaran menulis dan riset, dari kegemaran ini penulis berhasil mendapatkan berbagai macam penghargaan yakni, Seputar Indonesia Innovation Awards pada tahun 2012, Anugerah Insan Cendikia dan Utama oleh ITS Surabaya pada tahun 2012 serta Mahasiswa Berprestasi I Jurusan Teknik Kimia dan Mahasiswa Berprestasi I Fakultas Teknologi Industri pada tahun 2013.

Penulis yang memiliki hobi sepak bola ini mengambil pilihan bidang pengendalian proses di waktu kuliah. Penulis juga pernah membuat Tugas Pra Desain Pabrik Cluster Liquefied Natural Gas (LNG) dan Penelitian Tuning MIMO IMC pada Proses Quadruple Tank semasa duduk di bangku kuliah. Penulis juga menjadi Asisten Laboratorium Kimia Organik semasa duduk di bangku kuliah.

e-mail : fariz.hidayat22@gmail.com

blog : profarizhidayat.blogspot.com