



**TESIS - PM 147501**

**IMPLEMENTASI PENDEKATAN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS  
(AHP) DAN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)  
DALAM PEMILIHAN TUBE BUNDLE EXTRACTOR DI PT XYZ  
ENERGY INC**

Ade Setiadi  
NRP 9115201709

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono M eng Sc.

DEPARTEMEN MANAJEMEN TEKNOLOGI  
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN NDUSTRI  
FAKULTAS BISNIS DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017







## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Ade Setiadi  
NRP. 9115201709

Tanggal Ujian : 17 Juli 2017  
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M. Eng. Sc. (Pembimbing)  
NIP. 1959031819870111001
2. Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, MSc. (Penguji)  
NIP. 1959044301989031001
3. Prof. (Riset) Dr. Ir. Buana Ma'ruf, Msc. (Penguji)  
NIP. 196110151987031003

Dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi,

Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc.  
NIP. 195903181987011001

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:**

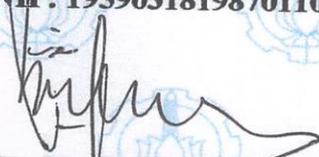
**ADE SETIADI**

**NRP. 9115201709**

**Tanggal Ujian : 19 Juni 2017  
Periode Wisuda : September 2017**

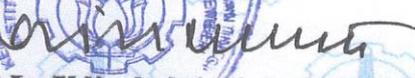
**Disetujui oleh:**

  
1. **Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, MEngSc** (Pembimbing)  
**NIP: 195903181987011001**

  
2. **Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, Msc** (Penguji)  
**NIP: 195904301989031001**

  
3. **Prof. (Riset) Dr. Ir. Buana Ma'ruf, Msc.** (Penguji)  
**NIP: 196110151987031003**

**Dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi,**

  
  
**Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, MEngSc**  
**NIP: 195903181987011001**

# IMPLEMENTASI PENDEKATAN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) DAN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DALAM PEMILIHAN TUBE BUNDLE EXTRACTOR DI PT XYZ ENERGY

Nama Mahasiswa : Ade Setiadi  
NRP : 9115201709  
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono M eng Sc.

## ABSTRAK

Seringnya terjadi kerusakan pada *tube bundle heat exchanger* hingga tidak bisa dipergunakan untuk berproduksi sesudah dilakukan aktivitas maintenance. Salah satunya adalah karena penggunaan *tube bundle extractor* yang tidak memenuhi standard keteknikan yang baik dan tidak adanya kajian risiko kegagalan dalam pengerjaannya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan prioritas pemilihan *Tube-Extractor* dan kajian kegagalan potensial pada tube extractor sebelum dimulai pekerjaan.

Pendekatan yang digunakan untuk prioritas pengambilan keputusan pememilihan *tube extractor* adalah pendekatan *Analytic Hierarchy Process* yang merupakan salah satu metode “*Multi Criteria decision making*” dan untuk kajian kegagalan potensial dari tube-extractor terpilih menggunakan *Failure Mode And Effect Analysis*. Ditetapkan tiga alternative, empat kriteria dan tujuh sub kriteria oleh ahli. Permasalahan-permasalahan tersebut didekomposisi dan dibuat dalam struktur hirarki keputusan. Selanjutnya dibuat matriks berpasangan untuk menilai tingkat kepentingan kriteria/sub kriteria satu lebih penting dari kriteria/sub kriteria lain. Kriteria-kriteria, Sub-sub Kriteria dan alternative-alternatif yang memiliki *priority vektor* yang tertinggi dan *Consistence Indexs (CI) < 10%* menjadi prioritas pertama untuk dipilih.

Untuk mengetahui penyebab kegagalan maka dilakukan analisa kapabilitas proses terhadap tube bundle heat exchanger dan didapatkan rasio Cp sebesar 5,04 artinya bahwa kemampuan proses optimum ( $C_p > 1$ ), Rasio Cpk sebesar 2,86 artinya proses sudah sesuai dengan batas spesifikasi. Analisa kegagalan potensial pada produk tube-extractor didapatkan empat sub system yang memiliki Risk Priority Nunber (RPN)  $> 200$  sehingga dilakukan perbaikan dengan menambahkan peralatan *prevention control* dan *detection control* sehingga RPN dapat diturunkan dan tube extractor terpilih direkomendasikan untuk dipergunakan pada proyek penggantian 6 buah tube bundle heat exchanger di PT XYZ Energy.

Kata Kunci: Analytic Hierarchy Process, Failure Mode and Effect Analysis, Priority Vector, CI, Cp, Cpk, RPN.

# **IMPLEMENTATION OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) AND FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) METHODS IN THE TUBE BUNDLE EXTRACTOR SELECTION STRATEGY AT PT XYZ ENERGY**

Student Name : Ade Setiadi  
NRP : 9115201709  
Counselor : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono M. Eng Sc.

## **ABSTRACT**

Frequent damage to the tube bundle heat exchanger that cannot be used after maintenance activities. One of the problems is that the use of a tube bundle extractor that does not meet good engineering standards and the absence of risk assessment of failure in the working process. This study aims to prioritize Tube-Extractor selection and potential failure studies on tube extractor prior to commencement of work.

The approach used to prioritize tube extractor decision making is the Analytic Hierarchy Process approach and to study potential failures of selected tube-extractors using Failure Mode And Effect Analysis. Three alternatives are defined, four criteria and seven sub criteria by the expert. These problems are decomposed and made in the hierarchical structure of decisions. Subsequently, a pairwise comparison matrix is made to assess the importance of criteria / sub criteria one more important than other. The Criteria, Sub-Criteria and Alternatives with the highest priority vector and Consistence Index (CI) <10% are the first priority to be selected.

To find out the cause of failure then do analysis of process capability to tube bundle heat exchanger and get ratio of Cp equal to 5,04 meaning that process capability is optimum (Cp) > 1, Cpk ratio equal to 2,86 mean process is in accordance with limit of specification. A potential failure analysis of the tube-extractor product was obtained by four sub-systems that have Risk Priority Number (RPN) > 200 so that it was repaired by adding prevention control and detection control equipment so that RPN can be degraded and the selected tube extractor was recommended for use on the replacement project of 6 tubes Bundle heat exchanger at PT XYZ Energy.

Keywords: Analytic Hierarchy Process, Failure Mode and Effect Analysis, CI, Cp, Cpk, RPN.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Manajemen Teknik pada Bidang Keahlian Manajemen Industri, Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, dengan Judul:

**“Implementasi Pendekatan *Analytic Hierarchy Process (AHP)* dan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* Dalam Pemilihan Tube-Extractor Di PT XYZ Energy”**

Dalam penulisan Tesis ini penulis banyak mendapatkan bantuan, saran, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, MEngSc selaku pembimbing yang telah memberikan dukungan dan saran, serta telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing menjelaskan dan mengarahkan demi penulisan Tesis yang lebih baik dan bermanfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan.
2. Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, Msc dan Prof. Dr. Ir. Buana Ma'ruf, Msc yang telah bersedia menjadi penguji pada sidang Tesis ini. Terima kasih untuk masukan dan sarannya.
3. Terima kasih tak terhingga untuk keluarga tercinta, istri dan anak-anak atas doa, perhatian dan dukungan moral demi terselesaikannya Tesis ini. Semoga menjadi amal ibadah dan kebaikan bagi kita semua.
4. Terima kasih untuk Dosen dan Staf akademik Manajemen Teknologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya atas ilmu, pendidikan, bimbingan dan bantuan yang telah diberikan. Semoga amal ibadah Bapak/Ibu mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT.

5. Terima kasih untuk rekan-rekan seperjuangan Magister Manajemen Teknologi ITS Kelas Kerjasama ITS-Pertamina Jakarta tahun 2015, yang telah berjuang bersama menuntut ilmu diantara kesibukan pekerjaan dan rela meninggalkan keluarga.
6. Terimakasih untuk Jakaria, Stevanus Iwan, Azmie, serta para nara sumber ahli lainnya atas bantuan, informasi, masukan serta saran dalam melengkapi penulisan Tesis ini.
7. Terima kasih untuk seluruh pihak yang telah membantu demi kelancaran penulisan Tesis ini.

Semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan pada umumnya dan bagi mahasiswa Jurusan Magister Manajemen Teknologi ITS pada khususnya.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	iii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumumsan Masalah.....	5
1.2.1. Pembatasan Masalah.....	5
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	5
1.3.1. Tujuan Penelitian .....	5
1.3.2. Manfaat Penelitian .....	6
1.4. Ruang Lingkup Penelitian .....	6
1.5. Sistematika Penulisan .....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	9
2.1. Tube-Extractor.....	9
2.1.1. Conventional Tube-Extractor .....	9
2.1.2. Hydraulic Tube- Extractor .....	10
2.1.3. Semi-Authomatic Tube- Extractor.....	12
2.2. Proses Pengambilan Keputusan.....	14
2.3. Pendekatan “ <i>Analytical Hierarchy Process</i> ” (AHP) .....	16
2.3.1. Membuat Keputusan Dengan Metoda AHP .....	16
2.4. FMEA ( <i>Falilure Mode and Effect Analysis</i> ) .....	22
2.4.1. Tujuan FMEA ( <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> ) .....	23
2.4.2. Risk Priority Number.....	24
2.4.3. Langkah Penyelesaian FMEA .....	26
2.5. Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian .....	31
BAB 3 METODELOGI PENELITIAN .....	33

3.1.	Metode Penelitian .....	33
3.1.1.	Diagram Alir Penelitian .....	<b>33</b>
3.2.	Jenis Dan Desain Penelitian.....	35
3.3.	Instrumen Penelitian .....	36
3.4.	Jenis dan Narasumber Data.....	37
3.4.1.	Jenis data .....	<b>37</b>
3.4.2.	Narasumber Data.....	<b>37</b>
3.5.	Pengolahan dan Analisis Data. ....	37
3.5.1.	Pengolahan Data menggunakan AHP .....	<b>38</b>
3.5.2.	Pengolahan Data Menggunakan FMEA.....	<b>39</b>
BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA.....		41
4.1.	Data Spesifikasi Teknis Alternatif Tipe Tube Extractor.....	41
4.1.1.	Spesifikasi Teknis Alternatif <i>Tube-Extractor</i> .....	<b>41</b>
4.1.2.	Profil Kriteria dan Sub Kriteria Penting Prioritasi Pemilihan Tube-Extractor	<b>42</b>
4.1.3.	Model Struktur Pilihan Alternatif dan Kriteria .....	<b>44</b>
4.2.	Perhitungan Matriks Berpasangan AHP .....	45
4.3.	Analisis Matriks Berpasangan. ....	50
4.4.	Analisis Sensitivitas.....	64
4.5.	Struktur Tipe Semi-Automatics Tube - Extractor.....	68
4.5.1.	Fungsi Bagian Tube Bundle Extractor. ....	<b>69</b>
4.6.	Analisis Kegagalan Potensial Tube Bundle Heat Exchanger. ....	69
4.6.1.	Analisis Kegagalan Potensial Produk Tube Bundle Heat Exchanger.	<b>71</b>
4.6.2.	Identifikasi dan Analisis Kegagalan Potensial Semi- Automatic Tube-Extractor.....	<b>75</b>
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		85
5.1.	Kesimpulan. ....	85
5.2.	Saran. ....	86
DAFTAR PUSTAKA.....		87

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Conventional tube- extractor (M3 Energy) .....	10
Gambar 2. 2 Hydaraulics tube-extractor (US Patent no. 3,836,015) .....	11
Gambar 2. 3 Aktifitas Penggantian Tube Bundle(Training Handbook , 1966) ....	12
Gambar 2. 4 Semi-automatics Tube-Extractor(Patil et al., 2013) .....	13
Gambar 2. 5 Tahapan Proses Pengambilan Keputusan Rasional Model Simon (Turban et al., 2005) .....	15
Gambar 2. 6 Hirarki AHP(Saaty,. 1980) .....	17
Gambar 2. 7 Perbandingan Matriks(Ciptomulyono,. 2001) .....	17
Gambar 2. 8 Perkalian Matriks(Ciptomulyono,. 2001) .....	18
Gambar 2. 9 Proses Analisis Hirarkhis -AHP(Ciptomulyono,. 2001) .....	22
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	34
Gambar 3. 2 Prosedur Penyelesaian AHP .....	39
Gambar 4. 1 Hirarki Pemodelan Pemilihan Tube Bundle Extractor .....	45
Gambar 4. 2 Pembobotan Kriteria Pemilihan Tube Extractor .....	50
Gambar 4. 3 Priority Vektor Kriteria Pemilihan Tube Extractor. ....	50
Gambar 4. 4 Pembobotan Sub-Kriteria Penempatan .....	51
Gambar 4. 5 Priority Vektor Sub-Kriteria Penempatan .....	51
Gambar 4. 6 Pembobotan Sub-Kriteria Keandalan .....	52
Gambar 4. 7 Priority Vektor Sub-Kriteria Keandalan .....	52
Gambar 4. 8 Pembobotan Alternatif dari Kriteria penempatan dan Sub-Kriteria Dimensi .....	53
Gambar 4. 9 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Dimensi .....	53
Gambar 4. 10 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Ketinggian Shell .....	54
Gambar 4. 11 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub- Kriteria Ketinggian Shell .....	54
Gambar 4. 12 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Radius Kerja Crane .....	55
Gambar 4. 13 Priority Vektor Alternatif dari Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Radius Kerja Crane. ....	55
Gambar 4. 14 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Placement dan Sub-Kriteria Beban Kerja Aman Crane .....	56
Gambar 4. 15 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub- Kriteria Beban Kerja Aman Crane .....	56
Gambar 4. 16 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria Lever Block. ....	57

Gambar 4. 17 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria Lever Block. ....	57
Gambar 4. 18 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria Hydraulics Cylinder & Hyd Winch .....	58
Gambar 4. 19 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria Hydraulics Cylinder & Hyd Winch .....	58
Gambar 4. 20 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria Geared Motor & Bevel Gear .....	59
Gambar 4. 21 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria Geared Motor & Bevel Gear .....	59
Gambar 4. 22 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Jumlah Tenaga Kera .....	60
Gambar 4. 23 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Jumlah Tenaga Kera .....	60
Gambar 4. 24 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Biaya .....	61
Gambar 4. 25 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Biaya .....	61
Gambar 4. 26 Hasil Priority Ranking Alternatif Pemilihan Keputusan Tube – Extractor adalah Semi-Automtics Tube Extractor dengan Priority 52.2% ...	62
Gambar 4. 27 Grafik Priority Ranking Alternatif Pemilihan Keputusan Tube – Extractor .....	63
Gambar 4. 28 Anailisis Sensitivitas Dynamic Dan Performance Perubahan Nilai Kriteria Penempatan .....	64
Gambar 4. 29 Anilisis Sensitivitas Dynamic Perubahan Kriteria Keandalan .....	65
Gambar 4. 30 Anailisis Sensitivitas Dynamic Perubahan Nilai Kriteria Jumlah Tenaga Kerja .....	66
Gambar 4. 31 Anailisis Sensitivitas Dynamic Perubahan Nilai Kriteria Biaya ...	67
Gambar 4. 32 Susunan unit semi automatic tube bundle extractor .....	68
Gambar 4. 33 Kerusakan Tube Bundle Heat Exchanger Unit .....	70
Gambar 4. 34 Diagram Pareto kerusakan tube bundle heat exchanger unit .....	71
Gambar 4. 35 Statistical Process Control Out side Diameter Baffle Plate .....	73
Gambar 4. 36 Process Capability Out side Diameter Baffle Plate .....	73
Gambar 4. 37 Profile Slide dan Srew Jack Synchronization .....	76
Gambar 4. 38 Baffle Plate Desain .....	76
Gambar 4. 39 Tube Sheet Trolley Desain .....	77
Gambar 4. 40 Diagram Pareto Penyebab Kegagalan Potensial .....	80

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai Random Indek .....	20
Tabel 2. 2 Pedoman Pemberian Nilai Berpasangan .....	21
Tabel 2. 3 Lembar kerja ruang lingkup FMEA desain/produk .....	25
Tabel 2. 5 Evaluasi Kriteria Severity FMEA Desain .....	27
Tabel 2. 6 Evaluasi Kriteria Kejadian FMEA Desain .....	28
Tabel 2. 7 Evaluasi Kriteria Detection FMEA Desain.....	29
Tabel 2. 8 Penelitian Terdahulu .....	31
Tabel 3. 1 Narasumber .....	37
Tabel 4. 1 Data Spesifikasi Teknis Alternatif Tube Extractor .....	42
Tabel 4. 2 Deskripsi Kriteria-kriteria Penting Pemilihan Tube Extractor .....	43
Tabel 4. 3 Deskripsi Sub-Kriteria Penting Lokasi Penempatan .....	43
Tabel 4. 4 Deskripsi Sub-Kriteria Penting Keandalan .....	44
Tabel 4. 5 Matriks Perbandingan Berpasangan Kriteria Tube Extractor .....	46
Tabel 4. 6 Matriks Perbandingan Berpasangan Sub Kriteria Lokasi Penempatan Tube- Extractor .....	46
Tabel 4. 7 Matriks Perbandingan Berpasangan Sub Kriteria Keandalan .....	46
Tabel 4. 8 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Penempatan dan Sub- Kriteria Dimensi .....	47
Tabel 4. 9 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Penempatan dan Sub- Kriteria Ketinggian Shell .....	47
Tabel 4. 10 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Penempatan dan Sub- Kriteria Radius Kerja Crane .....	47
Tabel 4. 11 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Penempatan dan Sub- Kriteria Beban Kerja Aman Crane .....	48
Tabel 4. 12 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Keandalan dan Sub- Kriteria Manual .....	48
Tabel 4. 13 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Keandalan dan Sub- Kriteria Hydraulic Cilynder .....	48
Tabel 4. 14 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Keandalan dan Sub- Kriteria Hydraulic Winch .....	49
Tabel 4. 15 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Jumlah Tenaga Kerja ..	49
Tabel 4. 16 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Jumlah Tenaga Kerja ..	49
Tabel 4. 17 Jumlah kerusakan Komponen Tube Bundle Heat Exchanger Unit ....	70
Tabel 4. 18 Data Ukuran Diameter Luar Baffle Plate .....	72
Tabel 4. 19 Occurrence; DFMEA Custom Rangkaing, Piece-Based .....	74
Tabel 4. 20 Lembar Kerja FMEA Analisa Kegagalan Potensial Tube Extractor (Initial Analysis) .....	78
Tabel 4. 21 Nilai RPN Potential Cause Of Failure .....	79
Tabel 4. 22 Lembar Kerja FMEA Analisa Kegagalan Potensial Tube Extractor (Complete Analysis) .....	82

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kusioner .....	90
Lampiran 2 Lay out Area Penggantian Tube bundle .....	97
Lampiran 3 Spesifikasi Tehnik Semi-Automatic tube-Extractor .....	98
Lampiran 4 Spesifikasi Tehnik Hydraulic Tube-Extractor .....	99
Lampiran 5 Data Harga Sewa Alat Dan Ongkos Kerja .....	100
Lampiran 6 Hydraulics Tube Extractor Rental .....	101
Lampiran 7 Area Jangkauan Crane .....	102
Lampiran 8 Sudut Kerja dan Beban Kerja Aman .....	103
Lampiran 9 Perhitungan AHP Dengan Excel .....	104
Lampiran 10 Desain Tube Bundle Heat Exchanger .....	117
Lampiran 11 Ukuran Tube Bundle Heat Exchanger Unit .....	118
Lampiran 12 Gambar Tube Bundle .....	119
Lampiran 13 Gambar Detail Of Body Flange And Tube Sheet .....	120
Lampiran 14 Desain Data .....	121
Lampiran 15 Desain Data Tube Bundle .....	122

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Capaian produksi merupakan salah satu indikator kinerja perusahaan pada industry yang memproduksi produk jadi, dan proses produksinya berlangsung terus menerus. Namun target produksi seringkali tidak tercapai disebabkan oleh beberapa factor yang saling terkait. Misalnya factor kehandalan peralatan produksi yang mengalami penurunan performa atau mengalami kerusakan sehingga peralatan tersebut tidak dapat dioperasikan secara optimal. Setiap industri yang beroperasi secara kontinu harus memelihara peralatan-peralatan produksinya secara efektif agar mencapai kapasitas rancangannya (Nguyen, 2008). Dengan demikian, setiap pabrik memerlukan pemeliharaan peralatan yang efektif. Produktivitas yang tinggi pada sebuah perusahaan dapat dicapai ketika proses produksi pada perusahaan tersebut berjalan dengan lancar.

Perusahaan XYZ *energy* adalah perusahaan minyak yang beroperasi menggunakan sebuah “*Floating Production Storage and Offloading*” (FPSO). FPSO adalah sebuah kapal tanker yang didesain untuk memproduksi minyak dan gas bumi mulai dari pengangkatan minyak dan gas dari dalam sumur, proses pemisahan minyak dan gas, proses pemisahan minyak, air dan sedimen sedimen terikut “peningkatan tekanan gas “*gas compression*”, power generator untuk pembangkit listrik, pompa untuk pengapalan minyak hasil olahan ke kapal tanker untuk dikirimkan ke unit penyulingan minyak serta dilengkapi dengan sarana akomodasi untuk karyawan yang bekerja disana, dengan fasilitas produksi yang sangat banyak ditempatkan diatas kapal tanker tersebut maka bisa kita bayangkan sempitnya area kerja dan betapa tingginya resiko bekerja di FPSO tersebut. “*Tube bundle heat exchanger*” merupakan salah satu peralatan produksi yang penting dalam proses produksi sehingga dapat mempengaruhi tercapainya target produksi.

“*Tube bundle heat Exchanger*” adalah alat yang digunakan untuk transfer

energi panas Antara dua atau lebih cairan pada suhu yang berbeda (Kakac Sadik et al., 2012).

Berdasarkan informasi dari manajemen PT XYZ Energy bahwa tube bundle heat exchanger yang terpasang diatas FPSO tersebut banyak mengalami kebocoran sehingga proses pemisahan gas dengan cairan menjadi tidak efektif. Banyak cairan yang terikut dalam gas, dan menyebabkan gas compressor menjadi rusak. Produksi minyak menjadi terganggu dikarenakan gas yang dipergunakan untuk mengangkat minyak tidak dapat mencapai tekanan yang diperlukan. Selain itu *tube bundle heat exchanger* mengalami kerusakan pada *baffle tube* dan dinding *shell* bagian dalam ketika dikeluarkan dari dalam casing.

Untuk mengembalikan produksi dan mencegah terjadi kerusakan yang lebih parah maka manajemen XYZ energy merencanakan sebuah proyek pemeliharaan dan perawatan untuk penggantian 6 buah "*tube bundle heat exchanger*", dengan tujuan untuk mengembalikan efisiensi dari "*heat exchanger*" sehingga dapat meningkatkan produksi kembali ke titik yang optimal dan mencegah kerusakan peralatan lain yang diakibatkan oleh kebocoran tube bundle heat exchanger tersebut. Untuk melakukan penggantian "*tube bundle heat exchanger*" diperlukan alat yang disebut "*tube- extractor*".

"*Tube Bundle Extractor*" adalah alat untuk mengeluarkan atau memasukan tube bundle heat exchanger dari atau ke dalam "*shell casing*".(Travis., 1974). Adanya kemungkinan kegagalan alat dan sempitnya area kerja yang dapat menimbulkan kecelakaan pada sebuah proyek maintenance, akan menjadi salah satu penyebab terganggunya atau terhentinya aktivitas proyek, meningkatnya kehilangan produksi akibat peralatan produksi tidak dapat di operasikan serta membengkaknya biaya pekerjaan proyek tersebut. Oleh karena itu, dalam melakukan pemilihan alat yang akan digunakan harus juga meliputi kajian resiko mengenai lokasi dimana pekerjaan akan dilakukan, area untuk penempatan alat serta kegagalan potensial dari alat yang dipilih.

"*Tube-extractor*" yang terpasang di FPSO tersebut merupakan salah satu model konvensional tube-extractor yang dianggap tidak sesuai dengan tuntutan keselamatan kerja seperti yang diamanatkan oleh UU no 22 tahun 2001 Tentang

Minyak Dan Gas Bumi, pasal 40 ayat 1 dan 2 dan PP no 35 tahun 2004 Kegiatan Usaha Hulu Minyak Dan Gas. Disamping itu, berpotensi dapat mengakibatkan kerusakan pada “*tube bundle heat exchanger*“ yang baru, seperti terjadi pada “*tube bundle heat exchanger existing*” waktu dilakukan inspeksi.

“*Tube bundle extractor*” yang akan dipilih harus lebih baik dari “*existing*” dan memenuhi kriteria antara lain; bisa ditempatkan di area terbatas dan mudah dipindah-pindahkan, dapat menahan beban yang sangat berat, jumlah pekerja yang dibatasi, waktu pengerjaan yang terbatas disebabkan oleh “*window shut down*” yang diijinkan SKK Migas hanya sebentar supaya loss produksi tidak terlalu banyak. Disamping itu “*tube bundle extractor*” yang dipilih harus memenuhi persyaratan standarisasi peralatan seperti diamanatkan UU No 22 tahun 2001. Untuk meminimalisir risiko potensial yang ada dan mengidentifikasi kemungkinan kegagalan yang akan terjadi, diantaranya: pekerja harus mempunyai “*safety behavior*” yang baik, “*tube bundle extractor*” yang dipilih dapat meminimalisir gesekan antara dua metal “*buffle tube sheet*” dan “*shell casing*” sehingga tube bundle dan casing tidak rusak ketika proses pengerjaan, alat penarik atau pendorong harus mempunyai kekuatan yang tinggi sehingga tidak putus dan dapat mencederai pekerja waktu mengeluarkan atau memasukan tube bundle dari/ke dalam casing, penggerak harus “*non spark*” dan “*explosion proof*” karena akan ditempatkan pada daerah berbahaya yang mempunyai potensi terjadi kebocoran gas sehingga jika terjadi percikan maka akan timbul ledakan atau kebakaran yang diakibatkan terbentuknya segitiga api dimana gas hidrokarbon dan udara sudah tercampur dan dipicu oleh percikan api yang merupakan sumber panas sehingga dapat mengancam jiwa pekerja yang ada di FPSO dan menghancurkan fasilitas.

Terkait dengan tuntutan produksi, lokasi, area kerja, bundle puller yang ada serta tuntutan keselamatan kerja yang tinggi sebagaimana UU No 22 tahun 2001, maka pengambilan keputusan untuk memilih “*tube bundle extractor*” menjadi penting.

Ciptomulyono (2001) memaparkan pada umumnya banyak pengaruh factor subjektif dan ketidak pastian dalam penentuan objektif/kriteria suatu keputusan, misalnya factor preferensi, “*judgment*”, latar belakang dan pengalaman

pengambil keputusan. Latar belakang aspek kognitif yang berkaitan dengan penerimaan suatu informasi untuk membentuk dan mempengaruhi proses pengambilan keputusan yaitu faktor pemahaman atas problematik, kepercayaan, nilai-nilai dan persepsi. Ketidak tepatan penentuan objektif dan kriteria akibat penerimaan informasi yang bias, mengarahkan hasil pengambilan keputusan yang kurang tepat.

“*Analytic Hierarchy Process*” (AHP) adalah salah satu metoda “*Multi Criteria decision making*” yang diakui oleh banyak peneliti sebagai alat untuk pengambilan keputusan yang mempunyai keunggulan dalam hal kesederhanaan dan kemudahan pemakaian dibanding alat bantu pendukung keputusan lain seperti ELECTRE-I/II/III dan “*Multi Attribut Utility Theory*” (MAUT) atau PROMMETHE (Ciptomulyono., 2001).

Xu et al (2002) FMEA “*Failure Mode and Effect Analysis*” merupakan suatu alat manajemen risiko yang penting yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan kegagalan yang diketahui atau kegagalan potensial untuk meningkatkan keandalan dan keamanan produk yang sederhana atau bahkan sistem yang kompleks.

Dari pemaparan yang disajikan diatas, dapat disimpulkan bahwa, pemilihan alat yang sesuai dan manajemen risiko yang tepat perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya kejadian-kejadian yang tidak diinginkan dan memberikan dampak positif pada kesuksesan proyek “*maintenance*” tersebut. Dalam penelitian ini penentuan prioritas dan pemilihan *tube bundle extractor* diusulkan menggunakan pendekatan “*Analytic Hierarchy Process*” (AHP), seperti yang dilakukan Saaty 1988, “*Analytic Hierarchy Process*” (AHP) digunakan untuk melakukan pemilihan tipe platform terbaik yang akan dibangun untuk pengeboran minyak di Atlantik Utara dan untuk mengetahui adanya risiko kegagalan diusulkan menggunakan “*Failure Mode And Effect Analysis*” (FMEA), seperti penelitian terdahulu (Hu et al., 2015) *Improving risk evaluation in FMEA with Hybrid MCDM*.

## **1.2. Perumumsan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan pemilihan tube bundle extractor yang sesuai untuk dipergunakan di *Floating Production Storage and Offloading (FPSO) XYZ Energy* dengan menggunakan metode AHP?
2. Bagaimana melakukan evaluasi kemungkinan kegagalan *tube-extractor* dengan metode FMEA?
3. Bagaimana memberikan rekomendasi pemilihan tipe tube bundle extractor terbaik untuk digunakan di *Floating Production Storage and Offloading (FPSO) XYZ Energy*?

### **1.2.1. Pembatasan Masalah**

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah serta karena keterbatasan waktu, biaya, tenaga, teori dan supaya penelitian lebih mendalam maka penelitian dibatasi pada aspek pemilihan “tube- extractor” serta analisis kegagalan potensial dari tube-extractor yang terpilih. Hal-hal lain diluar lingkup penelitian ini tidak akan dibahas.

## **1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian**

### **1.3.1. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan pada perumusan masalah dan latar belakang yang sudah dipaparkan diatas maka tujuan penelitian dari tesis ini adalah:

1. Merumuskan pengambilan keputusan berdasarkan kriteria pemilihan “*tube bundle extractor*” yang tepat untuk digunakan pada proyek penggantian 6 buah “*tube-bundle heat exchanger*” di FPSO XYZ Energy.
2. Melakukan analisis kemungkinan kegagalan potensial dari “*tube-bundle extractor*” yang dipilih.
3. Melakukan pemilihan “*alternative*” terbaik untuk “*tube-bundle extractor*” yang akan digunakan pada fasilitas produksi minyak dan gas bumi di offshore khususnya di FPSO.

### 1.3.2. Manfaat Penelitian

Melalui penulisan tesis ini, penulis berharap dapat memberikan manfaat atau sumbangsih antara lain:

1. Menjadi salah satu rujukan kepada pemilik proyek dalam mengambil keputusan pemilihan “*tube bundle extractor*” untuk dipergunakan di masa yang akan datang.
2. Menjadi salah satu rujukan kepada eksekutor proyek dalam pengambilan keputusan untuk proyek penggantian atau perawatan “*tube bundle heat exchange*” di masa datang dan di perusahaan lain.
3. Menambah pengetahuan akademisi dalam penerapan “*Multi Criteria Decision Making*” melaui pendekatan AHP dan FMEA.

### 1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dilakukan di FPSO Ratu Nusantara, dengan memperhatikan kepentingan *stakeholder* dan *shareholder* agar mendapatkan pengambilan keputusan yang tepat, sesuai dengan kriteria yang ditentukan. Batasan dari penelitian ini antara lain :

1. Data yang digunakan hanya dalam waktu rentang 2 Tahun dari 2015-2016.
2. Data kriteria dan penilaian yang diambil berdasarkan data kuesioner yang di isi oleh para *expert* dibidangnya.
3. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan October - Mei 2017 dengan pengumpulan data sekunder dan data primer diperoleh dari hasil analisis, observasi langsung di lapangan serta wawancara kepada ahli serta pihak terkait yang terlibat dalam proyek tersebut.

### 1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan tesis ini terdiri dari 5 bab, yaitu:

1. Bab 1 Pendahuluan

Pada bab ini dibahas tentang konsep dasar dari penulisan yang didalamnya

menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

## 2. Bab 2 Kajian Pustaka dan Dasar Teori

Pada bab ini dibahas tentang obyek penelitian, dasar teori *tube-extractor*, dasar teori metode AHP dan metode FMEA.

## 3. Bab 3 Metode Penelitian

Bab ini menguraikan mengenai metodologi AHP dan FMEA yang digunakan peneliti dalam memilih *tube-extractor* yang sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan perusahaan *XYZ Energy*. Dalam bab ini dijelaskan bagaimana cara peneliti mendapatkan dan menganalisa data, serta bagaimana peneliti mengolah data tersebut.

## 4. Bab 4 Analisis dan Pembahasan

Bab ini menguraikan mengenai analisis dan pembahasan atas metodologi yang digunakan. Dalam bab ini, data yang didapatkan dianalisa dan untuk menarik kesimpulan mengenai *tube bundle extractor* yang paling cocok untuk dipilih sebagai alat yang akan digunakan di *XYZ Energy*.

## 5. Bab 5 Kesimpulan dan Rekomendasi

Bab ini menguraikan kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan memberikan saran atau masukan kepada perusahaan dalam memilih *tube bundle extractor* yang paling cocok dan sesuai kriteria perusahaan.

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

## BAB 2

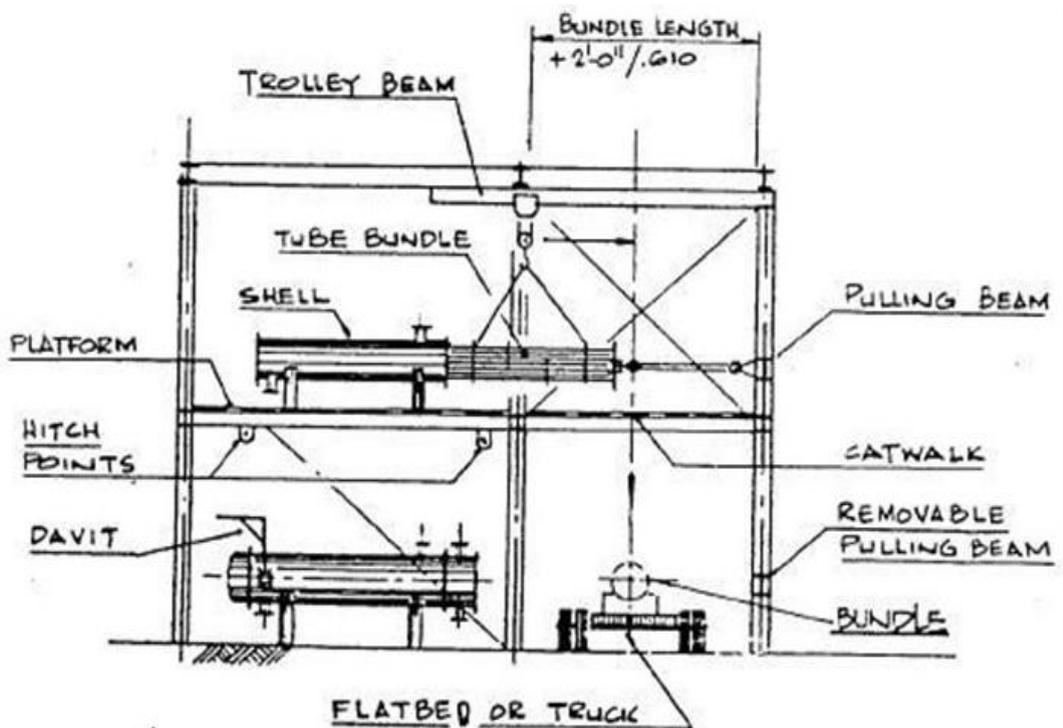
### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tube-Extractor

"*Tube Bundle Extractor*" adalah alat untuk mengeluarkan atau memasukan tube bundle heat exchanger dari atau ke dalam "*shell casing*".(Travis., 1974). Ada banyak tipe "*tube bundle extractor*" yang dikenal pada industry kimia dan industry minyak dan gas, namun semua itu dapat digolongkan menjadi tiga model, yaitu: (1) Model konvensional (2) Model "*hydraulics tube-extractor*" (Travis., 1974). (3) Model "*semi-automatic Tube-Extractor*" (Patil et al., 2013).

##### 2.1.1. Conventional Tube-Extractor

"*Conventional tube-bundle extractor*" terdiri dari sebuah struktur dan gawang besar yang dilengkapi dengan travel hoist yang dipasang menggantung untuk menahan beban tube bundle ketika proses pekerjaan berlangsung, didepannya dipasang pulling beam untuk memasang lever block atau chain block yang akan digunakan untuk menarik tube bundle keluar. Struktur tersebut dipasang didepan "*tube bundle heat exchanger*" sehingga memakan tempat yang luas. Gambar 2.1 menunjukkan tipe "*conventional tube-extractor*".

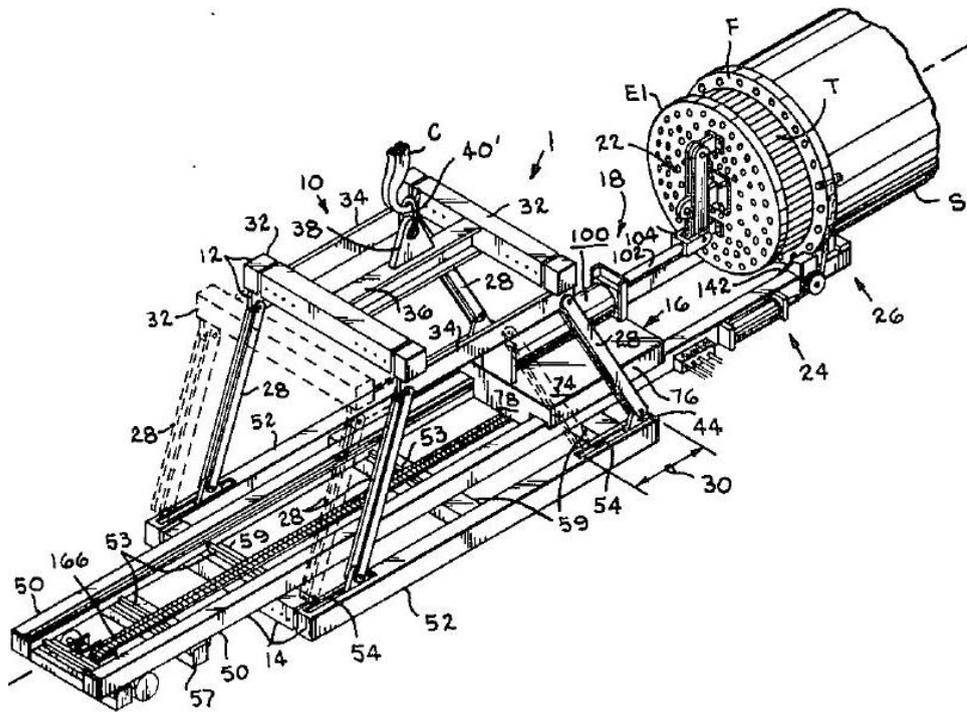


Gambar 2. 1 Conventional tube- extractor (M3 Energy)

### 2.1.2. Hydraulic Tube- Extractor

Travis memperkenalkan model baru “tube-extractor” yang disebut “*hydraulics tube-extractor*”, model ini menggunakan sistim hidrolik untuk mengeluarkan atau memasukan “*tube bundle heat exchanger*” dari atau ke “*shell casing*”. Dipergunakan pada industry untuk pertama kalinya oleh Ward Beckcom yang merupakan *maintenance superintendent Beaumont refinery Mobil Oil Cooperation* pada akhir tahun 1960 an.

Pada tanggal 17 September 1974 Travis mempatentkan temuannya ini ke badan patent Amerika dengan no patent 5,856,015. Temuan Travis ini banyak di fabrikasi oleh berbagai perusahaan *tube-extractor* di dunia dan banyak sekali digunakan pada industry kimia dan Industri pemurnian minyak dan gas yang beroperasi di darat sampai sekarang ini. Gambar 2.2 menunjukan tipe *Hydraulic tube-extractor*.



**Gambar 2. 2 Hydaraulics tube-extractor (US Patent no. 3,836,015)**

Keuntungan dan manfaat dari “*hydraulic tube- extractor*” meliputi tiga hal mendasar sebagai berikut:

1. Menurunkan modal investasi dan beban pemeliharaan yang berhubungan dengan metode pelepasan “*tube bundle*”
2. Menurunkan jumlah tenaga kerja yang mencapai 50% dari jumlah yang biasa digunakan untuk melepaskan tube-bundle menggunakan model konvensional.
3. Waktu pengerjaan lebih cepat dibandingkan dengan model konvensional yang biasanya menghabiskan waktu antara 12 – 16 jam menjadi 20-30 menit untuk mengeluarkan 1 buah tube-bundle heat exchanger.
4. Keuntungan dan manfaat yang sangat penting lainnya adalah hydraulics tube-bundle extractor ini jauh lebih aman bila dibandingkan dengan model konvensional.

Kelemahan dari “*tube-extractor*” ini adalah memerlukan bantuan *crane* selama pekerjaan berlangsung, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Sehingga apabila “*crane*” mengalami kerusakan atau lokasi tube-heat exchanger terlalu jauh

atau terlalu dekat dari jangkauan boom crane, maka praktis alat ini tidak bisa dipakai.



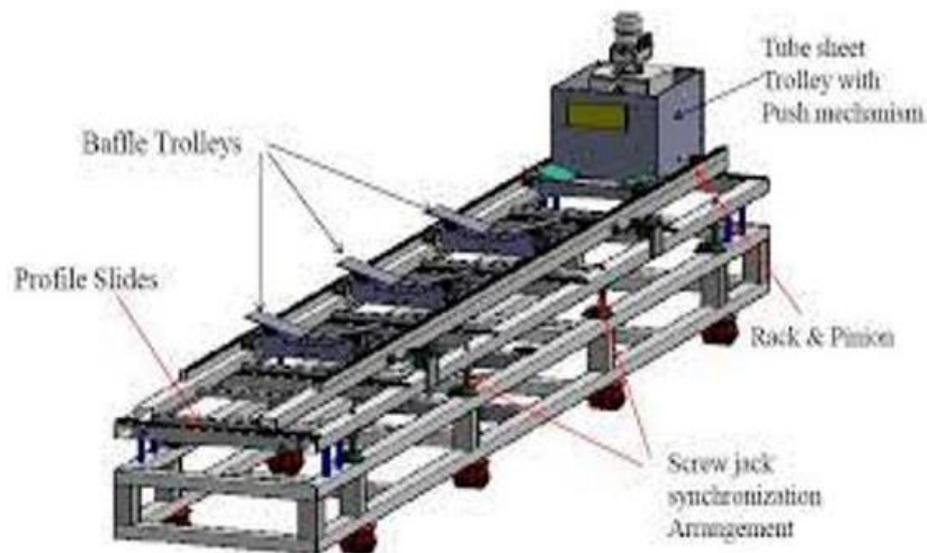
**Gambar 2. 3** Aktifitas Penggantian Tube Bundle(Training Handbook , 1966)

### **2.1.3. Semi-Authomatic Tube- Extractor**

Patil et, al. (2013) melakukan penelitian engineering dengan judul “Design and Optimization of Equipment for Insertion of Tube Bundle Heat Exchanger”. Tube-bundle extractor hasil penelitian dinamai “semi authomatic tube- extractor” Mempunyai prinsip kerja yang hampir sama dengan hydraulics tube-extractor hasil temuan Travis akan tetapi Patil melakukan optimisasi mengenai beberapa hal yaitu:

“*Tube-extractor*” ini tidak memerlukan bantuan crane dalam pengoperasiannya karena digantikan dengan kaki kaki yang bisa menahan beban tube-bundle dan kaki kaki tersebut dapat di stel naik atau turun sehingga dapat disesuaikan dengan permukaan “*flange shell*”. Gambar 2.4 menunjukkan tipe *semi-*

*automatic tube-extractor*. Menggunakan *tube-sheet trolley* dan “*buffle trolley*” untuk menahan tube bundle waktu dikeluarkan atau dimasukkan dari atau ke dalam *shell casing*. Dapat dilakukan penyetelan tube-bundle supaya berada di tengah tengah sehingga dapat mengurangi gesekan antara baffle tube dengan dinding bagian dalam dari shell casing.



**Gambar 2. 4 Semi-automatics Tube-Extractor (Patil et al., 2013)**

Keuntungan dan manfaat dari *semi- automatic Tube- Extractor* meliputi tiga hal mendasar sebagai berikut:

1. Menurunkan modal investasi dan beban pemeliharaan yang berhubungan dengan metode pelepasan tube bundle seperti modal pembuatan struktur, modal pembuatan titik penarik horizontal dll.
2. Menurunkan jumlah tenaga kerja yang mencapai 50% dari jumlah yang biasa digunakan untuk melepaskan tube-bundle menggunakan model konvensional.
3. Waktu pengerjaan lebih cepat dibandingkan dengan model konvensional yang biasanya menghabiskan waktu antara 12 – 16 jam menjadi 20-30 menit untuk mengeluarkan 1 buah tube-bundle heat exchanger.

4. Keuntungan dan manfaat yang sangat penting lainnya adalah “*semi-automatic tube- extractor*” ini jauh lebih aman bila dibandingkan dengan model konvensional yang banyak menggunakan sling, “*chain block*”, “*lever block*” dll. “*Tube-extractor*” ini menggunakan *geared motor* dan “*bevel gear*” untuk mencabut atau memasukan tube-bundle heat exchanger sehingga aman karena tidak terjadi kontak langsung dengan pekerja.

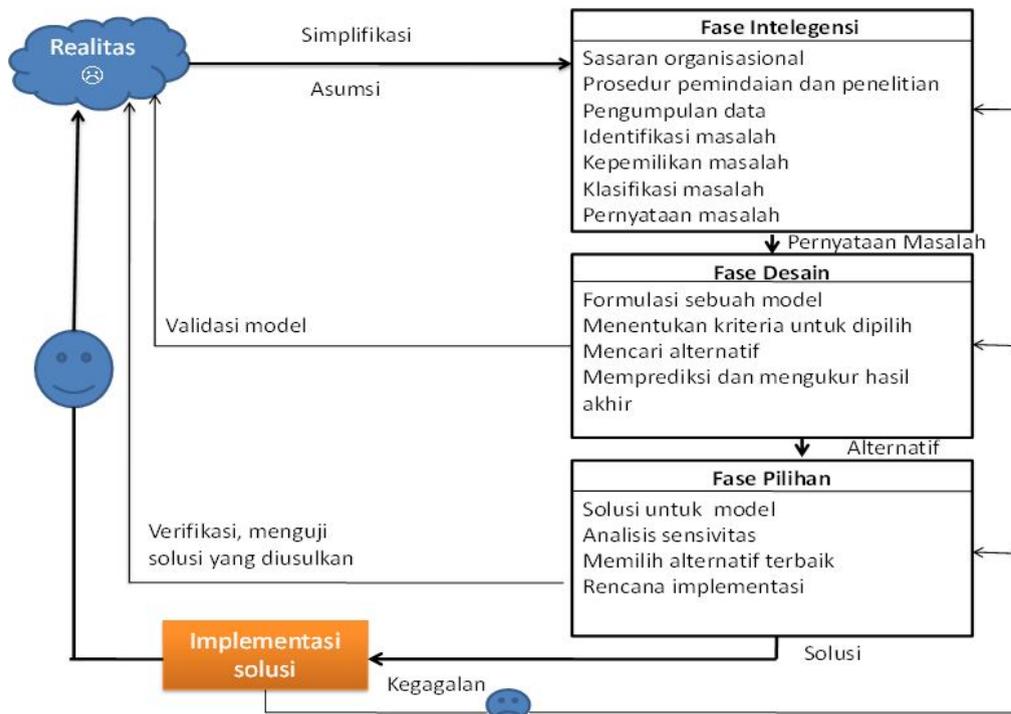
Kelemahan dari desain extractor model baru ini meliputi hal mendasar yaitu memerlukan bantuan pembuatan frame untuk landasan bila melakukan pencabutan atau pemasangan tube bundle pada tempat yang tinggi.

## **2.2. Proses Pengambilan Keputusan**

Penggambaran proses pengambilan keputusan rasional menurut model Simon (Turban et al., 2005) dalam alur pikir seperti ditampilkan dalam gambar 2.5 yang terdiri dari 3 tahapan utama:

Fase intelligence: pengambil keputusan melakukan proses identifikasi atas semua lingkup masalah yang harus diselesaikan. Tahap ini pengambilan keputusan harus memahami realitas dan mendefinisikan masalah dengan menguji data yang yang diperoleh,

Fase Design: melakukan pemodelan problem yang didefinisikan dengan terlebih dahulu menguraikan elemen keputusan, alternatif variabel keputusan, kriteria evaluasi yang dipilih. Perlu dipaparkan asumsi yang menyederhanakan realitas dan diformulasikan semua hubungan elemennya. Model kemudian divalidasi serta berdasar kriteria yang ditetapkan untuk melakukan evaluasi terhadap alternatif keputusan yang akan dipilihnya. Penentuan solusi merupakan proses mendisain dan mengembangkan alternatif keputusan, menentukan sejumlah tindakan yang akan diambil, sekaligus penetapan konsekuensi atas pilihan dan tindakan yang diambil sesuai dengan problem yang sudah didefinisikan. Pada tahap ini juga menetapkan nilai dan bobot yang diberikan kepada setiap alternatif, Fase Pemilihan: merupakan tahapan pemilihan terhadap solusi yang dihasilkan dari model. Bilamana solusi bisa diterima pada fase terakhir ini lalu implementasi solusi keputusan pada dunia nyata



**Gambar 2. 5 Tahapan Proses Pengambilan Keputusan Rasional Model Simon (Turban et al., 2005)**

Pengambilan keputusan sebagai domain bidang keilmuan memiliki aspek ontologi, epistemologi maupun axiology memiliki kaidah pendekatan ilmiah tertentu yang sistematis, spesifik, teratur dan terarah. Dari ranah paradigma pengambilan keputusan, pendekatan yang banyak dikaji dimasa sekarang adalah pengambilan keputusan rasional yaitu bentuk pengambil keputusan yang diperhitungkan secara matematis atau statistik, ini bukan berarti pengambilan keputusan “non-rasional” tidak penting.

Menyadari bahwa dalam proses pengambilan keputusan informasi sebagai dasar pembuatan keputusan tidak sempurna, adanya kendala waktu, biaya serta keterbatasan pengambil keputusan yang rasional untuk mengerti dan memahami masalah, maka keputusan diarahkan pada konsep keputusan dengan rasional terbatas (*“bounded rationality”*). Rasionalitas terbatas ini berupa proses penyederhanaan model pengambil keputusan tanpa melibatkan seluruh masalah

(Suryadi dan Ramdhani, 1998). Sehingga model keputusan yang dihasilkan dari pendekatan ini hanya berupa “*satisficing model*”. Salah satu representasi model dan teknik keputusan yang mendasarkan pada konsep rasional terbatas ini adalah metode pengambil keputusan multikriteria.

### **2.3. Pendekatan “*Analytical Hierarchy Process*” (AHP)**

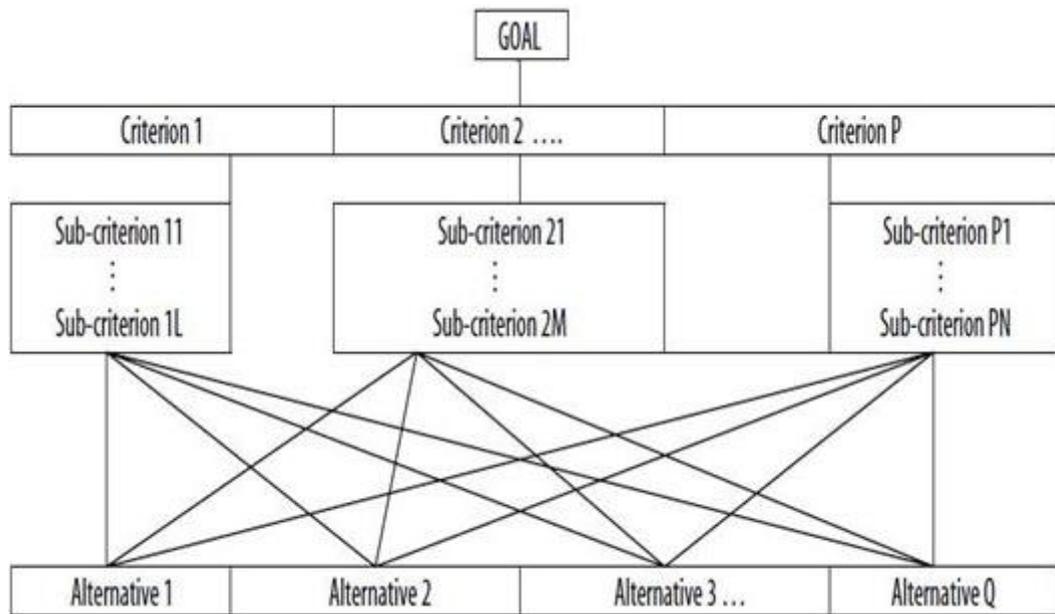
Ciptomulyono (2001) memaparkan, pendekatan AHP dikembangkan berangkat dari teori pengukuran berkaitan dengan kriteria keputusan yang kuantitatif/non kuantitatif (“*tangible/intangible*”) dalam model keputusan yang mengandung resolusi konfliktual. Karenanya prinsip pendekatan ini berusaha mengakomodasi aspek aspek kognitif, pengalaman dan pengetahuan subjektif dari pengalaman keputusan sebagai data dasar yang menentukan dalam proses pengambilan keputusan.

#### **2.3.1. Membuat Keputusan Dengan Metoda AHP**

Saaty (2008) memaparkan dalam membuat keputusan yang terorganisir untuk menghasilkan prioritas kita perlu menguraikan keputusan dalam langkah-langkah berikut:

1. Mendefinisikan masalah dan menentukan jenis penyelesaian yang dicari.
2. Membuat struktur hirarki keputusan dari atas dengan tujuan keputusan dari perspektif yang luas, melalui tingkat menengah, Kriteria unsur berikutnya tergantung ke level terendah yang biasanya adalah seperangkat alternatif.

Gambar 2.6 menunjukkan sebuah struktur hirarki keputusan.



**Gambar 2. 6 Hirarki AHP(Saaty,. 1980)**

Membangun satu set matriks perbandingan berpasangan. Dalam setiap elemen tingkat atas digunakan untuk membandingkan langsung dengan unsur-unsur di tingkat di bawah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Ambil nilai  $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$  sebagai perbandingan faktor elemen baris matriks I terhadap elemen kolom j, untuk  $I, j = 1, 2, 3, \dots, n$ . Suatu matriks perbandingan A dapat disusun dari elemen-elemen matriks berpasangan dengan memanfaatkan bobot skala numerik:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

**Gambar 2. 7 Perbandingan Matriks (Ciptomulyono,. 2001)**

Misal kedua elemen matriks berpasangan yang diperbandingan memiliki bobot yang sama nilai  $a_{ij}=1$ , untuk matriks bersifat resiprok akan terdapat  $n (\frac{n-1}{2})$ , elemen matriks perbandingan yang berukuran  $n \times n$ . Persoalan yang ingin diketahui adalah besarnya faktor pembobotan W dari matriks A (persamaan 1). Bila dilakukan perkalian matriks A dengan vektor W akan diperoleh hubungan matriks seperti pada gambar 2.8 perbandingan matriks berikut:

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \dots \\ W_n \end{bmatrix} = n \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \dots \\ W_n \end{bmatrix}$$

**Gambar 2. 8 Perkalian Matriks (Ciptomulyono., 2001)**

Hubungan diatas memungkinkan mendapatkan nilai pembobotan W dari matriks A, dengan menyelesaikan persamaan:  $(A - n I) W = 0$ ;  $w_j = 1$ . Dimana nilai 1 dan 0 masing-masing merupakan unit matriks identitas dan matriks nol dan W adalah vector normal dari pembobotan  $w_1, w_2, \dots, w_n$ . Jika solusi bukan nol dan hanya jika  $n =$  nilai eigen matriks A.

Bila  $\lambda$  sebagai nilai eigen vector dari matriks A, persamaan  $AW = \lambda W$  memiliki sifat yang unik, setiap kolom matriks merupakan suatu perkalian konstanta dari kolom pertama. Sehingga terdapat n eigen vektor yang bernilai nol kecuali satu. eigen value yang tidak bernilai nol disebut sebagai  $\lambda_{max}$ , maka diperoleh:

$$AW = \lambda_{max} W \tag{2.1}$$

Dengan:

A = matriks A

W = vektor normal.

$\lambda_{\max}$  = eigen value yang tidak bernilai nol.

Elemen matriks  $a_{ij}$  merupakan nilai evaluasi yang bersifat subjektif yang tidak pernah memiliki sifat konsisten sempurna, sebagai sifat dan situasi keputusan yang manusiawi. Sifat resiprokalitas dari matriks perbandingan berpasangan mempersyaratkan hubungan  $a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk}$ . Tidak terpenuhi. Saaty (1980) untuk jawaban yang semakin konsisten, nilai  $\lambda_{\max}$  cenderung mendekati  $n$ . Saaty telah mengembangkan suatu indeks konsistensi untuk mengukur konsistensi judgment saat melakukan perbandingan dengan merumuskan indeks (CI) sebagai:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2.2)$$

Dengan:

CI = Consistency Index.

$\lambda_{\max}$  = eigen value yang tidak bernilai nol.

$n$  = nilai eigen matriks A

Indeks  $CI = 0$  menunjukkan perbandingan berpasangan dari proses pembobotan yang konsisten sempurna. Dengan melakukan simulasi bilangan random, saaty menghasilkan indeks CI untuk respons yang acak.

Nilai CI tidak akan berarti bila tidak terdapat acuan untuk menyatakan apakah CI menunjukkan suatu matriks yang konsisten. Saaty memberikan acuan dengan melakukan perbandingan acak terhadap 500 buah sampel. Saaty berpendapat bahwa suatu matriks yang dihasilkan dari perbandingan yang dilakukan secara acak merupakan suatu matriks yang mutlak tak konsisten. Dari matriks acak tersebut didapatkan pula nilai indeks konsistensi, yang disebut dengan *Random Index* (RI). Dengan membandingkan CI dengan RI maka didapatkan acuan untuk menentukan tingkat konsistensi suatu matriks, yang disebut dengan *Consistency Ratio* (CR), melalui persamaan:

$$CR = \frac{CI}{CR} \quad (2.3)$$

Dengan:

*CR* = Consistency Ratio

*CI* = Consistency Index

Dari 500 buah sampel matriks acak dengan skala perbandingan 1-9, untuk beberapa orde matriks Thomas L. Saaty mendapatkan nilai rata-rata RI seperti pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Nilai Random Index

Orde Matriks	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1.45	1.49

(Saaty 1980)

Saaty (1980) merekomendasikan bahwa suatu matriks perbandingan adalah konsisten bila nilai CR tidak lebih dari 0.1 (10 %).

Gunakan prioritas yang diperoleh dari perbandingan untuk menimbang prioritas dalam tingkat tepat di bawah. Lakukan ini untuk setiap elemen. Kemudian untuk setiap elemen dalam tingkat bawah menambahkan nilai-nilai ditimbang dan memperoleh prioritas secara keseluruhan atau global. Lanjutkan proses ini dan menambahkan pembobotan hingga prioritas final alternatif di tingkat paling bawah diperoleh.

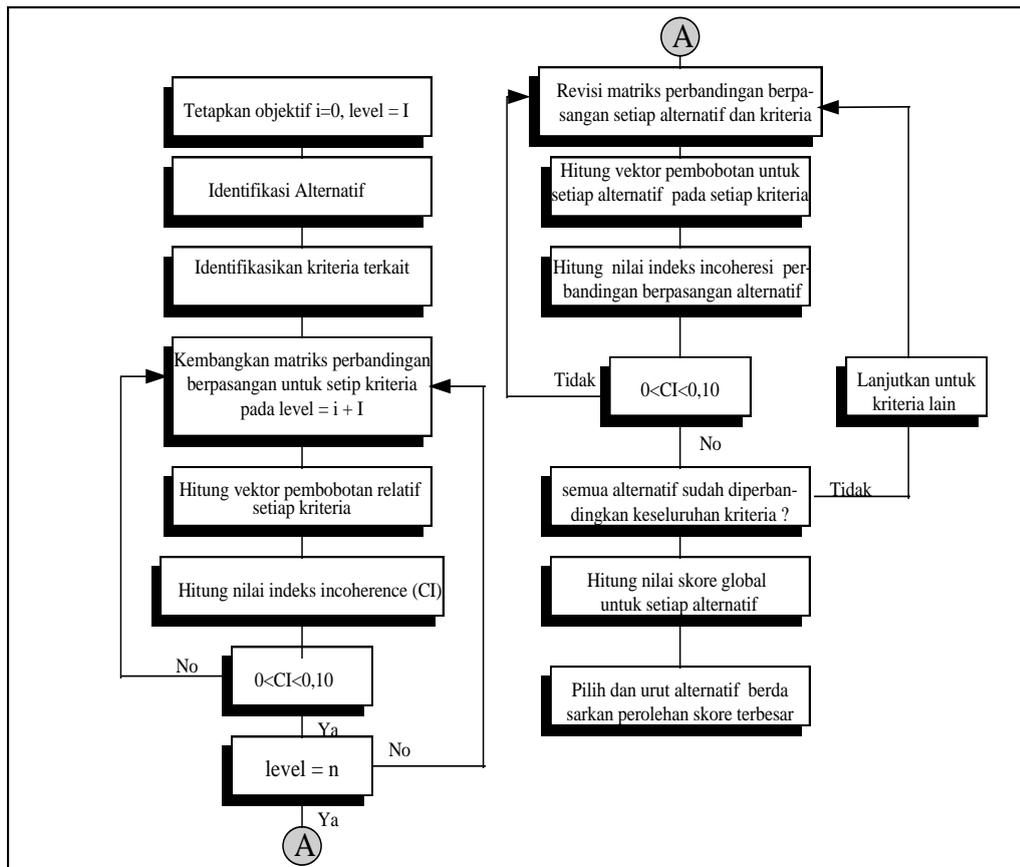
Untuk membuat perbandingan, perlu skala angka yang menunjukkan berapa kali lebih penting atau dominan satu elemen terhadap elemen lain sehubungan dengan kriteria atau properti yang mereka bandingkan. Saaty (2008) menetapkan skala kuantitatif 1 sampai dengan 9 untuk menilai secara perbandingan tingkat kepentingan suatu elemen dengan elemen lainnya seperti ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 2 Pedoman Pemberian Nilai Berpasangan

Tingkat kepentingan	Definisi	Keterangan
1	Sama penting	Kedua elemen mempunyai pengaruh yang sama
3	Moderat lebih penting	Pengalaman dan penilaian sedikit memihak satu elemen dibandingkan dengan pasangannya
5	Lebih penting	Pengalaman dan penilaian sangat memihak satu elemen dibandingkan dengan pasangannya
7	Sangat Penting	Satu elemen lebih disukai dan secara praktis dominasinya sangat nyata dibandingkan dengan elemen pasangannya
9	Mutlak lebih Penting	Satu elemen terbukti mutlak lebih disukai dan secara praktis dibandingkan dengan elemen pasangannya pada tingkat perbandingan tertinggi
kebalikan	Jika aktivitas i memiliki salah satu nomor tidak-nol saat dibandingkan dengan aktivitas j, maka j memiliki nilai timbal balik jika dibandingkan dengan i $a_{ij} = 1/a_{ji}$	
1.1–1.9	Jika kegiatan sangat dekat	bila dibandingkan dengan kegiatan lainnya ukuran angka tidak akan terlalu terlihat, namun mereka masih bisa menunjukkan kegiatan relatif

(Sumber: Saaty 2008)

Secara lengkap prosedur penggunaan metoda AHP dalam proses pengambilan keputusan MCDM ditunjukkan pada gambar 2.9 dibawah ini:



**Gambar 2. 9 Proses Analisis Hirarkhis -AHP(Ciptomulyono., 2001)**

#### 2.4. FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

FMEA adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi dan mencegah kegagalan produk dan proses sebelum terjadi. Fokus FMEA adalah untuk mencegah terjadi kerusakan, meningkatkan keselamatan dan meningkatkan kepuasan pelanggan. Idealnya FMEA dilakukan pada tahap desain produk atau tahapan tahapan pengembangan proses, meskipun demikian FMEA dapat dilakukan pada produk dan proses yang sudah ada sehingga dapat menghasilkan manfaat yang sangat besar (Mc Dermott et. al., 2009).

FMEA dapat digambarkan sebagai kelompok kegiatan sistematis dengan tujuan:

- a) Mengenali dan mengevaluasi potensi kegagalan dari produk / proses dan efek dari kegagalan.

- b) Mengidentifikasi tindakan yang bisa menghilangkan atau mengurangi kesempatan dari potensi kegagalan yang terjadi.
- c) Merupakan dokumen seluruh proses, dalam hal ini melengkapi proses dan mendefinisikan desain apa atau proses apa yang harus lakukan untuk memuaskan pelanggan. (Chrysler., 2008).

FMEA pertama kali digunakan pada pertengahan tahun 1960 an dalam pengembangan pesawat luar angkasa dengan fokus pada isu keselamatan. FMEA menjadi alat utama untuk meningkatkan keselamatan terutama pada industry kimia. Sampai saat ini FMEA masih digunakan sebagai alat untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja dan kerusakan peralatan sebelum terjadi. sementara itu para insinyur melakukan analisa kegagalan potensial pada proses dan produk. Industri otomotif mengadaptasi teknik FMEA untuk digunakan sebagai alat untuk meningkatkan kualitas, (Mc Dermott at al., 2009).

#### **2.4.1. Tujuan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)**

Mc Dermott at al (2009) memaparkan FMEA adalah alat untuk mencari tahu bagaimana suatu proses atau produk bisa gagal. Kegagalan produk terjadi ketika produk tidak berfungsi sebagaimana mestinya atau ketika malfungsi dalam beberapa hal. Bahkan produk yang paling sederhana memiliki banyak peluang untuk gagal. Kegagalan tidak terbatas pada masalah produk. Karena kegagalan juga dapat terjadi ketika pengguna melakukan kesalahan, jenis-jenis kegagalan tersebut juga termasuk dalam FMEA. Apa pun yang bisa dilakukan untuk memastikan produk bekerja benar, terlepas dari bagaimana pengguna mengoperasikan akan meningkatkan kepuasan pelanggan. Hal di mana produk atau proses dapat gagal disebut modus kegagalan. Setiap Modus kegagalan memiliki efek potensial, dan beberapa efek yang lebih mungkin terjadi daripada yang lain. Selain itu, setiap efek potensial memiliki risiko relatif yang berhubungan dengannya. Proses FMEA adalah cara untuk mengidentifikasi kegagalan, efek, dan risiko dalam proses atau produk, dan kemudian menghilangkannya atau menguranginya.

### 2.4.2. Risk Priority Number

Risiko relatif dari kegagalan dan dampaknya ditentukan oleh tiga factor yaitu:

1. Severity - Konsekuensi dari kegagalan yang dapat terjadi.
2. Occurrence - Probabilitas atau frekuensi kegagalan terjadi.
3. Detection - deteksi Probabilitas kegagalan sebelum dampak dari efek tersebut menjadi kenyataan.

Mc Dermott et al (2009) memaparkan Untuk menilai RPN kita harus Menggunakan data dan pengetahuan setiap modus kegagalan potensial dan efek tentang proses atau produk, kemudian memberi peringkat pada ke tiga faktor tersebut dengan skala mulai dari 1 sampai 10 atau rendah ke tinggi. Dengan mengalikan peringkat tiga faktor (keparahan  $\times$  terjadinya  $\times$  deteksi), (RPN) akan ditentukan untuk setiap modus kegagalan potensial dan efek. Jumlah prioritas risiko akan berkisar dari 1 sampai 1.000 untuk setiap mode kegagalan, digunakan menentukan peringkat kebutuhan tindakan korektif untuk menghilangkan atau mengurangi mode kegagalan potensial. Pertama seluruh mode kegagalan dengan RPNs tertinggi harus dihadirkan , meskipun perhatian khusus harus diberikan ketika tingkat keparahan tinggi (9 atau 10) terlepas dari RPN. Setelah tindakan korektif diambil, RPN baru untuk kegagalan ditentukan dengan mengevaluasi ulang peringkat keparahan, kejadian, dan deteksi. RPN baru ini Ini disebut “resulting RPN.” Peningkatan dan tindakan korektif harus terus berlanjut sampai RPN yang dihasilkan sampai pada tingkat yang dapat diterima untuk semua mode kegagalan potensial.

Menurut Mc Dermott et al (2009) FMEA digolongkan menjadi dua jenis yaitu:

1. Desain FMEA dipergunakan untuk untuk mengungkap masalah dengan produk yang akan menimbulkan bahaya terhadap keselamatan, kerusakan produk atau umur produk yg pendek. Sebagai konsumen, kita semua terlalu akrab dengan contoh-contoh dari jenis masalah, seperti kantong udara di dalam mobil yang mungkin tidak bekerja benar atau pekerjaan cat

yang retak dan menumpul dalam tiga atau empat tahun anda memiliki mobil. FMEA produk dilakukan pada setiap tahapan dalam proses desain (Desain awal, prototipe, atau desain akhir), atau digunakan pada produk yang sudah di produksi. Pertanyaan kunci yang diajukan dalam desain FMEA adalah: Bagaimana produk bisa gagal?

Work sheet yang digunakan pada desain FMEA adalah seperti tabel 2.3.

**Tabel 2. 3 Lembar kerja ruang lingkup FMEA desain/produk**

Lembar Kerja Lingkup Desain FMEA		
Produk: oleh:	Tanggal:	Lingkup didefinisikan
Bagian 1: Siapa pelanggan?		
Bagian 2: Apa fitur produk dan karakteristik?		
Bagian 3: Apa manfaat produk?		
Bagian 4: Pelajari seluruh produk atau hanya komponen atau sub rakitan?		
Bagian 5: Sertakan pertimbangan kegagalan bahan baku?		
Bagian 6: Sertakan pengemasan, penyimpanan, dan transit?		
Bagian 7: Apa persyaratan p roses operasional dan kendala?		

(Mc Dermott et al., 2009)

2. Process FMEA yaitu alat untuk mengungkap masalah proses yang terkait dengan pembuatan produk. Sebagai contoh; sebuah perakitan peralatan otomatis mungkin ada bagian yang salah masuk, sehingga produk dirakit dengan tidak benar. Atau, pada proses manufaktur kimia, suhu dan waktu pencampuran bisa menjadi sumber potensi kegagalan, sehingga produk tidak dapat digunakan. FMEA membantu proses berpikir dalam lima

elemen dari sebuah proses: orang, bahan, peralatan, metode, dan lingkungan. Dengan lima elemen ini: Bagaimana kegagalan proses bisa mempengaruhi produk, efisiensi pengolahan, atau keselamatan?

Dalam penelitian ini, FMEA proses tidak akan dibahas secara detail karena yang diteliti adalah produk tube bundle extractor.

### **2.4.3. Langkah Penyelesaian FMEA**

Mc Dermott memaparkan terdapat sepuluh langkah penyelesaian dalam proses FMEA, sebagai berikut:

1. Melakukan “*review*” Proses atau Produk.

Tim harus mereview cetak biru (atau gambar teknik) dari produk jika sedang mempertimbangkan FMEA produk atau flowchart operasi rinci jika melakukan FMEA proses.

2. Brainstorm mode potensi kegagalan.

Setiap orang dalam tim memiliki pemahaman tentang proses atau produk , anggota tim dapat mulai berpikir tentang mode kegagalan potensial yang dapat mempengaruhi proses manufaktur atau kualitas produk.

3. Membuat daftar efek potensial dari setiap mode kegagalan.

Dengan Lembar Kerja mode kegagalan yang tercantum pada FMEA, tim FMEA mereview setiap mode kegagalan dan mengidentifikasi potensi dari kegagalan dan dampak yang akan terjadi. Dibawah ini adalah contoh lembar kerja FMEA:

Langkah 4-6: Menetapkan Severity, Kejadian, dan Peringkat deteksi.

Masing-masing peringkat dari tiga faktor diatas didasarkan pada skala 10-point, dengan nilai 1 merupakan yang terendah dan 10 yang tertinggi. Penting untuk membangun deskripsi yang jelas dan ringkas pada masing-masing skala, sehingga semua anggota tim memiliki pemahaman yang sama dalam menetapkan

skala peringkat. Skala harus ditetapkan sebelum proses peringkat dimulai dan tim harus mencapai konsensus ketika proses peringkat dilaksanakan.

Tabel 2. 4 Evaluasi Kriteria Severity FMEA Desain

Efek	Kriteria Keparahan Efek pada peringkat Produk (Efek Pelanggan)	Ranking
Kegagalan untuk memenuhi keselamatan dan / atau peraturan Persyaratan	Modus kegagalan potensial mempengaruhi operasi kendaraan yang aman dan / atau melibatkan ketidakpatuhan dengan peraturan pemerintah tanpa peringatan	10
	Modus kegagalan potensial mempengaruhi operasi kendaraan yang aman dan / atau melibatkan non sesuai dengan peraturan pemerintah dengan peringatan.	9
Kerugian atau Degradasi fungsi utama	Hilangnya fungsi utama (kendaraan bisa dioperasikan, tidak mempengaruhi operasi kendaraan yang aman)	8
	Degradasi fungsi utama (kendaraan dapat dioperasikan, tetapi pada tingkat kinerjanya berkurang).	7
Kerugian atau Degradasi fungsi Sekunder	Hilangnya fungsi utama (kendaraan bisa dioperasikan, tapi fungsi kenyamanan / kemudahan tidak bisa dioperasikan).	6
	Degradasi fungsi utama (kendaraan bisa dioperasikan, tapi kenyamanan / fungsi kenyamanan pada tingkat kinerja yang menurun).	5
Gangguan	Penampilan atau Kebisingan Audible, kendaraan beroperasi, barang tidak sesuai dan diperhatikan oleh kebanyakan pelanggan (> 75%)	4
	Penampilan atau Kebisingan Audible, kendaraan beroperasi, item tidak sesuai dan diperhatikan oleh banyak pelanggan (50%).	3
	Penampilan atau Kebisingan Audible, kendaraan beroperasi, barang tidak sesuai dan diperhatikan oleh pelanggan diskriminatif (<25%).	2
Tidak berpengaruh	Tidak ada efek dilihat.	1

(Chrysler,. 2008)

Tabel 2. 5 Evaluasi Kriteria Kejadian FMEA Desain

Kemungkinan kegagalan	Kriteria: Terjadinya Penyebab - DFMEA (Desain / keandalan barang / kendaraan)	Insiden per item / kendaraan	Ranking
Sangat Tinggi	Teknologi baru/ desain baru tanpa ada sejarah	$\geq 100$ per seribu $\geq 1$ dalam 10	10
Tinggi	Kegagalan bisa dihindari dengan desain baru, aplikasi baru, atau siklus perubahan kondisi / tugas operasi.	50 per seribu 1 dalam 20	9
	Kegagalan mungkin dengan desain baru, aplikasi baru, atau siklus perubahan kondisi / tugas operasi.	20 per seribu 1 dalam 50	8
	Kegagalan tidak pasti dengan desain baru, aplikasi baru, atau siklus perubahan kondisi / tugas operasi.	10 per seribu 1 dalam 100	7
Moderat	kegagalan sering dikaitkan dengan desain yang sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	2 per seribu 1 dalam 500	6
	kegagalan sesekali berhubungan dengan desain yang sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	0.5 per seribu 1 dalam 2000	5
	kegagalan terisolasi terkait dengan desain yang sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	0.1 per seribu 1 dalam 10.000	4
Rendah	kegagalan hanya terisolasi yang terkait dengan desain hampir sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	0.01 per seribu 1 dalam 100.000	3
	Tidak ada diamati kegagalan yang terkait dengan desain hampir sama atau dalam simulasi desain dan pengujian.	0.001 per seribu 1 dalam 1.000.000	2
Sanagt Rendah	Kegagalan dihilangkan melalui kontrol preventif	Kegagalan dihilangkan melalui pencegahan kontrol.	1

(Chrysler,. 2008)

4. Menetapkan Ranking Severity untuk Setiap Effect. Peringkat keparahan adalah perkiraan seberapa serius dampak jika kegagalan itu terjadi. Dalam beberapa kasus jelas karena pengalaman masa

lalu, akan seberapa serius masalah akan terjadi. Dalam kasus lain, perlu untuk memperkirakan berdasarkan pengetahuan dan keahlian dari anggota tim.

Tabel 2. 6 Evaluasi Kriteria Detection FMEA Desain

Peluang untuk deteksi	Kriteria: Kemungkinan deteksi dengan desai kontrol	Ranking	Kemungkinan deteksi
Tidak ada Peluang deteksi	Tidak ada desain kontrol saat ini; tidak dapat mendeteksi atau tidak dianalisis.	10	Hampir tidak mungkin
Tidak mungkin untuk mendeteksi pada setiap tingkatan	Analisis desain / kontrol deteksi memiliki kemampuan deteksi lemah ;Virtual Analisis (misalnya, CAE, FEA, dll.) Tidak berkorelasi dengan kondisi operasi yang sebenarnya diharapkan.	9	Sangat jauh
Pasca Desain ditentukan sebelum diluncurkan	Verifikasi produk / validasi setelah desain ditentukan dan sebelum diluncurkan dengan pengujian lulus / gagal (Subsystem atau pengujian sistem dengan kriteria penerimaan seperti naik dan penanganan, evaluasi pengiriman, dll).	8	Jauh
	Verifikasi produk / validasi setelah desain ditentukan dan dengan tes untuk pengujian kegagalan (Subsystem atau pengujian sistem sampai kegagalan terjadi, pengujian interaksi sistem, dll).	7	Sangat Rendah
	Verifikasi produk / validasi setelah desain ditentukan dan sebelum diluncurkan dengan pengujian degradasi (Subsystem atau sistem pengujian setelah pengujian daya tahan, misalnya, fungsi cek).	6	Rendah
Sebelum desain ditentukan	Validasi produk (uji reliabilitas, pengembangan atau tes validasi) sebelum desai ditentukan menggunakan lulus / gagal pengujian (misalnya, kriteria penerimaan untuk kinerja, fungsi cek, dll).	5	Moderat
	Validasi produk (uji reliabilitas, pengembangan atau Sebelum tes validasi desain) menggunakan uji ke kegagalan misalnya; sampai kebocoran, hasil, retak, dll).	4	Cukup Tinggi
	Validasi produk (uji reliabilitas, pengembangan atau tes validasi) sebelum menentukan desain menggunakan pengujian degradasi misalnya; nilai-nilai tren data sebelum / sesudah, dll).	3	Tinggi
Hubungan Virtual Analisis	Analisis desain / memiliki deteksi kontrol yang kuat; Virtual Analisis - kemampuan deteksi; (Misalnya, CAE, FEA, dll) sangat berkorelasi dengan kondisi operasi aktual atau diharapkan sebelum desain ditentukan.	2	Sangat Tinggi
deteksi tidak berlaku; pencegahan kegagalan	Penyebab kegagalan atau mode kegagalan tidak dapat terjadi karena sepenuhnya dicegah melalui desain solusi misalnya; berlaku; desain standar Kegagalan yang baik, praktek terbaik atau material umum, dll).	1	Hampir Pasti

(Chrisler., 2008)

Setiap kegagalan memiliki beberapa perbedaan efek, dan setiap efek dapat memiliki tingkat keparahan yang berbeda. efek adalah bukan kegagalan yang berperingkat. Oleh karena itu masing-masing efek harus diberikan bobot peringkat sendiri bahkan jika ada beberapa efek untuk modus kegagalan tunggal.

5. Menetapkan Urutan Kejadian untuk Setiap Modus Kegagalan.

Metode terbaik untuk menentukan urutan kejadian adalah dengan menggunakan data actual dari proses. mungkin dalam bentuk log kegagalan atau bahkan data proses capabilitas. Bila data kegagalan yang sebenarnya tidak tersedia, tim harus memperkirakan berapa sering modus kegagalan terjadi.

6. Menetapkan urutan Deteksi untuk Setiap Modus Kegagalan dan Efek

Melihat seberapa besar kemungkinan untuk mendeteksi kegagalan atau efek kegagalan. Mulai langkah ini dengan mengidentifikasi kontrol saat ini yang dapat mendeteksi kegagalan atau efek dari kegagalan. Jika tidak ada kontrol saat ini, kemungkinan deteksi akan rendah, dan item akan menerima peringkat tinggi, seperti 9 atau 10. Pertama, kontrol saat ini harus terdaftar untuk semua mode kegagalan atau efek dari kegagalan dan kemudian peringkat deteksi ditentukan.

7. Hitung Risk Priority Number untuk setiap modus Kegagalan.

$$\text{Risk Priority Number} = \text{Severity} \times \text{Occurrence} \times \text{Detection}$$

Jumlah prioritas risiko keseluruhan harus dihitung dengan menambahkan semua RPN. Jumlah ini sendiri tidak berarti karena setiap FMEA memiliki nomor yang berbeda untuk setiap mode kegagalan dan efek. Namun, dapat berfungsi sebagai pengukur untuk membandingkan total RPN hasil revisi.

8. Prioritasi Mode Kegagalan untuk bertindak.

Mode kegagalan sekarang dapat diprioritaskan dengan mengurutkan jumlah prioritas risiko dari tertinggi ke terendah. Kemungkinannya adalah bahwa akan menemukan bahwa aturan 80/20 berlaku dengan RPNs, seperti halnya dengan peningkatan peluang kualitas lainnya. Dalam kasus RPN, berarti bahwa 80 persen dari total RPN untuk FMEA berasal dari hanya 20 persen kegagalan potensial dan efek.

9. Ambil tindakan untuk menghilangkan atau mengurangi mode kegagalan berisiko tinggi.

Menggunakan proses pemecahan masalah terorganisir, mengidentifikasi dan menerapkan tindakan untuk menghilangkan atau mengurangi mode kegagalan berisiko tinggi. Hitung RPN yang dihasilkan apakah mode kegagalan dapat dikurangi atau dihilangkan

## 2.5. Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian

Berdasarkan kajian literatur dari penelitian terdahulu terkait dengan pemilihan tube-extractor telah dilakukan oleh Patil et al, (2013) dengan menggunakan metode penelitian dan pengembangan dan V-Mesis analisis. Tabel 2.8 menunjukkan beberapa penelitian terdahulu terkait tube bundle extractor dan penggunaan metoda AHP dan FMEA dalam penelitiannya, yaitu:

Tabel 2. 7 Penelitian Terdahulu

NO	Peneliti	Judul Penelitian	Metode yang Digunakan	
1	Patil et al, (2013)	Design and Optimization of Equipment for Insertion of Tube Bundle Heat Exchanger	R&D	V-Mesis Analysis
1	Ciptomulyono., (2001)	Identifikasi dan penetapan prioritas kriteria/objective dalam kebijakan energy nasional	AHP	Delphi
3	Saaty., (2008)	Choose the best type of platform to build to drill for oil in the North Atlantic.	AHP	
5	Hu et al., (2015)	Improving risk evaluation in FMEA with Hybrid MCDM	AHP. DEMATEL	FMEA
6	Xu et al., (2002)	Fuzzy assessment of FMEA for engine systems		FFMEA
7	Davidson et al., (2003)	Design improvements using a multiple criteria decision-making process	AHP	FMEA
8	Mangla et al., (2015)	Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach:	Fuzzy AHP	
9	Braglia., (2000)	multi-attribute failure mode analysis ( integration AHP-FMEA) Cost analysis	AHP	FMEA

Dari beberapa penelitian tersebut diatas, Penelitian terkait “*tube bundle extractor*” untuk mengurangi gesekan yang terjadi antar “*baffle plate*” dengan “*shell chasing*” dilakukan oleh (Patil et al., 2013). Penelitian ini menggunakan metode AHP untuk prioritas pemilihan tube-extractor dan kajian risiko kegagalan potensial menggunakan metode FMEA, untuk melakukan evaluasi kemungkinan kegagalan dan sekaligus penyempurnaan design dari alat yang dipilih masih sedikit yang melakukannya. Pada penelitian ini Peneliti mengusulkan untuk melakukan penelitian dengan menggunakan penelitian multi tahap, yaitu tahap pertama melakukan prioritas pemilihan tube bundle extractor dengan menggunakan metode AHP, kemudian tube- extractor yang terpilih akan dilakukan analisis risiko kegagalan potensial dengan menggunakan metode FMEA.

Hal yang baru dari penelitian ini adalah pemilihan dan pengembangan suatu alat yang sudah ada sebelumnya tanpa membuat desain baru dari alat yang dibutuhkan, sehingga biaya yang akan dikeluarkan menjadi murah karena hanya melakukan penyempurnaan pada komponen-komponen yang ditemukan ada kelemahan waktu dilakukan kajian risiko dengan metode FMEA. Komponen komponen yang tidak terdapat kelemahan atau nilai RPN nya dapat diterima akan dipergunakan sebagaimana adanya. Kajian risiko kegagalan potensial yang dilakukan tidak hanya terbatas pada desain alat, akan tetapi dilakukan juga kajian risiko kegagalan terkait dengan kondisi lingkungan tempat alat akan dipergunakan, sehingga alat yang terpilih mempunyai kehandalan yang baik dan memuaskan pengambil keputusan dan memberikan dampak positif terhadap kelancaran proyek.

## **BAB 3.**

### **METODELOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Metode Penelitian**

Metodologi penelitian merupakan cara untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Berdasarkan pada ciri-ciri keilmuan, dilakukan dengan cara yang masuk akal dan langkah-langkah yang dilakukan bersifat logis (Sugiyono., 2012). Pada penelitian ini metode yang akan digunakan adalah metode AHP untuk prioritas pemilihan “*tube-extractor*” dan metode FMEA untuk evaluasi kemungkinan kegagalan “*tube-extractor*” yang terpilih.

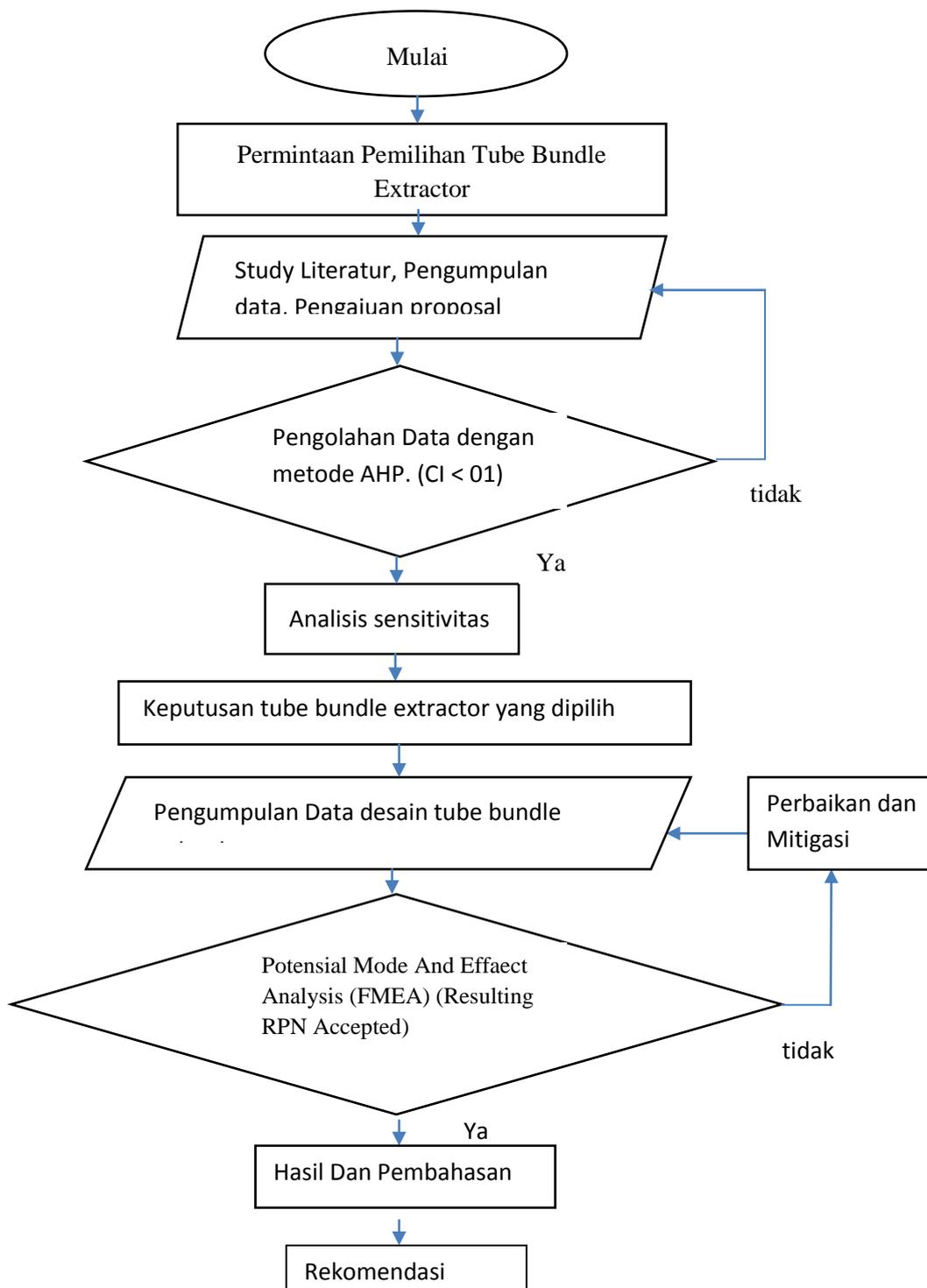
##### **3.1.1. Diagram Alir Penelitian**

Penelitian ini ditulis untuk merumuskan pemilih tube bundle extractor yang sesuai untuk proyek penggantian 6 buah tube-bundle heat exchanger di PT XYZ Energy

Alur pikir penelitian ini dimulai dari permintaan perusahaan XYZ Energy Inc kepada penulis untuk melakukan pekerjaan penggantian 6 buah tube-bundle heat exchanger kemudian dilanjutkan dengan pengajuan proposal tube bundle extractor yang akan dipilih pada proyek penggantian tersebut dengan masukan data dari internal perusahaan XYZ Energy Inc, data dari internet, data US Patent 3,836,015 inventor Bobby J Travis serta data hasil riset (Patil et al ., 2013)

Selanjutnya dari masing masing masukan data dilakukan pemilihan dengan metode AHP. setelah didapat tube-bundle yang sesuai kemudian dilakukan analisa kegagalan potensial dengan metode FMEA

Secara garis besar tahapan-tahapan penelitian mulai dari tahap persiapan pelaksanaan penelitian sampai dengan tahap penyusunan tesis ini secara rinci ditunjukkan pada gambar 3.1.



**Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian**

### 3.2. Jenis Dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian dan pengembangan atau “*Research and Development*” (R&D). Menurut (Sugiyono., 2012) penelitian dan pengembangan adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut . Model dalam penelitian pengembangan ini adalah model prosedural, yaitu model yang bersifat deskriptif dan menggariskan pada langkah-langkah pengembangan untuk menghasilkan produk baru atau menyempurnakan produk yang sudah ada. Meliputi tahap potensi dan masalah, pengumpulan data, desain produk, validasi desain, revisi desain produk, uji coba produk, revisi produk, uji coba pemakaian, revisi produk, dan produksi masal.

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian dan pengembangan ini meliputi beberapa tahap, yaitu:

1. Potensi dan masalah.

Pada penelitian ini data tentang potensi dan masalah berdasarkan dokumentasi laporan kegiatan perusahaan minyak XYZ Energy.

2. Pengumpulan data.

Setelah potensi dan masalah dapat ditunjukkan secara faktual, selanjutnya perlu dikumpulkan berbagai informasi yang dapat digunakan sebagai bahan untuk perencanaan.

3. Desain Produk.

Hasil akhir dari serangkaian penelitian awal, dapat berupa rancangan kerja baru atau produk baru. Pada penelitian ini desain produk dihasilkan dari penelitian dengan menggunakan metode “*Analytic Hierarchy Process*” (AHP).

4. Validasi Desain.

Proses untuk menilai apakah desain tube bundle extractor baru secara rasional layak digunakan, maka dilakukan uji sensitivitas desain tube bundle extractor dengan melakukan eksperimen perubahan bobot kriteria.

5. Revisi Desain Produk.

Produk yang telah didesain kemudian dilakukan analisa kegagalan potensial menggunakan metode “*Failure Mode And Effect Analysis*” (FMEA), dan setelah

diketahui kelemahannya maka selanjutnya dilakukan perbaikan terhadap desain “*tube bundle extractor*” tersebut.

#### 6. Uji Coba Produk.

Setelah dilakukan perbaikan desain tube bundle extractor terpilih maka akan dilakukan uji coba produk secara terbatas.

#### 7. Revisi Produk.

Berdasarkan hasil uji coba terbatas, dan diketahui kelemahannya maka dilakukan revisi terhadap “*tube bundle extractor*”.

Uji coba pemakaian dilapangan dengan kondisi sesungguhnya.

#### 8. Revisi Produk.

Apabila didapatkan kekurangan ketika dilakukan uji coba, maka selanjutnya dilakukan revisi produk.

#### 9. Produksi.

Pada Penelitian ini peneliti tidak melakukan pembuatan tube bundle extractor, dan hanya melakukan perbaikan dari komponen bila ditemukan kelemahan.

### **3.3. Instrumen Penelitian**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian multi tahap, dimana setidaknya peneliti harus melakukan beberapa jenis instrument penelitian dalam satu periode.

Instrumen Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

Penelitian pendahuluan; dalam studi ini instrumen yang digunakan oleh peneliti, antara lain: wawancara dan dokumentasi.

Pengembangan model konseptual; Instrumen yang digunakan oleh peneliti dalam validasi model adalah: daftar pertanyaan dalam kegiatan “*Focus Grup Discussion*” (FGD) dan wawancara terstruktur.

Uji Coba Model; Peneliti menggunakan “*Focus Group Discussion*”. Sedangkan dalam evaluasi hasil terutama untuk mengetahui keefektivan model, instrumen yang digunakan adalah berupa angket test dan angket nontest. FGD test berisi beberapa pertanyaan untuk mengetahui sejauhmana kepentingan penelitian tentang kriteria tertentu. Sedangkan angket non test berkaitan dengan produk yang menjadi tujuan penelitian.

### 3.4. Jenis dan Narasumber Data

#### 3.4.1. Jenis data

Jenis data yang dibutuhkan dalam penyusunan tesis ini adalah data primer dan data sekunder.

Data Primer diperoleh dari:

1. Hasil wawancara langsung dengan pihak XYZ Energy Inc.
2. Observasi Lapangan
3. Angket / Kuesioner / Focus Group discussion.

Data Sekunder diperoleh dari data teknis, yaitu:

1. Desain dan spesifikasi tube bundle extractor.
2. Standard Operating Procedure tube bundle extractor.
3. Dokumen pemeliharaan tube bundle extractor.

#### 3.4.2. Narasumber Data

Dalam menentukan pembobotan kriteria, peneliti meminta pendapat dari ahli yang sudah berpengalaman dilapangan tersebut dan juga merupakan karyawan perusahaan XYZ Energy Inc seperti ditunjukkan pada tabel 3.1.

**Tabel 3. 1 Narasumber**

No	Nama Lengkap	Jabatan	Institusi	Lama Bekerja	Pendidikan Terakhir
1	Moch Jakaria	Maintenance Superintendent	M3 Energy Inc	17 Tahun	Electrical Engineer
2	Azmie Isa	Offshore Installation Manager	M3 Energy Inc	27 Tahun	Mech Engineer
3	Stevanus Iwan	FPSO Master	M3 Energy Inc	20 Tahun	Master Marine

### 3.5. Pengolahan dan Analisis Data

Sesuai dengan namanya, penelitian dan pengembangan maka, kegiatan penelitian ini dimulai dengan penelitian dan diteruskan dengan pengembangan. Kegiatan penelitian dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang kebutuhan

pengguna (“*needs assessment*”) sedangkan kegiatan development dilakukan untuk menghasilkan perangkat / alat.

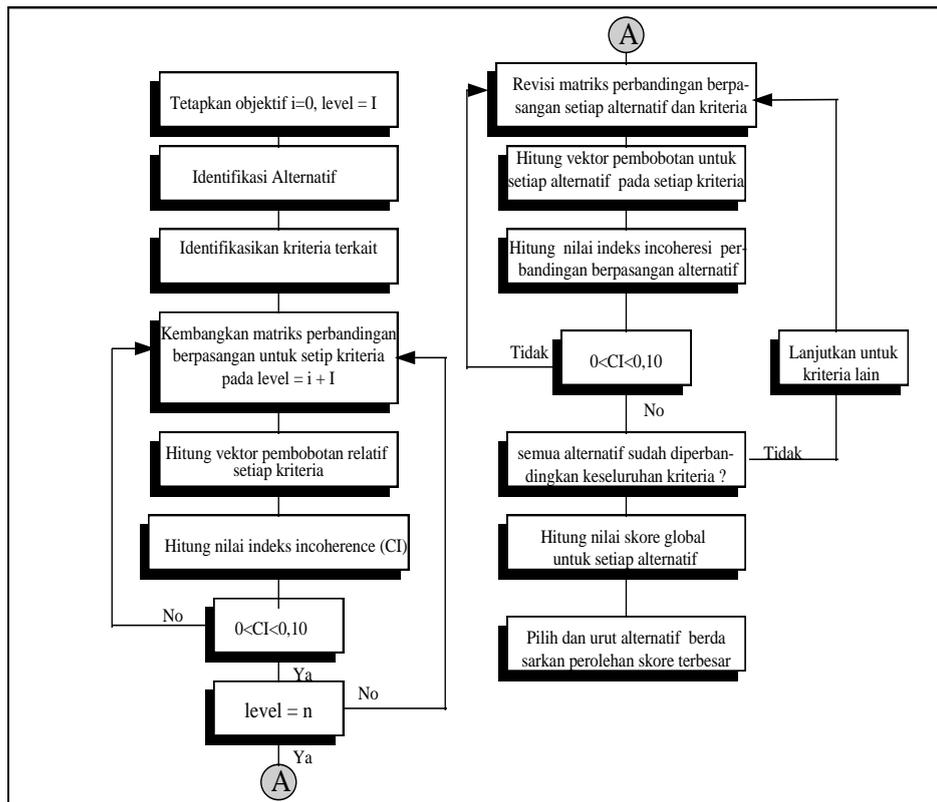
Proses pengolahan data dalam metode penelitian dan pengembangan ini dimulai dengan melakukan penelitian pendahuluan yang bertujuan untuk mengumpulkan informasi baik itu berupa masalah maupun potensi yang bisa dikembangkan dalam penelitian. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data untuk diolah sehingga dapat memecahkan masalah yang dihadapi. Data-data yang terkumpul diolah menggunakan pendekatan “*Analityc Hierarchy Process*” (AHP) dengan bantuan “*software expert choice*”. Kemudian dilakukan sintesis untuk menetapkan variabel yang memiliki prioritas tinggi dan berperan untuk mempengaruhi hasil penetapan desain “*tube-extractor*”. Kemudian dilakukan uji sensitivitas desain “*tube-extractor*” dengan melakukan eksperimen perubahan bobot kriteria. Setelah secara desain sudah dinyatakan layak dan dipilih sebuah tube bundle extractor.

Tahap berikutnya dilakukan pengujian kegagalan potensial dengan metode “*Failure Mode and Effect Analysis*” (FMEA). Bila dalam pengujian didapatkan kelemahan maka tube bundle extractor direvisi. Kemudian dilakukan pengujian pada lapangan sesungguhnya. Bila dalam uji lapangan masih didapatkan kelemahan maka “*tube-extractor*” direvisi kembali. Tahap akhir adalah pembuatan “*tube-extractor*”. Pada penelitian ini, tidak dilakukan pembuatan tube bundle karena peneliti hanya mengembangkan produk yang sudah ada, dan memperbaiki kekurangan yang ditemukan.

Proses pengolahan data pada penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu: pengolahan dengan menggunakan metode AHP dan pengolahan data dengan menggunakan metode FMEA.

### **3.5.1. Pengolahan Data menggunakan AHP**

Pengolahan data mengacu pada prosedur AHP seperti ditunjukkan pada gambar 3.2.



**Gambar 3. 2** Prosedur Penyelesaian AHP

### 3.5.2. Pengolahan Data Menggunakan FMEA

Melakukan analisa kegagalan potensial tube bundle extractor terpilih dengan metode FMEA dengan 10 langkah penyelesaian FMEA (Mc Dermott et al., 2009) adalah sebagai berikut.

1. Membentuk team FMEA.
2. Brainstorm mode kegagalan potensial.
3. Membuat daftar efek potensial dari setiap mode kegagalan dan memasukan kedalam lembar kerja FMEA.
4. Menetapkan Severity, Kejadian, dan Peringkat deteksi.
5. Menetapkan Ranking Severity untuk Setiap Effect.
6. Menetapkan Urutan Kejadian untuk Setiap Modus Kegagalan.
7. Hitung Risk Priority Number untuk setiap modus Kegagalan.
8. Prioritasi Mode Kegagalan untuk perbaikan.
9. Tindakan untuk menghilangkan atau mengurangi mode kegagalan berisiko

tinggi.

10. Hitung RPN yang dihasilkan apakah mode kegagalan dapat dikurangi atau dihilangkan

## BAB 4

### PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini peneliti akan membahas, menguraikan dan membuat pemodolen sistem serta melakukan analisis terkait prioritas pemilihan “*Tube-Extractor*” dengan menggunakan pendekatan “*Analytic Hierarchy Process*” (AHP). Selanjutnya membuat pemodolen sistim unit “*tube-extractor*” dan analisis kemungkinan kegagalan potensial dari “*tube-extractor*” yang terpilih dengan menggunakan pendekatan “*Failure Mode and Effect Analysis*” (FMEA).

#### 4.1. Data Spesifikasi Teknis Alternatif Tipe Tube Extractor

Berdasarkan hasil masukan dan diskusi dengan ahli maka ditetapkan alternatif-alternatif yang akan dipilih dalam melakukan prioritas pemilihan tube bundle extractor, yaitu:

1. Tube Bundle Extractor tipe konvensional.
2. Tube Bundle Extractor tipe Semi automatic.
3. Tube Bundle Extractor tipe Hydraulics Tube-Extractor

##### 4.1.1. Spesifikasi Teknis Alternatif *Tube-Extractor*

Spesifikasi teknis alternatif *tube-extractor* yang telah ditetapkan berdasarkan pada desain manufaktur ditunjukkan pada tabel 4.1. Gambar masing-masing tipe tube extractor dan spesifikasinya ditunjukkan pada lampiran 3 dan 4.

**Tabel 4. 1 Data Spesifikasi Teknis Alternatif Tube Extractor**

No	Spesifikasi Tube-Extractor	Alternatif Tipe Tube Extractor		
		Tipe Konvensional	Tipe Semi-Automatics Tube Bundle-Extractor	Tipe Hydraulics-Extractor
1	Alat Tarik/Dorong	Lever Block	Hydraulics Geared Motor/ Bevel gear	Hydraulics Cylinder & Hydraulics Winch
2	Penggerak	Manual	Electro Motor	Pneumatics/Air Motor
3	Kekuatan Gaya Tarik	5000 kg	25000 kg	15000 kg
4	max Diameter Tube Bundle	Tidak diketahui	1800 mm	Max 1000 mm
5	Max Berat Tube Bundle	Tidak diketahui	25000 kg	15000 kg
6	Max Panjang Tube bundle	6000 mm	7500 mm	6000 mm
7	Jumlah Tenaga kerja	6 orag	3 orang	4 orang

#### 4.1.2. Profil Kriteria dan Sub Kriteria Penting Prioritasi Pemilihan Tube-Extractor

Kriteria-kriteria dan Sub-sub Kriteria penting terkait tujuan yang ingin dicapai, yaitu mendapatkan “*tube-extractor*” terbaik hasil diskusi dengan ahli ditunjukkan pada Tabel 4.2, 4.3, 4.4 yaitu:

**Tabel 4. 2 Deskripsi Kriteria-kriteria Penting Pemilihan Tube Extractor**

No	Kriteria	Deskripsi	Alasan
1	Biaya	Harga sewa alat/hari. ongkos pekerja/hari/orang,	Biaya investasi akan mempengaruhi <i>cash flow</i> perusahaan
2	Jumlah Tenaga kerja	Jumlah tenaga kerja ditentukan oleh pemilik proyek terkait dengan max POB	Sudah direncanakan dan mengikuti manual book penggunaan alat
3	Keandalan	Keandalan peralatan untuk mengeluarkan dan memasukan tube bundle dengan berat 4,5 ton – 6 ton	Kekutan Tarik/dorong sering bermasalah sehingga penggantian menjadi lama
4	Lokasi Penempatan	Tube bundle extractor dapat ditempatkan pada tempat yang tidak terjangkau alat angkat	Posisi Tube bundle heat exchanger berada diluar dari jangkau crane

**Tabel 4. 3 Deskripsi Sub-Kriteria Penting Lokasi Penempatan**

	Sub kriteria	Diskripsi	Alasan
1	Dimensi Alat	Alat dapat ditempatkan pada area tertentu dan terbatas	Banyak pipa proses yang terpasang dan tidak dapat direlokasi
2	Jangkauan Crane	Penempatan alat harus dalam jangkauan crane	Posisi tube bundle heat exchanger tidak semuanya dapat dijangkau crane
3	Kekuatan Crane	Pertimbangan kekuatan crane untuk menahan beban	Kekuatan crane akan berbanding lurus dengan sudut kerja.
4	Ketinggian Shell	Dapat ditempatkan sejajar dengan shell casing tube bundle heat exchanger	Buffle tube tidak rusak ketika proses pengerjaan

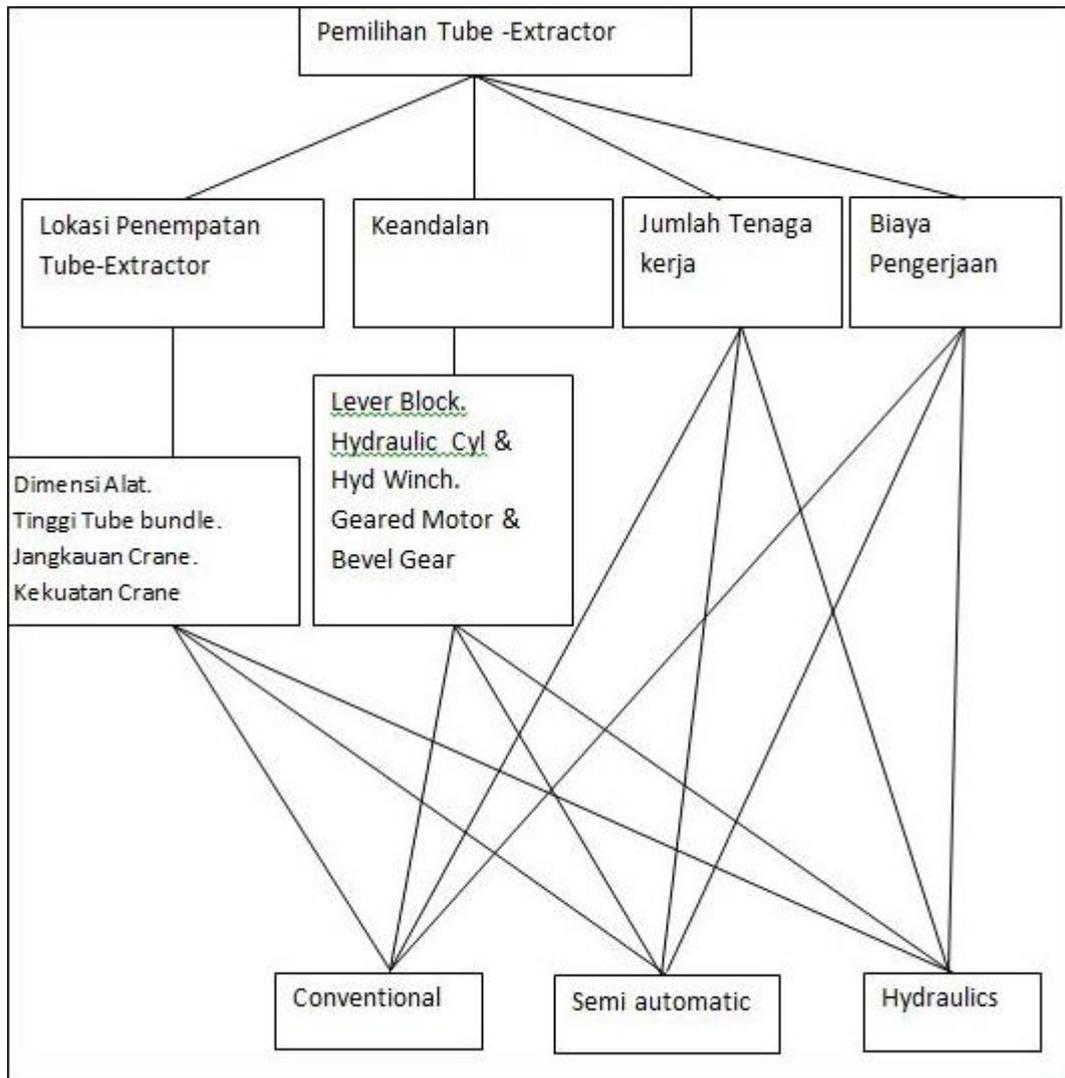
**Tabel 4. 4 Deskripsi Sub-Kriteria Penting Keandalan**

	Sub kriteria	Diskripsi	Alasan
1	Manual	Menggunakan penggerak manual, Lever block dan Chain Block	Kekuatan cukup tinggi sehingga dapat mencabut dan memasang kembali tube bundle extractor dlm waktu cukup cepat
2	Hidrolik Winch	Menggunakan hidrolik winch untuk menarik dan memasukan tube bundle	Kekuatan Tarik tinggi sehingga dapat mencabut dan memasang tube bundle kembali dengan cepat
3	hidrolik winch dan hidrolik silinder	Menggunakan hidrolik winch dan silinder hidrolik untuk mengeluarkan dan memasukan tube bundle	Kekuatan Tarik tinggi sehingga dapat mencabut dan memasang tube bundle kembali dengan cepat

Data data terkait penentuan kriteria-kriteria dan sub-sub kriteria penting ditunjukkan pada lampiran 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8.

#### **4.1.3. Model Struktur Pilihan Alternatif dan Kriteria**

Alternatif-alternatif, kriteria-kriteria dan sub kriteria yang sudah ditentukan kemudian didekomposisi kedalam struktur hirarki seperti ditunjukkan pada gambar 4.1.



**Gambar 4. 1 Hirarki Pemodelan Pemilihan Tube Bundle Extractor**

#### 4.2. Perhitungan Matriks Berpasangan AHP

Dalam melakukan prioritas pemilihan tube bundle heat exchanger, maka dibuatkan matriks perbandingan berpasangan untuk setiap kriteria, sub kriteria dan sub-sub kriteria seperti ditampilkan pada Tabel 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, dan 4.16.

**Tabel 4. 5 Matriks Perbandingan Berpasangan Kriteria Pemilihan Tube Extractor**

	Penempatan	Keandalan	JML Tenaga Kerja	Biaya
Penempatan	1	3	$\frac{1}{3}$	7
Keandalan	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{5}$	5
Jml Tenaga Kerja	3	5	1	7
Biaya	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$	1

**Tabel 4. 6 Matriks Perbandingan Berpasangan Sub Kriteria Lokasi Penempatan Tube- Extractor**

	Dimensi	Radius Kerja Crane	Beban Kerja Aman Crane	KetinggianShell
Dimensi	1	3	5	$\frac{1}{3}$
Radius Kerja Crane	$\frac{1}{3}$	1	1	$\frac{1}{3}$
Beban Kerja Aman Crane	$\frac{1}{5}$	1	1	$\frac{1}{5}$
KetinggianShell	3	3	5	1

**Tabel 4. 7 Matriks Perbandingan Berpasangan Sub Kriteria Keandalan**

	Manual	Hydraulic Cilynder	Hydraulic winch
Manual	1	5	3
Hydraulic Cilynder	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{3}$
Hydraulic winch	$\frac{1}{3}$	3	1

**Tabel 4. 8 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Dimensi**

	Conventional Tube Extractor	Semi-Automatics Tube-Extractor	Hydraulics Tube- Extractor
Conventional Tube Extractor	1	3	2
Semi-Automatics Tube-Extractor	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{2}$
Hydraulics Tube- Extractor	$\frac{1}{2}$	2	1

**Tabel 4. 9 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Ketinggian Shell**

	Conventional Tube Extractor	Semi-Automatics Tube-Extractor	Hydraulics Tube- Extractor
Conventional Tube Extractor	1	5	3
Semi-Automatics Tube-Extractor	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{3}$
Hydraulics Tube- Extractor	$\frac{1}{3}$	3	1

**Tabel 4. 10 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Radius Kerja Crane**

	Conventional Tube Extractor	Semi-Automatics Tube-Extractor	Hydraulics Tube- Extractor
Conventional Tube Extractor	1	1	1
Semi-Automatics Tube-Extractor	1	1	1
Hydraulics Tube- Extractor	1	1	1

**Tabel 4. 11 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Beban Kerja Aman Crane**

	Conventional Tube Extractor	Semi-Automatics Tube-Extractor	Hydraulics Tube- Extractor
Conventional Tube Extractor	1	1	1
Semi-Automatics Tube-Extractor	1	1	1
Hydraulics Tube- Extractor	1	1	1

**Tabel 4. 12 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria Manual**

	Conventional Tube Extractor	Semi-Automatics Tube-Extractor	Hydraulics Tube- Extractor
Conventional Tube Extractor	1	5	7
Semi-Automatics Tube-Extractor	$\frac{1}{5}$	1	1
Hydraulics Tube- Extractor	$\frac{1}{7}$	1	1

**Tabel 4. 13 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria Hydraulic Cylinder**

	Conventional Tube Extractor	Semi-Automatics Tube-Extractor	Hydraulics Tube- Extractor
Conventional Tube Extractor	1	3	5
Semi-Automatics Tube-Extractor	$\frac{1}{3}$	1	1
Hydraulics Tube- Extractor	$\frac{1}{5}$	1	1

**Tabel 4. 14 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria Hydraulic Winch**

	Conventional Tube Extractor	Semi-Automatics Tube-Extractor	Hydraulics Tube- Extractor
Conventional Tube Extractor	1	5	7
Semi-Automatics Tube-Extractor	$\frac{1}{5}$	1	<b>1</b>
Hydraulics Tube- Extractor	$\frac{1}{7}$	<b>1</b>	1

**Tabel 4. 15 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Jumlah Tenaga Kerja**

	Conventional Tube Extractor	Semi-Automatics Tube-Extractor	Hydraulics Tube- Extractor
Conventional Tube Extractor	1	5	3
Semi-Automatics Tube-Extractor	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{3}$
Hydraulics Tube- Extractor	$\frac{1}{3}$	<b>3</b>	1

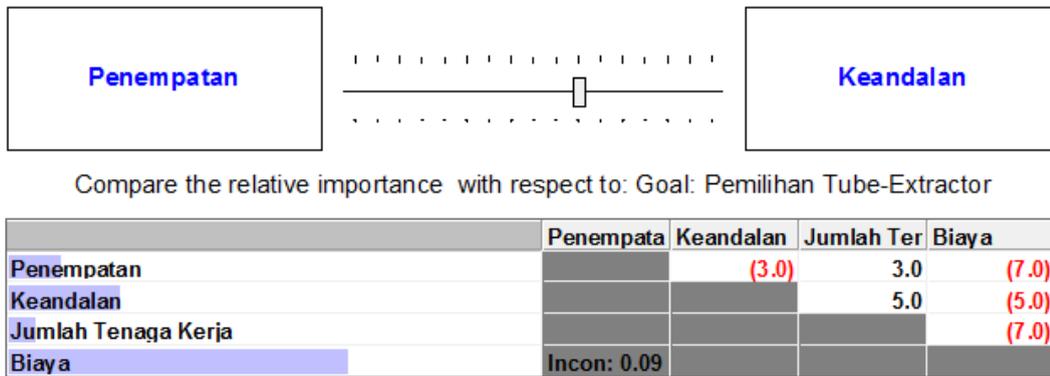
**Tabel 4. 16 Perbandingan Matriks Berpasangan Kriteria Jumlah Tenaga Kerja**

	Conventional Tube Extractor	Semi-Automatics Tube-Extractor	Hydraulics Tube- Extractor
Conventional Tube Extractor	1	3	2
Semi-Automatics Tube-Extractor	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{3}$
Hydraulics Tube- Extractor	$\frac{1}{2}$	<b>3</b>	1

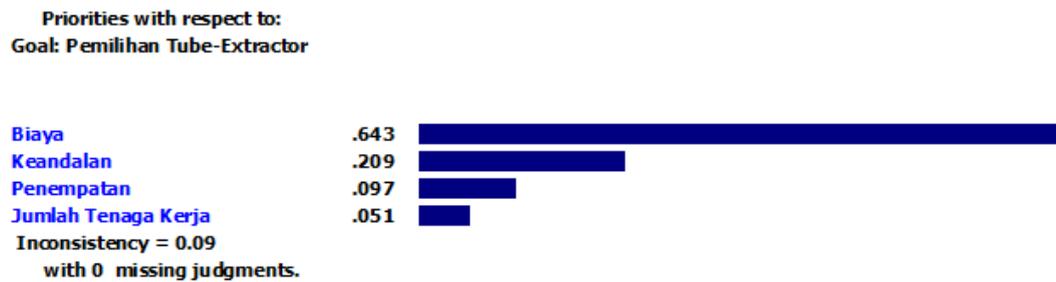
### 4.3. Analisis Matriks Berpasangan

Dalam melakukan analisa matriks berpasangan, peneliti menggunakan *software expert choice* dan Excel (ditunjukkan pada Lampiran 9) untuk menghitung tingkat kepentingan satu kriteria dibanding dengan kriteria lain dan menghitung indeks konsistensinya. Referensi tingkat kepentingan antara alternatif-alternatif dan kriteria-kriteria dihasilkan dari penilaian ahli yang dituangkan pada kuesioner ditunjukkan pada Lampiran 1 Pembobotan matriks dan prioritas vector adalah sebagai berikut:

Pembobotan Kriteria Pemilihan Tube Extractor



Gambar 4. 2 Pembobotan Kriteria Pemilihan Tube Extractor



Gambar 4. 3 Priority Vektor Kriteria Pemilihan Tube Extractor.

Berdasarkan hasil pembobotan kriteria Pemilihan Tube Extractor dengan menggunakan *Software Expert Choice* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2. Maka didapat nilai priority vektor dari kriteria pemilihan *tube – extractor* seperti ditunjukkan pada gambar 4.3, adalah :

PV Biaya = 64,3%

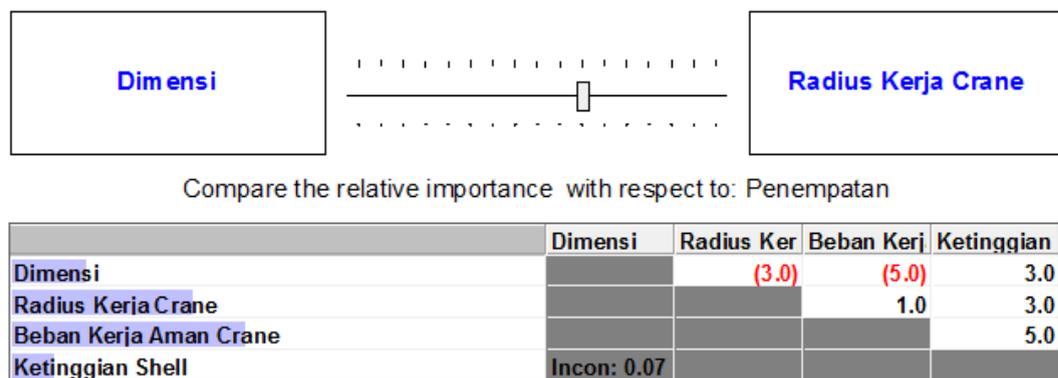
PV Keandalan = 20,9%

PV Penempatan = 9,7%

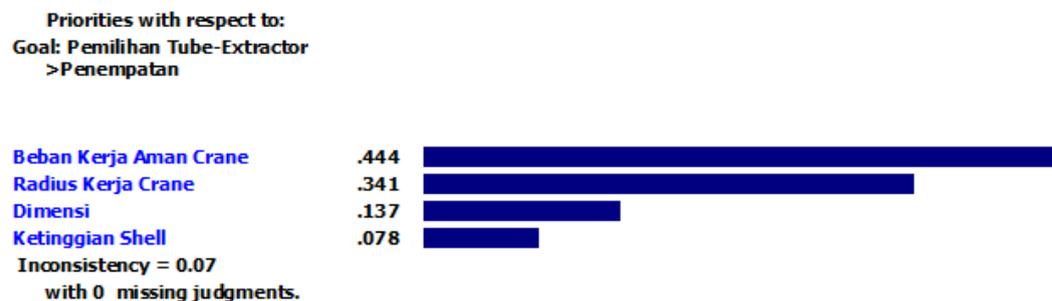
PV Jumlah Tenaga Kerja = 5,1%

Persentase priority vektor yang tertinggi yaitu kriteria *Biaya* dengan persentase 64,3%. Jadi kriteria yang paling berpengaruh dalam pemilihan *tube-extractor* adalah *Biaya*, dengan nilai konsistensi dari kriteria pemilihan *tube-extractor* yaitu CR: 0,09  $\leq$  0.1. sehingga bisa diterima.

#### Pembobotan Sub-Kriteria Penempatan



**Gambar 4. 4 Pembobotan Sub-Kriteria Penempatan**



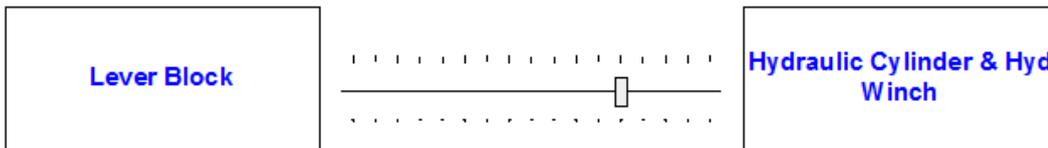
**Gambar 4. 5 Priority Vektor Sub-Kriteria Penempatan**

Berdasarkan hasil pembobotan sub kriteria lokasi penempatan tube extractor dengan menggunakan *Software Expert Choice* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4. dan 4.5, maka didapat nilai priority vektor adalah sebagai berikut :

- PV Beban Kerja Aman Crane = 44,4 %
- PV Radius Kerja Crane = 34,1 %
- PV Dimensi = 13,7 %
- PV Ketinggian Shell = 7,8 %

Persentase priority vektor yang tertinggi yaitu sub-kriteria Beban Kerja Aman Crane dengan persentase 44,4 %. Jadi sub-kriteria yang paling berpengaruh dalam pemilihan *tube- extractor* dengan kriteria Penempatan adalah beban kerja aman. Hasil konsistensi indeks yaitu CR: 0,07 <=0.1. sehingga bisa diterima.

**Pembobotan Matriks Berpasangan Sub Kriteria Keandalan**



Compare the relative importance with respect to: Keandalan

	Lever Bloc	Hydraulic C	Geared Moi
Lever Block		(5.0)	(3.0)
Hydraulic Cylinder & Hyd Winch			3.0
Geared Motor & Bevel Gear	Incon: 0.04		

**Gambar 4. 6 Pembobotan Sub-Kriteria Keandalan**

Priorities with respect to:  
Goal: Pemilihan Tube-Extractor  
>Keandalan



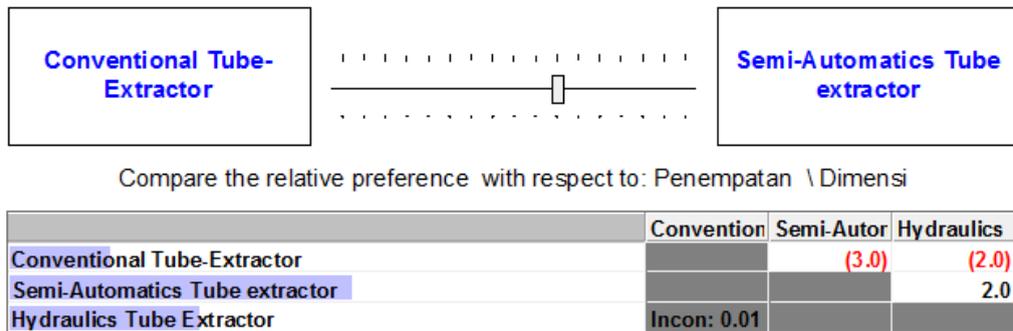
**Gambar 4. 7 Priority Vektor Sub-Kriteria Keandalan**

Berdasarkan hasil pembobotan Sub-Kriteria Keandalan dengan menggunakan Software Expert Choice seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6. dan 4.7, maka didapat nilai priority vektor sebagai berikut:

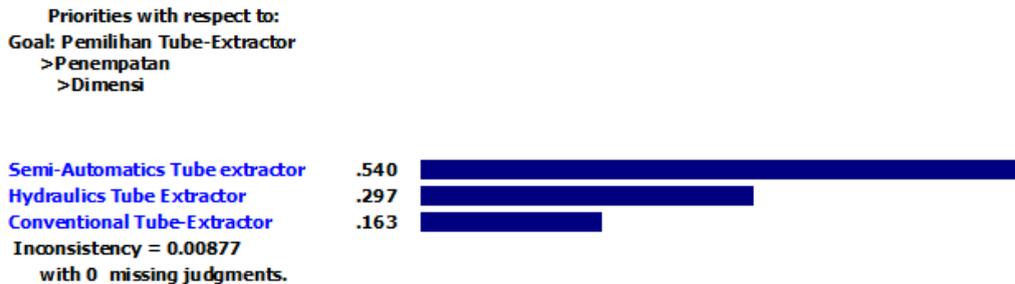
- PV *Hydraulic Cylinder & Hyd Winch* = 63,7 %
- PV *Geared Motor & Bevel Gear* = 25,8 %
- PV *Lever Block* = 10,5 %

Persentase priority vektor yang tertinggi yaitu sub-kriteria Hydraulic Cylinder dengan persentase 63,7%. Jadi kriteria yang paling berpengaruh dalam pemilihan *tube-extractor* dengan kriteria Keandalan adalah *Hydraulic Cylinder & Hyd Winch*. Hasil konsistensi Keandalan yaitu CR: 0,04 <= 0.1. sehingga bisa diterima.

Pembobotan Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Dimensi



**Gambar 4. 8 Pembobotan Alternatif dari Kriteria penempatan dan Sub-Kriteria Dimensi**



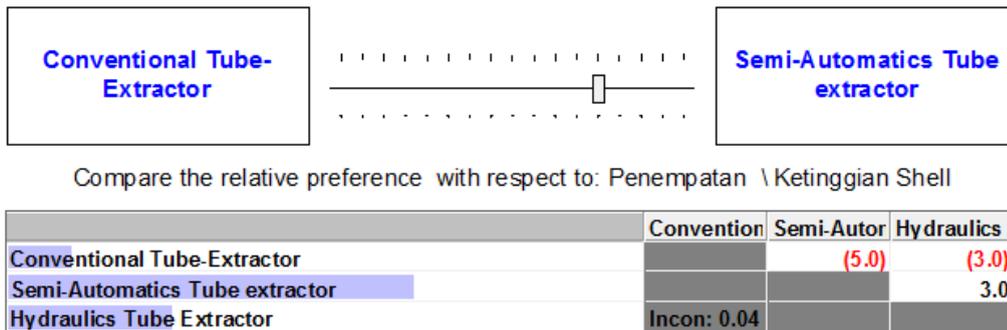
**Gambar 4. 9 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Dimensi**

Berdasarkan hasil pembobotan Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Dimensi dengan menggunakan *Software Expert Choice* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan 4.9, maka didapat nilai priority vektor alternatif sebagai berikut :

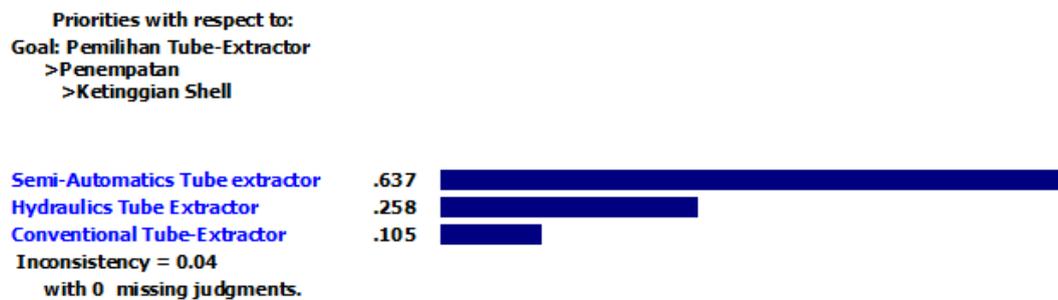
- PV *Semi-Automatic Tube Extractor* = 54%
- PV *Hydraulics Extractor* = 29,7%
- PV *Conventional Tube Extractor* = 16,3%

Persentase priority vektor yang tertinggi yaitu alternatif *semi-automatic* dengan persentase 54%. Jadi alternatif yang paling berpengaruh dalam pemilihan *tube-extractor* dengan kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Dimensi adalah *semi-automatic*. Hasil konsistensi dari pemilihan alternatif yaitu CR: 0,0087  $\leq$  0.1. sehingga bisa diterima.

Pembobotan Alternatif dari Penempatan dan Sub-Kriteria Ketinggian Shell



**Gambar 4. 10** Pembobotan Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Ketinggian Shell



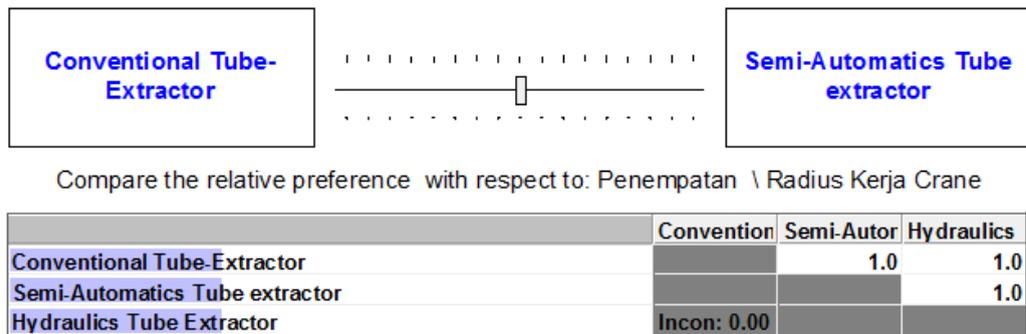
**Gambar 4. 11** Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Ketinggian Shell

Berdasarkan hasil pembobotan Alternatif dari Penempatan dan Sub-Kriteria Ketinggian Shell dengan menggunakan *Software Expert Choice* seperti ditunjukkan pada gambar 4.10 dan 4.11, maka didapat nilai priority vektor alternatif sebagai berikut :

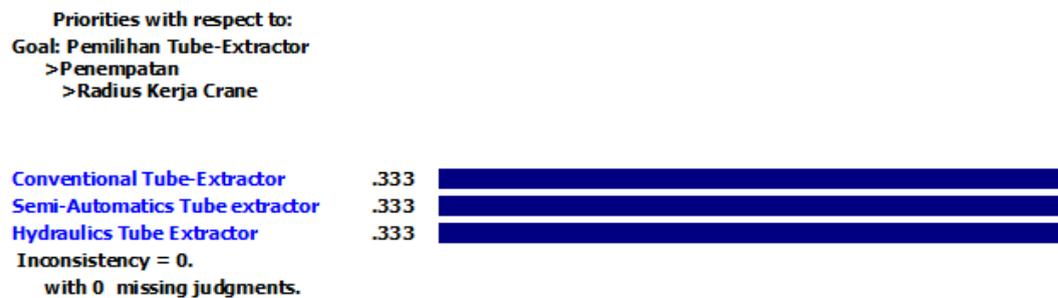
- PV *Semi Automatic* = 63,7%
- PV *Hydraulics Extractor* = 25,8%
- PV *Conventional Tube-Extractor* = 10,5%

Persentase priority vektor yang tertinggi yaitu alternatif *semi-automatic tube- extractor* dengan persentase 63,7%. Jadi alternatif yang paling berpengaruh dalam pemilihan *tube extractor* dengan Penempatan dan Sub-Kriteria Ketinggian Shell adalah *semi-automatic tube-extractor*. Hasil konsistensi dari pemilihan alternatif CR:  $0,04 \leq 0.1$ . sehingga bisa diterima.

Pembobotan Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Radius Kerja Crane



**Gambar 4. 12 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Radius Kerja Crane**



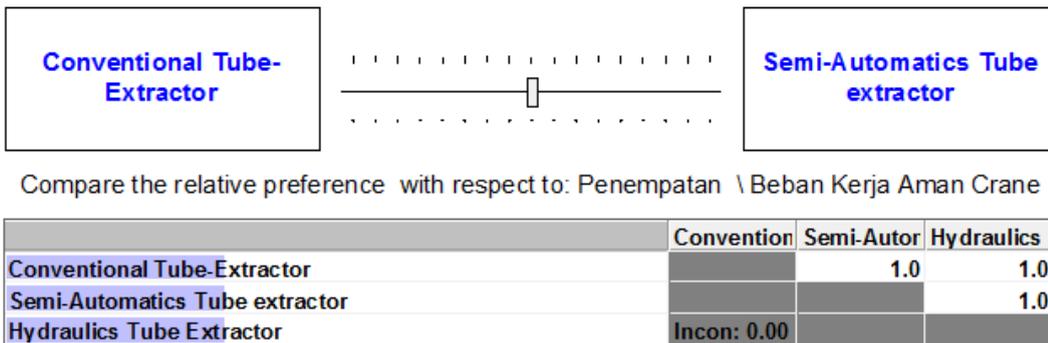
**Gambar 4. 13 Priority Vektor Alternatif dari Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Radius Kerja Crane.**

Berdasarkan hasil pembobotan Alternatif dari Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Radius Kerja Crane dengan menggunakan *Software Expert Choice* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12 dan 4.13, maka didapat nilai priority vektor alternatif sebagai berikut :

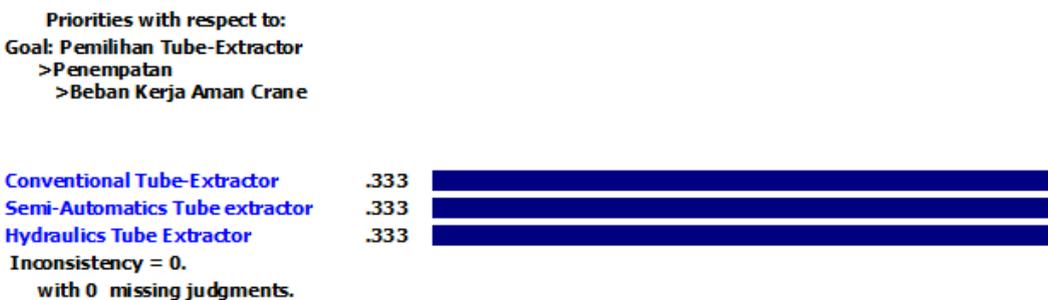
- PV *Semi Automatic* = 33,3%
- PV *Hydraulics Extractor* = 33,3%
- PV Konvensional = 33,3%

Persentase priority vektor dari ketiga alternatif adalah seimbang yaitu senilai 33,3%. Hal ini menandakan kriteria lokasi penempatan *tube-extractor* dan sub-kriteria sub-kriteria jangkauan *crane* memiliki pengaruh yang sama dalam pemilihan alternatif *tube – extractor*. Hasil konsistensi dari pemilihan alternatif yaitu CR: 0,0 <=0.1. sehingga bisa diterima.

Pembobotan Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Beban Kerja Aman Crane



**Gambar 4. 14 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Placement dan Sub-Kriteria Beban Kerja Aman Crane**



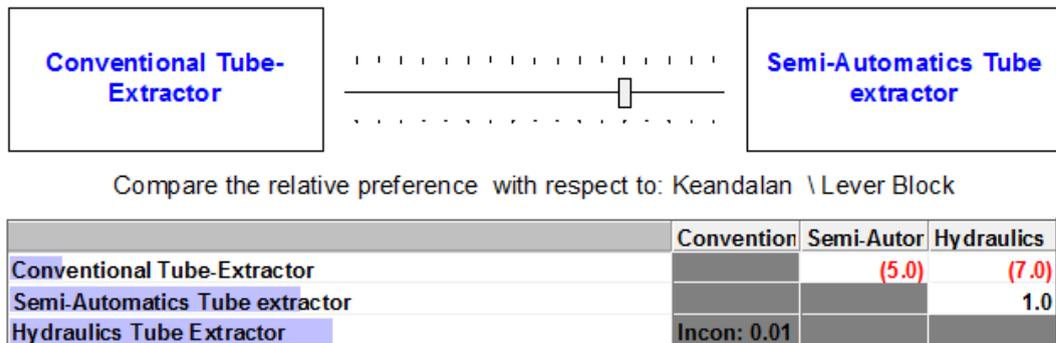
**Gambar 4. 15 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Beban Kerja Aman Crane**

Berdasarkan hasil pembobotan Alternatif dari Kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Beban Kerja Aman Crane dengan menggunakan *Software Expert Choice* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14 dan 4.15, maka didapat nilai priority vektor alternatif sebagai berikut :

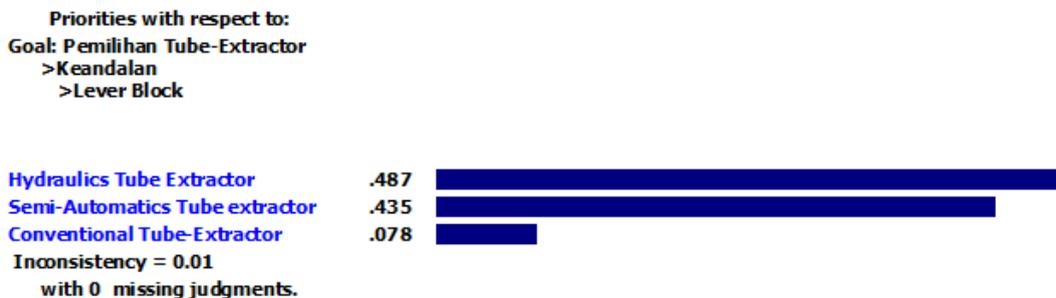
- PV *Semi Automatic* = 33,3%
- PV *Hydraulics Extractor* = 33,3%
- PV Konvensional = 33,3%

Persentase priority vektor dari ketiga alternatif adalah seimbang yaitu senilai 33,3%. Hal ini menandakan kriteria Penempatan dan Sub-Kriteria Beban Kerja Aman Crane memiliki pengaruh yang sama dalam pemilihan alternatif *tube – extractor*. Hasil konsistensi dari pemilihan alternatif yaitu  $CR:0 \leq 0,1$  sehingga bisa diterima.

Pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria Lever Block



Gambar 4. 16 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Lever Block*.



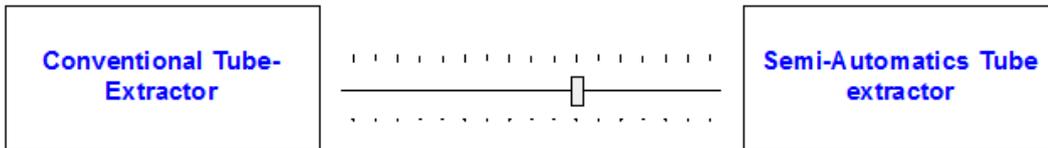
Gambar 4. 17 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Lever Block*.

Berdasarkan hasil pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Lever Block* dengan menggunakan *Software Expert Choice* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan 4.17, maka didapat nilai priority vektor sebagai berikut :

- PV *Semi Automatic* = 48,7%
- PV *Hydraulics Extractor* = 43,5%
- PV *Conventional* = 7,8%

Persentase priority vektor yang tertinggi yaitu alternatif *semi automatic* dengan persentase 48,7%. Jadi alternatif yang paling berpengaruh dalam pemilihan *tube-extractor* adalah *Semi-Automatics*. Hasil konsistensi dari pemilihan alternatif yaitu CR: 0,01 <= 0,1 sehingga bisa diterima.

Pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Hydraulics Cylinder & Hyd Winch*



Compare the relative preference with respect to: Keandalan \ Hydraulic Cylinder && Hyd Wi

	Convention	Semi-Autor	Hydraulics
Conventional Tube-Extractor		(3.0)	(5.0)
Semi-Automatics Tube extractor			1.0
Hydraulics Tube Extractor	Incon: 0.03		

**Gambar 4. 18** Pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Hydraulics Cylinder & Hyd Winch*

Priorities with respect to:  
 Goal: Pemilihan Tube-Extractor  
 >Keandalan  
 >Hydraulic Cylinder & Hyd Winch



**Gambar 4. 19** Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Hydraulics Cylinder & Hyd Winch*

Berdasarkan hasil pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Hydraulics Cylinder & Hyd Winch* dengan menggunakan Software Expert Choice seperti ditunjukkan pada Gambar 4.18 dan 4.19, maka didapat nilai priority vektor sebagai berikut :

- PV *Hydraulics Extractor* = 48,1%
- PV *Semi Automatic* = 40,5%
- PV *Conventional* = 11,4%

Persentase priority vektor yang tertinggi yaitu alternatif *hydraulics extractor* dengan persentase 48,1%. Jadi alternatif yang paling berpengaruh dalam pemilihan *tube extractor* dengan Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Hydraulics Cylinder & Hyd Winch* adalah *hydraulics extractor*. Hasil konsistensi dari pemilihan alternatif yaitu  $CR: 0,03 \leq 0,1$  sehingga bisa diterima.

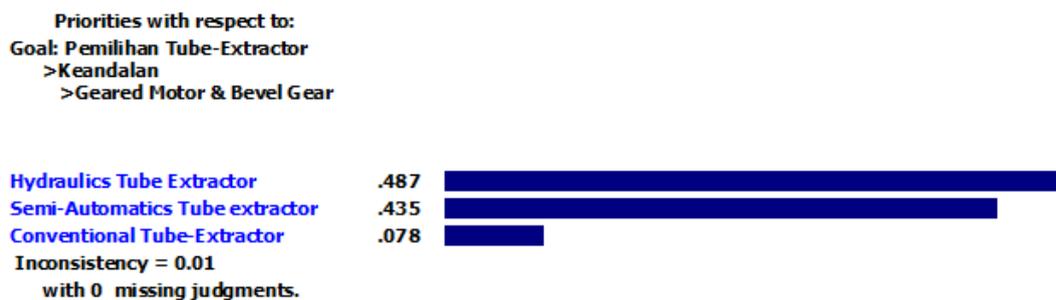
Pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Gear Motor & Bevel Gear*



Compare the relative preference with respect to: Keandalan \ Geared Motor && Bevel Gear

	Convention	Semi-Autor	Hydraulics
Conventional Tube-Extractor		(5.0)	(7.0)
Semi-Automatics Tube extractor			1.0
Hydraulics Tube Extractor	Incon: 0.01		

**Gambar 4. 20** Pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Gear Motor & Bevel Gear*



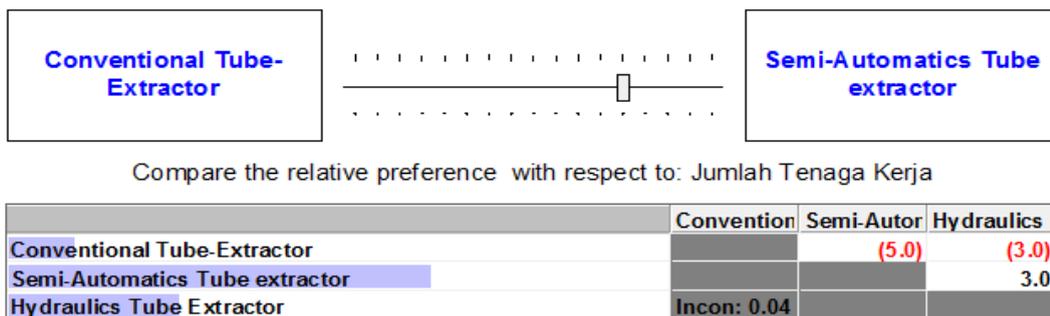
**Gambar 4. 21** Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Gear Motor & Bevel Gear*

Berdasarkan hasil pembobotan Alternatif dari Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Geared Motor & Bevel Gear* dengan menggunakan *Software Expert Choice* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.20 dan 4.21, maka didapat nilai priority vektor sebagai berikut :

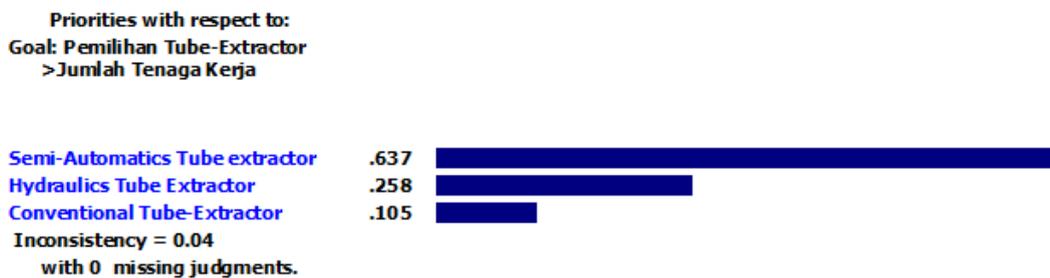
- PV *Geared Motor & Bevel Gear* = 48,7%
- PV *Semi Automatic* = 43,5%
- PV *Conventional* = 7,8%

Persentase priority vektor yang tertinggi yaitu alternatif *semi-automatic* dengan persentase 48,7%. Jadi alternatif yang paling berpengaruh dalam pemilihan *tube extractor* dengan Kriteria Keandalan dan Sub-Kriteria *Geared Motor & Bevel Gear* adalah *semi-automatic*. Hasil konsistensi dari pemilihan alternatif yaitu  $CR:0,01 \leq 0,1$  sehingga bisa diterima

Pembobotan Alternatif dari Kriteria Jumlah Tenaga Kera



**Gambar 4. 22 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Jumlah Tenaga Kera**



**Gambar 4. 23 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Jumlah Tenaga Kera**

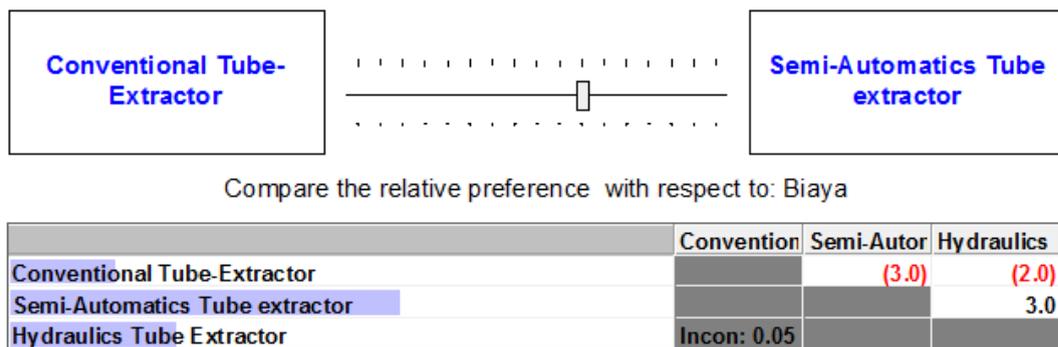
Berdasarkan hasil pembobotan Alternatif dari Kriteria Jumlah Tenaga Kerja dengan menggunakan *Software Expert Choice* seperti ditunjukkan pada

Gambar 4.22 dan 4.23, maka didapat nilai priority vektor alternatif dari kriteria jumlah tenaga kerja sebagai berikut :

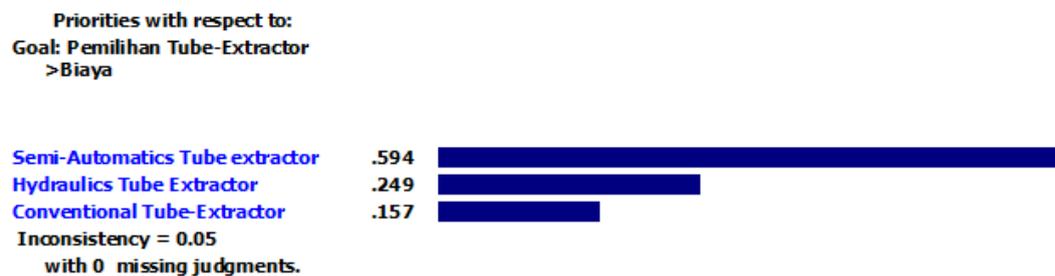
- PV *Semi Automatic* = 63,7%
- PV *Hydraulics Extractor* = 25,8%
- PV *Conventional* = 10,5%

Persentase priority vektor yang tertinggi yaitu alternatif semi *automatic* dengan persentase 63,7%. Jadi alternatif yang paling berpengaruh dalam pemilihan *tube extractor* dengan kriteria Jumlah Tenaga Kerja adalah semi *automatic*. Hasil konsistensi dari pemilihan alternatif yaitu CR: 0,04 <= 0,1 sehingga bisa diterima.

**Pembobotan Alternatif dari Kriteria Biaya**



**Gambar 4. 24 Pembobotan Alternatif dari Kriteria Biaya**

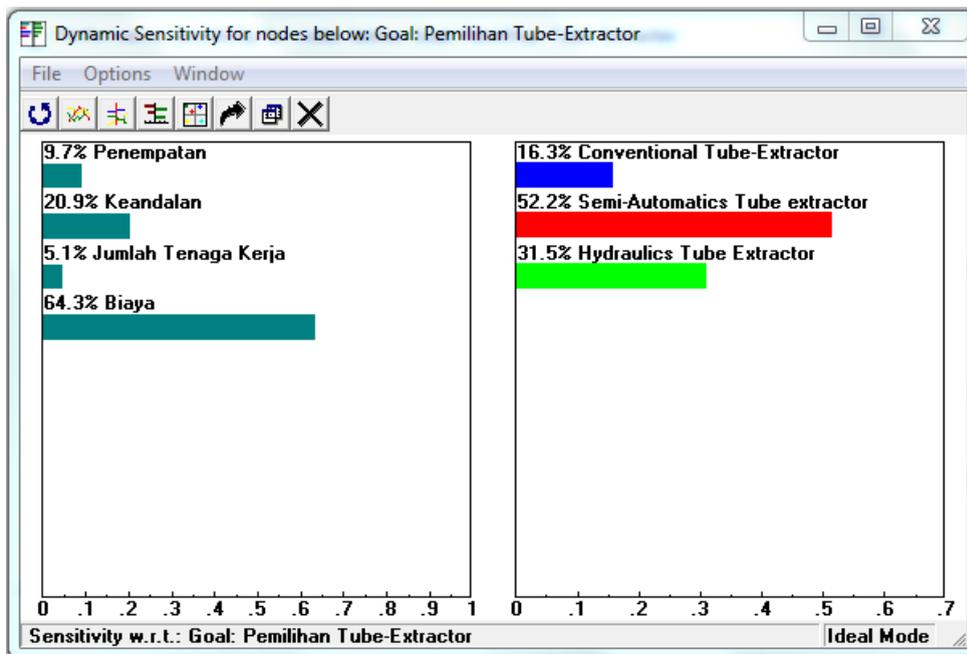


**Gambar 4. 25 Priority Vektor Alternatif dari Kriteria Biaya**

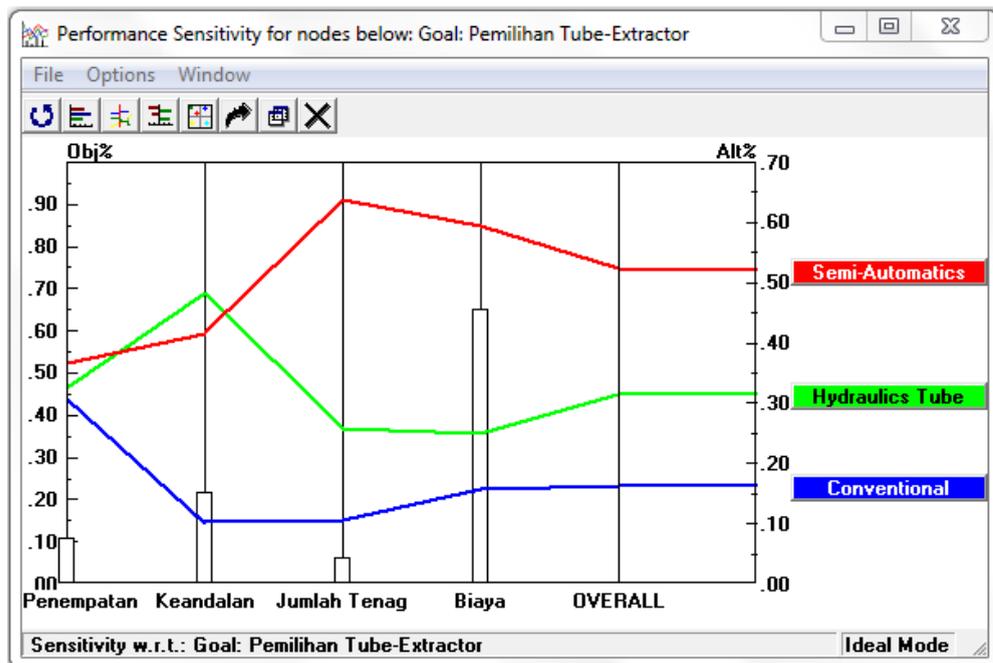
Berdasarkan hasil pembobotan Alternatif dari Kriteria Biaya dengan menggunakan Software Expert Choice seperti ditunjukkan pada Gambar 4.24 dan 4.25, maka didapat nilai priority vektor alternatif sebagai berikut :

PV *Semi Automatic* = 59,4%  
PV *Hydraulics Extractor* = 24,9%  
PV *Conventional* = 15,7%

Persentase priority vektor yang tertinggi yaitu alternatif *semi-automatic* dengan persentase 59,4%. Jadi alternatif yang paling berpengaruh dalam pemilihan *tube extractor* dengan Kriteria Biaya adalah *semi automatic*. Hasil konsistensi dari pemilihan alternatif yaitu CR:  $0,05 \leq 0,1$ .



**Gambar 4. 26 Hasil Priority Ranking Alternatif Pemilihan Keputusan *Tube – Extractor* adalah *Semi-Automtics Tube Extractor* dengan Priority 52.2%**



**Gambar 4. 27 Grafik Priority Ranking Alternatif Pemilihan Keputusan Tube – Extractor**

Berdasarkan hasil perhitungan priority vektor setiap kriteria, sub-kriteria, dan alternatif selanjutnya maka dapat diputuskan pemilihan *tube - extractor* dengan cara mengkalkulasikan priority vektornya. Pada gambar 25 dan 4.26 ditunjukkan hasilnya adalah sebagai berikut :

PV Penempatan = 9.7%

PV Keandalan = 20.9%.

PV Jumlah Tenaga Kerja = 5.1 %

PV Biaya. = 64.3%

Ranking prioritas Alternatif pilihan tube extractor

PV *Semi Automatic* = 52.2%

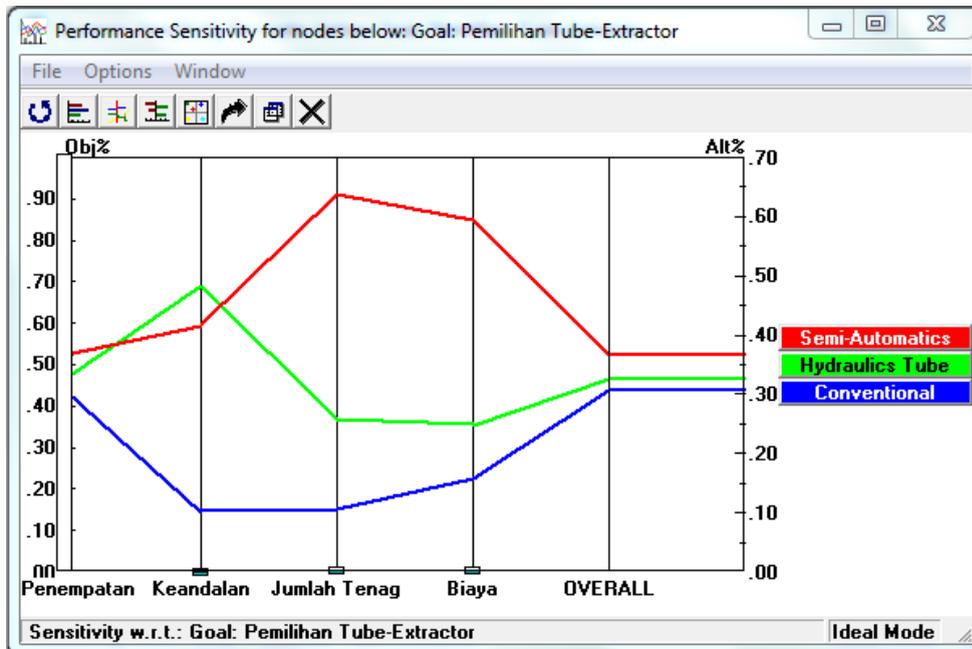
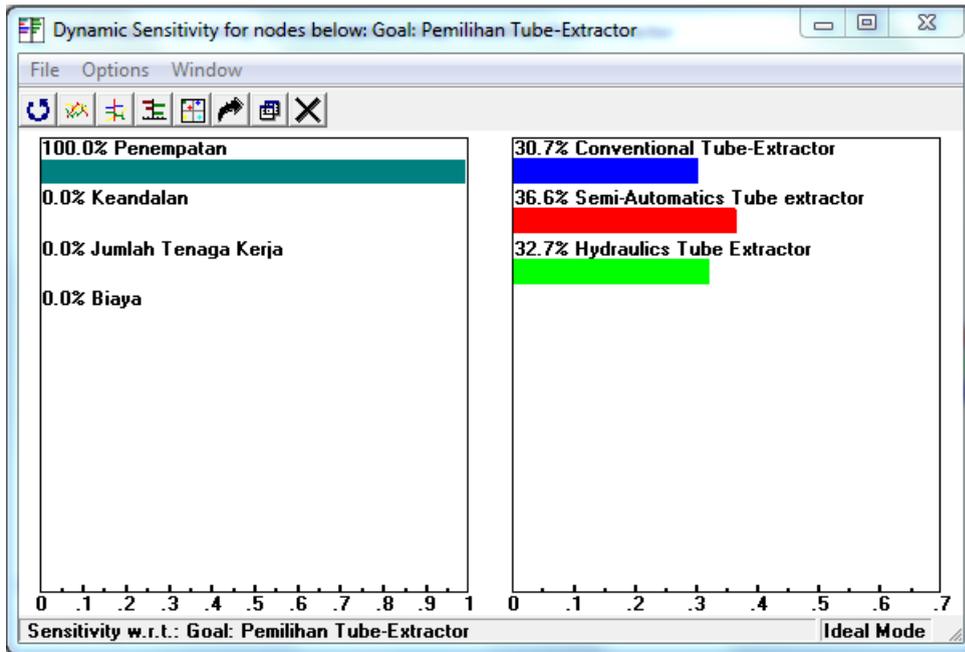
PV *Hydraulics Extractor* = 31.5%

PV *Conventional* = 15.7%

Ranking priority vektor tertinggi yaitu alternatif *Semi Automatic tube extractor* dengan persentase 52.2%. Jadi alternatif yang lebih baik untuk dipilih adalah *semi automatic*.

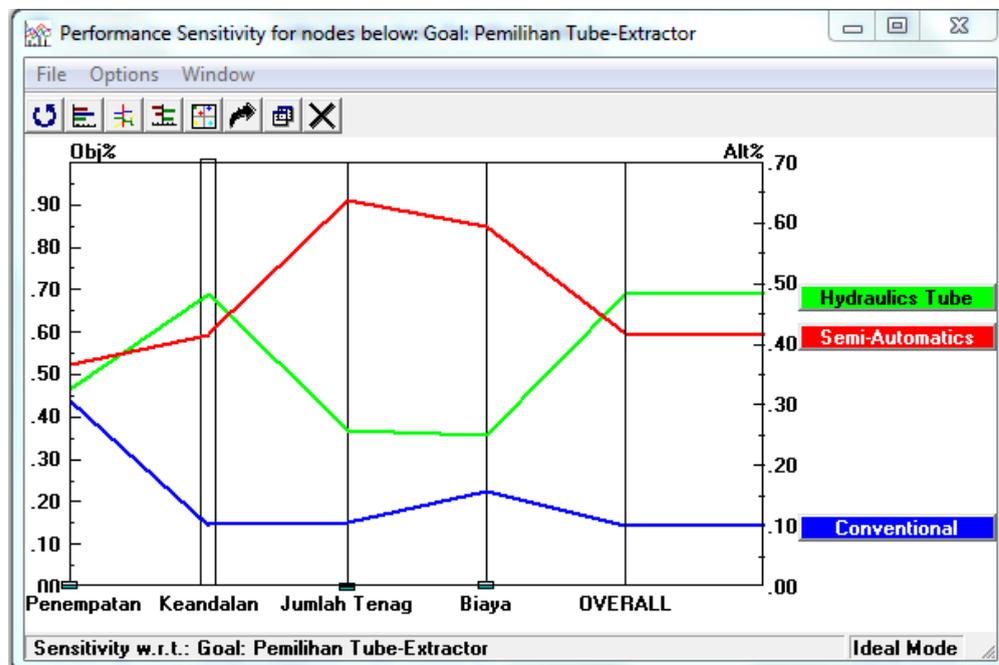
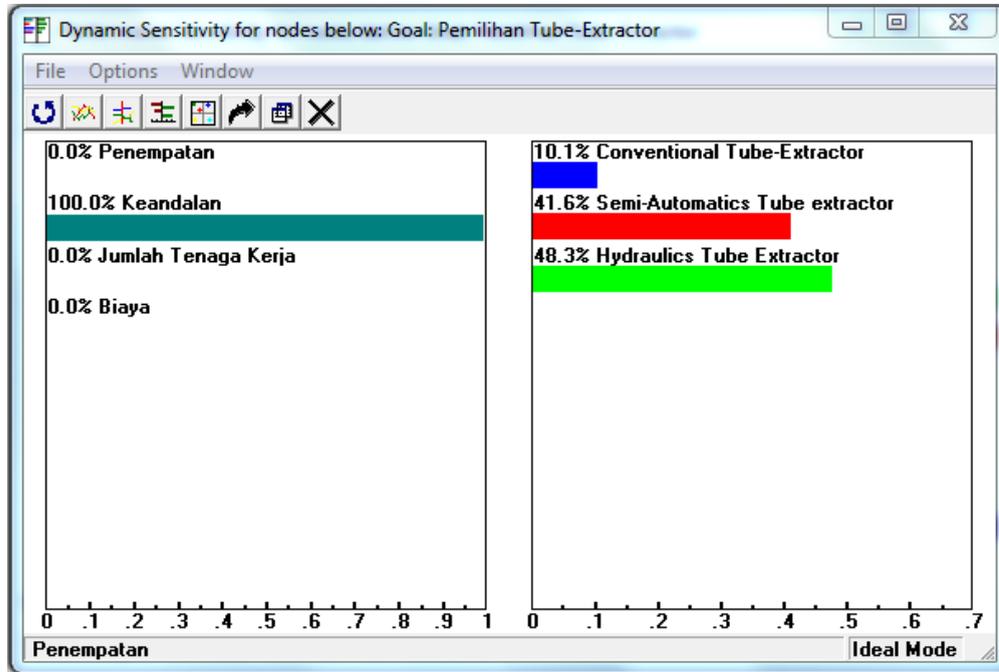
#### 4.4. Analisis Sensitivitas.

Untuk Mengetahui kesensitivitasan alternatif terpilih maka dilakukan analisis sensitivitas dengan merubah nilai kriteria pada “*software expert Choice*”. Ditunjukkan dalam gambar 4.28, 4.29, 4.30 dan 4.31.



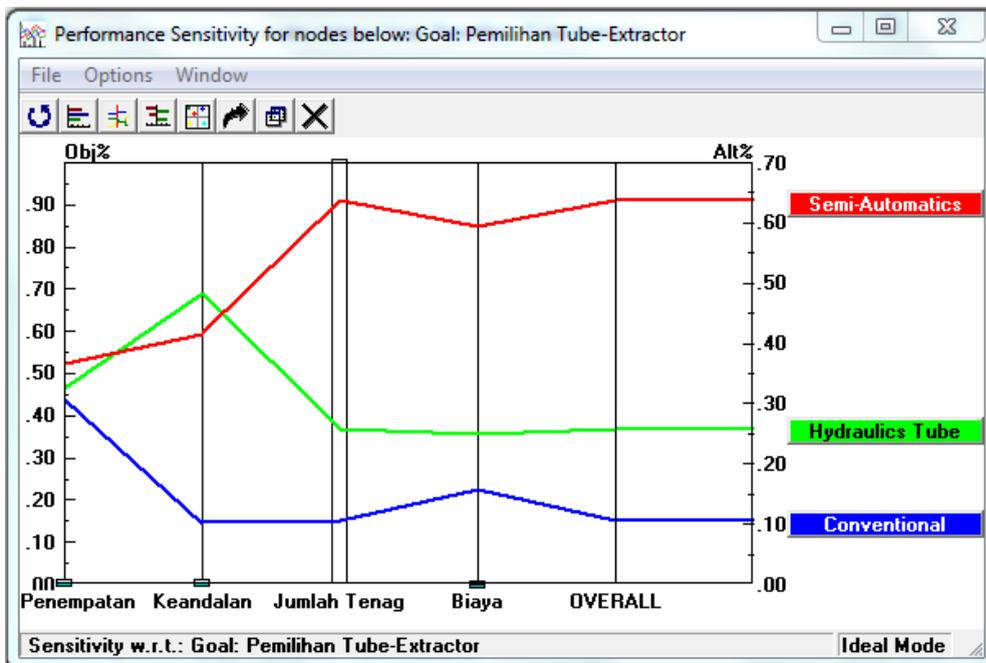
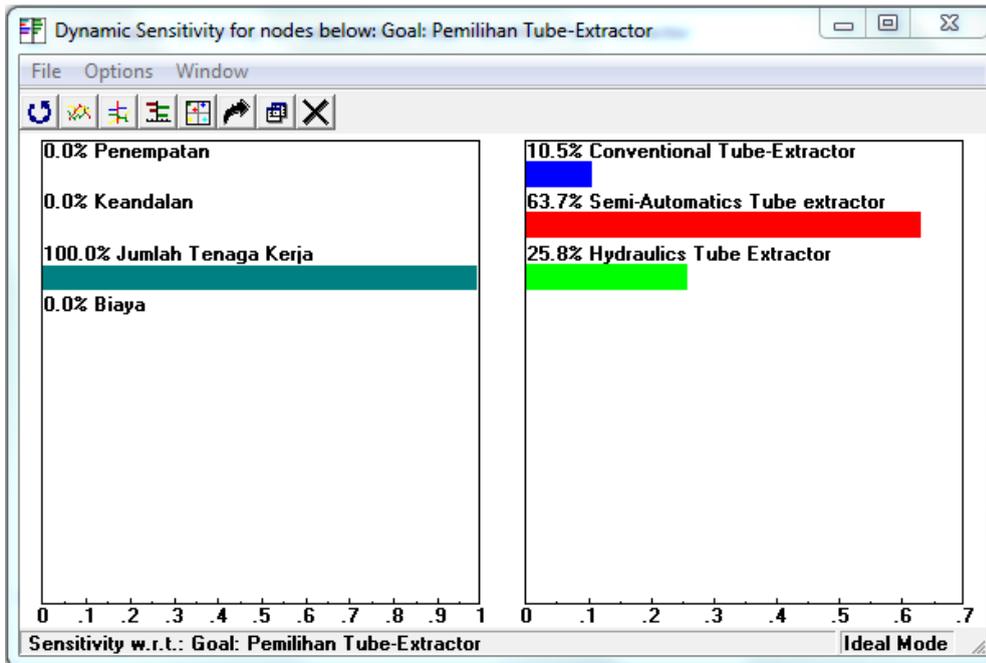
Gambar 4. 28 Analisis Sensitivitas Dynamic Dan Performance Perubahan Nilai Kriteria Penempatan

Gambar 4.29 menunjukkan perubahan untuk kriteria penempatan sampai 100% terhadap prioritas pemilihan dan hasilnya masih menempatkan tipe semi-automatic tube extractor menjadi prioritas utama.



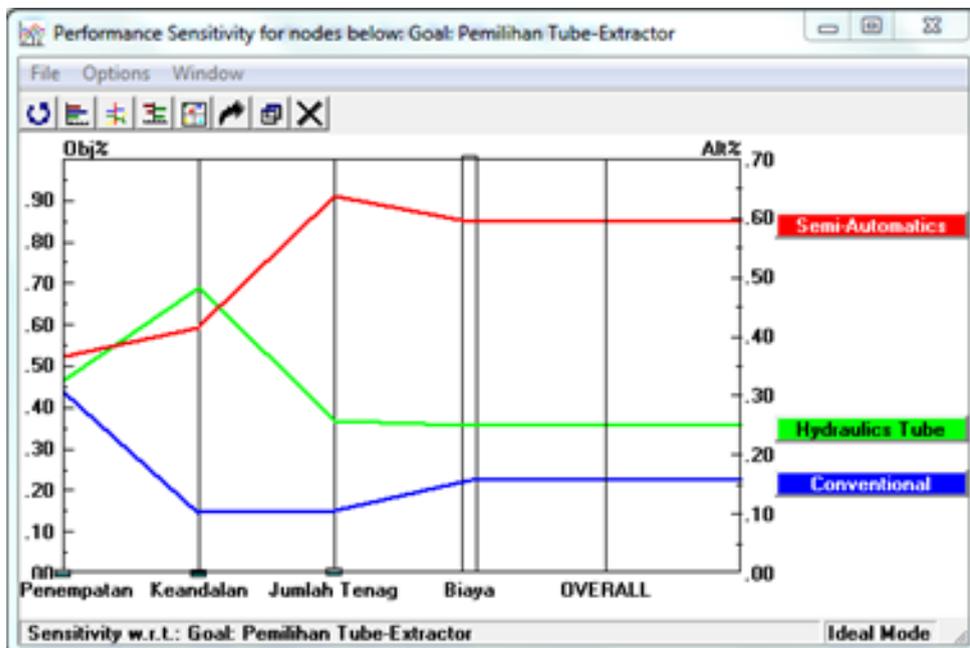
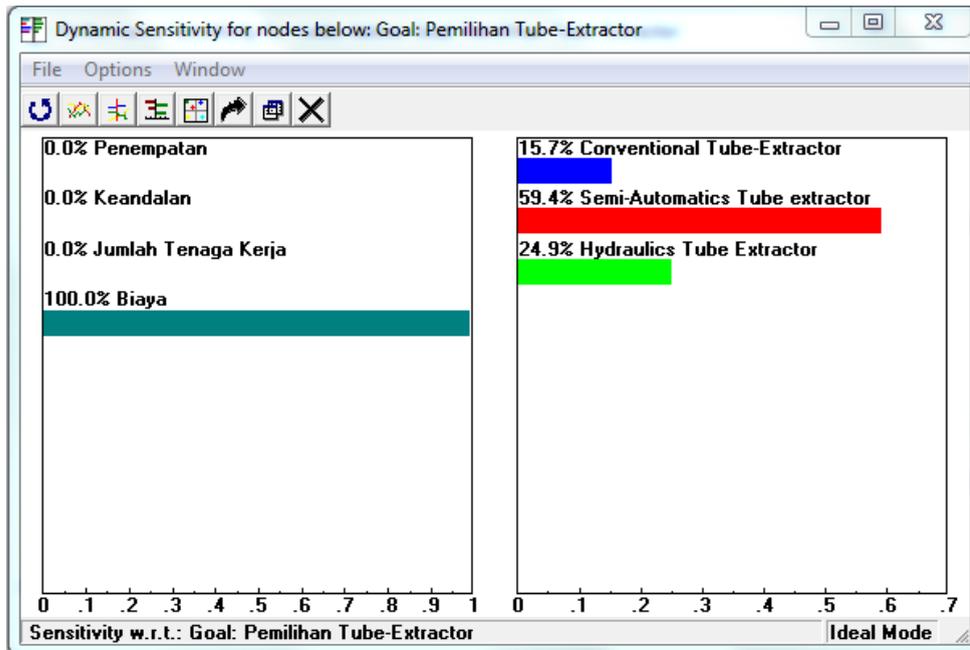
**Gambar 4. 29 Analisis Sensitivitas Dynamic Perubahan Nilai Kriteria Keandalan**

Gambar 4.30 menunjukkan perubahan untuk kriteria keandalan sampai 100% terhadap prioritas pemilihan dan hasilnya merubah ranking prioritas tipe Hydraulic tube extractor menjadi prioritas pertama sedangkan tipe semi-automatic tube extractor menjadi prioritas kedua.



**Gambar 4. 30 Analisis Sensitivitas Dynamic Perubahan Nilai Kriteria Jumlah Tenaga Kerja**

Gambar 4.31 menunjukkan perubahan untuk kriteria jumlah tenaga kerja sampai 100% terhadap prioritas pemilihan dan hasilnya masih menempatkan tipe semi-automatic tube extractor menjadi prioritas utama.



Gambar 4. 31 Analisis Sensitivitas Dynamic Perubahan Nilai Kriteria Biaya

Gambar 4.32 menunjukkan perubahan untuk kriteria biaya sampai 100% terhadap prioritas pemilihan dan hasilnya masih menempatkan tipe semi-automatic tube extractor menjadi prioritas utama untuk dipilih.

Dari analisa perubahan kriteria yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa prioritas pemilihan tube-extractor ini sensitif terhadap perubahan keandalan ditunjukkan pada gambar 4.29.

#### 4.5. Struktur Tipe Semi-Automatics Tube - Extractor

Dalam prioritas pemilihan tube bundle extractor, tipe Semi automatic tube bundle extractor merupakan prioritas utama untuk dipilih. Unit Semi automatic Tube bundle extractor disusun oleh 9 sub-sub system, lima sub system tersusun secara seri dan empat sub system tersusun secara paralel, pada gambar 4.32. ditunjukkan susunan sub-sub system semi automatic tube extractor.

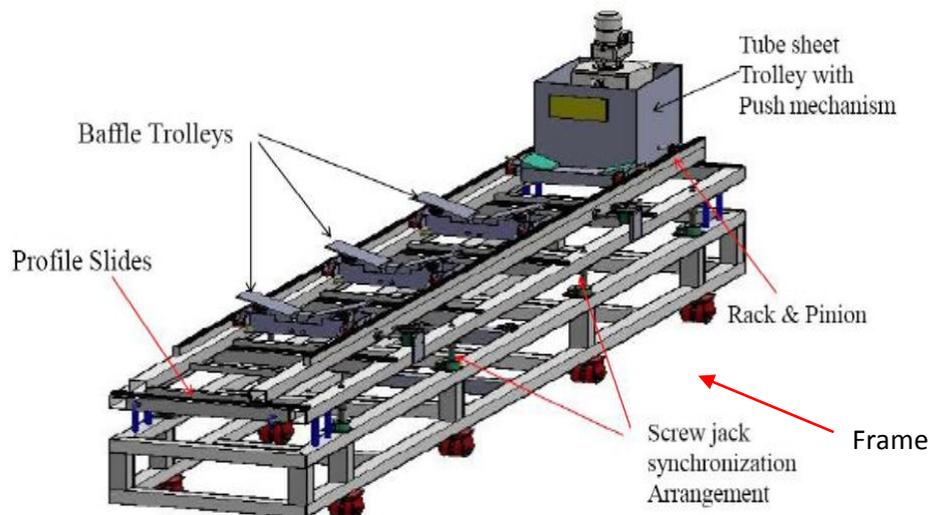


Fig.2- CAD model of tube bundle equipment

**Gambar 4. 32 Susunan unit semi automatic tube bundle extractor**

#### **4.5.1. Fungsi Bagian Tube Bundle Extractor.**

“*Semi-Automatic tube Extractor*” terdiri dari bagian-bagian yang mempunyai fungsi masing masing yaitu:

1. *Frame*: Sebagai kedudukan Sub-sub system dan penahan beban.
2. *Screw Jack Synchronization* untuk menseting vertical atau naik turunnya Sub system- rack, *Profile Linier Slide*, *Baffle Trolley* dan *trolley with pull/push mechanism*. Dengan tujuan melakukan pengaturan kesenteran antara tube bundle heat exchanger dengan Shell secara vertical.
3. *Profile Linier Slide* untuk menyetel secara lateral atau setelan ke kanan atau ke kiri *sub system Baffle Trolley* dan *trolley with pull/push*. Dengan tujuan melakukan pengaturan kesenteran antara *tube bundle heat exchanger* dengan *Shell* secara lateral.
4. *Baffle Trolley* sebagai penopang beban dan pembawa *tube bundle heat exchanger* keluar atau kedalam shell.
5. *Tube Sheet Trolley* sebagai penopang tube sheet.
6. *Trolley with push/pull mechanism*. Untuk mengeluarkan dan memasukan tube bundle ke dalam /keluar *Shell*.

#### **4.6. Analisis Kegagalan Potensial Tube Bundle Heat Exchanger**

Untuk melakukan analisis kegagalan potensial dari penggantian tube bundle heat exchanger, maka dilakukan identifikasi permasalahan terkait kerusakan komponen-komponen tube bundle heat exchanger yang dialami oleh PT XYZ Energy sebelumnya. Kerusakan tube bundle heat exchanger ditunjukkan pada gambar 4.33. sebagai berikut.



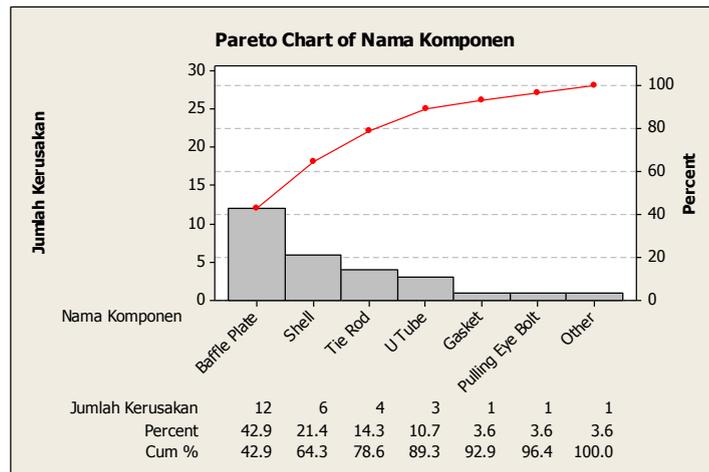
**Gambar 4. 33** Kerusakan Tube Bundle Heat Exchanger Unit

Data kerusakan komponen tube bundle heat exchanger dikumpulkan, kemudian dihitung jumlah kerusakannya. Pada Tabel 4.1 ditampilkan jumlah kerusakan komponen tube bundle haet exchanger unit.

**Tabel 4. 17** Jumlah kerusakan Komponen Tube Bundle Heat Exchanger Unit

No	Komponen	Jumlah Kerusakan	Persentase (%)	Kumulatif (%)
1	Baffle Plate	12	0.43	0.43
2	Shell	6	0.21	0.64
3	Tie Rod	4	0.14	0.78
4	U Tube	3	0.10	0.88
5	Gasket	1	0.04	0.92
6	Pulling Eye Bolt	1	0.04	0.96
7	Tube Sheet	1	0.04	1
	Total	28	100	

Selanjutnya membuat diagram Pareto dengan data jumlah kerusakan komponen-komponen tube bundle heat exchanger. Dari hasil diagram Pareto tersebut diambil 20% kerusakan komponen-komponen yang mengakibatkan 80% kerusakan pada unit tube bundle heat exchanger. Gambar 4.34 menunjukkan diagram Pareto dari kerusakan komponen-komponen tube bundle heat exchanger unit.



**Gambar 4. 34 Diagram Pareto kerusakan tube bundle heat exchanger unit**

Dari Gambar 4.34 didapatkan 3 komponen yang menyebabkan 80% kerusakan tube bundle heat exchanger unit. Komponen-komponen tersebut adalah “*Baffle Plate*” yang mengalami kerusakan sebanyak 12 buah, Shell yang mengalami kerusakan berupa goresan sebanyak 6 buah dan tie rod yang mengalami kerusakan 4 buah. Dari data kerusakan tube bundle heat exchanger, maka muncul pertanyaan. Apakah “*tube bundle heat exchanger*” rusak karena proses pekerjaan atau “*tube bundle heat exchanger rusak*” karena produk diluar batas spesifikasi?

Untuk menjawab pertanyaan tersebut, maka dilakukan analisa terhadap desain produk “*tube bundle heat exchanger*” dengan mengacu pada “*General Arrangement Drawing*” sebagai landasan spesifikasinya.

#### **4.6.1. Analisis Kegagalan Potensial Produk Tube Bundle Heat Exchanger**

Berdasarkan temuan kerusakan yang mayoritas terjadi pada baffle plate dan Shell maka dilakukan analisa kegagalan potensial produk/desain “*tube bundle heat exchanger*”. Seluruh “*baffle plate*” yang berjumlah 15 buah diukur

diameternya dari tiga sumbu (Sumbu: X,Y,Z), kemudian diameter dalam shell diukur untuk mengetahui “clearance” antara “baffle plate” dengan “shell”.

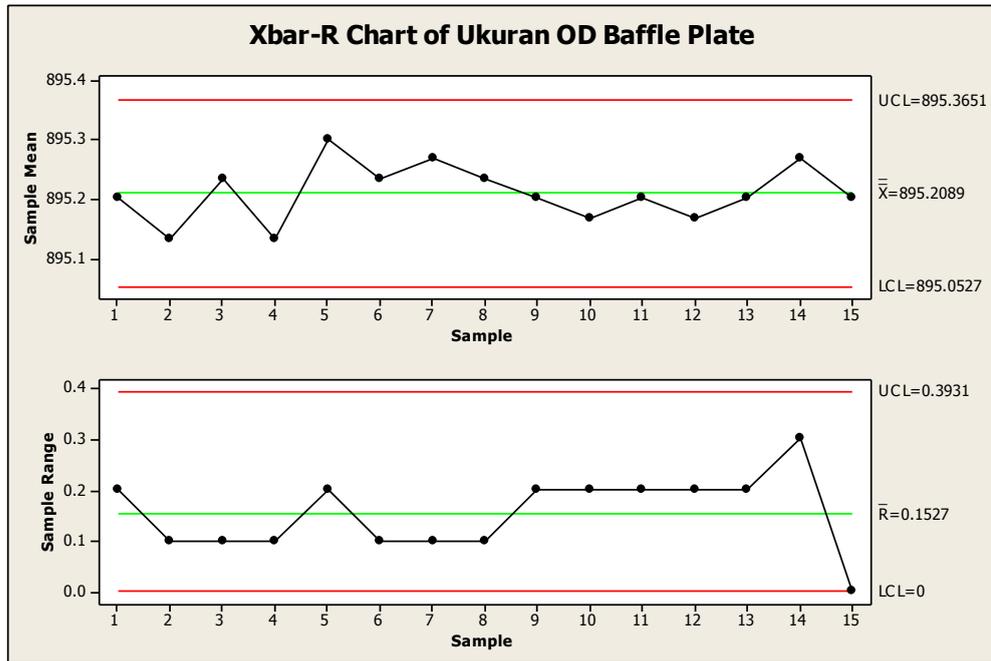
Hasil pengukuran dengan menggunakan “micrometer”, didapatkan data ukuran seperti ditunjukkan pada Tabel 4.11.

**Tabel 4. 18 Data Ukuran Diameter Luar Baffle Plate**

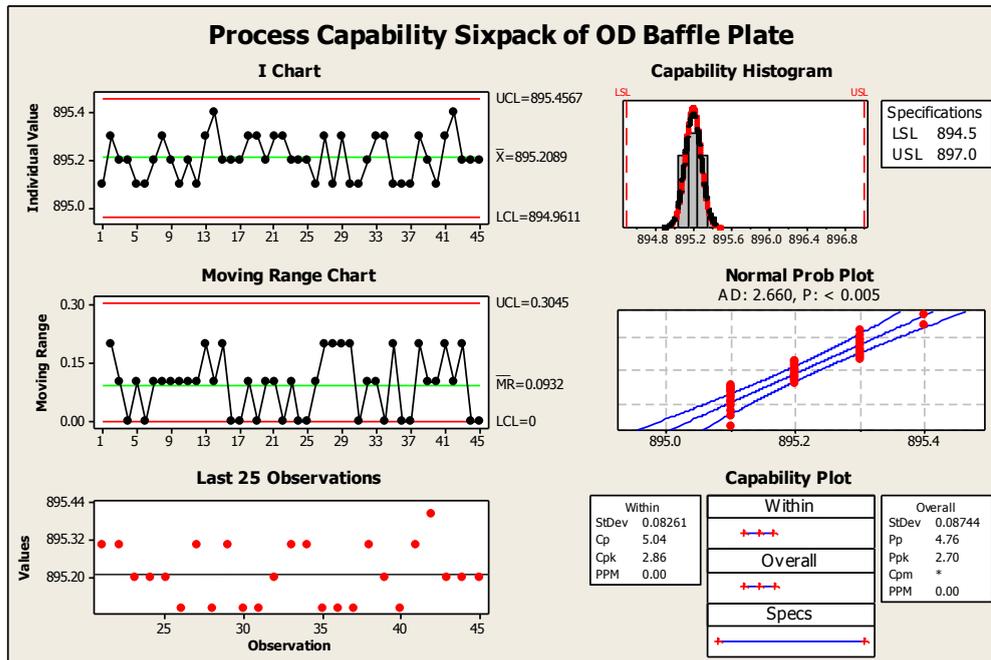
No	Diskripsi	Ukuran Diamater Baffle Plate Dalam mm		
		Sumbu X	Sumby Y	Sumbu Z
1	Baffle Plate 1	895.1	895.2	895.1
2	Baffle Plate 2	895.3	895.2	895.2
3	Baffle Plate 3	895.2	895.3	895.3
4	Baffle Plate 4	895.2	895.3	895.3
5	Baffle Plate 5	895.1	895.2	895.1
6	Baffle Plate 6	895.1	895.3	895.1
7	Baffle Plate 7	895.2	895.3	895.1
8	Baffle Plate 8	895.3	895.2	895.3
9	Baffle Plate 9	895.2	895.2	895.2
10	Baffle Plate 10	895.1	895.2	895.1
11	Baffle Plate 11	895.2	895.1	895.3
12	Baffle Plate 12	895.1	895.3	895.4
13	Baffle Plate 13	895.3	895.1	895.2
14	Baffle Plate 14	895.4	895.3	895.2
15	Baffle Plate 15	895.2	895.1	895.2

Ukuran diameter dalam (ID) Shell diambil hanya bagian depan saja, yaitu Sumbu X: 900 mm, Sumbu Y 900 mm dan Sumbu Z: 900 mm.

Berdasarkan data ukuran diameter luar (OD) baffle plate dan diameter dalam (ID) shell maka terdapat clearance sebesar 4.8 mm, dan berdasarkan analisa *Statistic Proses Control* dan kapabilitas proses dengan menggunakan Minitab dengan target OD Baffle Plate 897 mm sesuai dengan desain tube bundle heat exchanger. Ditunjukkan pada gambar 4.35 dan 4.36.



**Gambar 4. 35 Statistical Process Control Out side Diameter Baffle Plate**



**Gambar 4. 36 Process Capability Out side Diameter Baffle Plate**

Dari gambar 4.35 diketahui nilai sebagai berikut:  $\bar{X}$  – double bar = 895,2089; *Upper Control Limit* (UCL) = 895,3651; *Lower Control Limit* (LCL) = 895,0527. Namun demikian reject komponen tersebut masih *natural tolerance*

artinya masih di bawah UCL dan diatas LCL. Karena proses sudah berada dalam batas-batas pengendalian secara statistik (*natural tolerance*) maka selanjutnya peneliti ingin mengetahui apakah proses tersebut sesuai dengan batas-batas spesifikasi (*engineering tolerance*). Tujuan dari analisis kemampuan proses (*capability analysis*) adalah untuk menganalisa apakah suatu proses (yang terkendali secara statistik dan berdistribusi normal) sesuai dengan batas-batas spesifikasi yang ditentukan. Pada Gambar 4.36. ditunjukkan spesifikasi yang ditetapkan adalah  $LSL = 894,5$  dan  $USL = 897$ . Dengan batas-batas spesifikasi 894,5 sampai 897, rata-rata (*mean*) dari proses berdasarkan data pengamatan adalah 895,2089 dengan standar deviasi sebesar 0,08261, maka diketahui nilai  $C_p$  sebesar 5,04, nilai  $C_{pk}$  sebesar 2,86.

Rasio  $C_p$  sebesar 5,04 artinya bahwa *capability process* atau kemampuan proses optimum ( $C_p > 1$ ) artinya deviasi (penyimpangan) nya kecil dan Batas control atas (UCL) dan batas control bawah (LCL) berada didalam batas spesifikasi atas (USL) dan batas spesifikasi bawah (LSL), serta tidak ada hasil diluar spesifikasi

Rasio  $C_{pk}$  sebesar 2,86 artinya bahwa kemampuan proses yang menggambarkan sejauh mana mean (rata-rata) menyimpang dari target/standard, artinya akurasi dari proses sudah sesuai dengan batas spesifikasi walaupun masih dapat ditingkatkan kualitasnya, nilai  $C_{pk} > 2$  berarti mempunyai risiko yang rendah mengacu pada FMEA generic. Ditunjukkan pada tabel 4.12 berikut.

**Tabel 4. 19 Occurrence; DFMEA Custom Ranging, Piece-Based**

Occurrence; DFMEA Custom Ranging, Piece-Based	
Ranking	Example
10	$C_{pk} < 0.33$
9	$C_{pk} \approx 0.33$
8	$C_{pk} \approx 0.67$
7	$C_{pk} \approx 0.83$
6	$C_{pk} \approx 1.00$
5	$C_{pk} \approx 1.17$
4	$C_{pk} \approx 1.33$

3	$C_{pk} \approx 1.67$
2	$C_{pk} \approx 2.00$
1	$C_{pk} > 2.00$

(Mc Dermott et al., 2009)

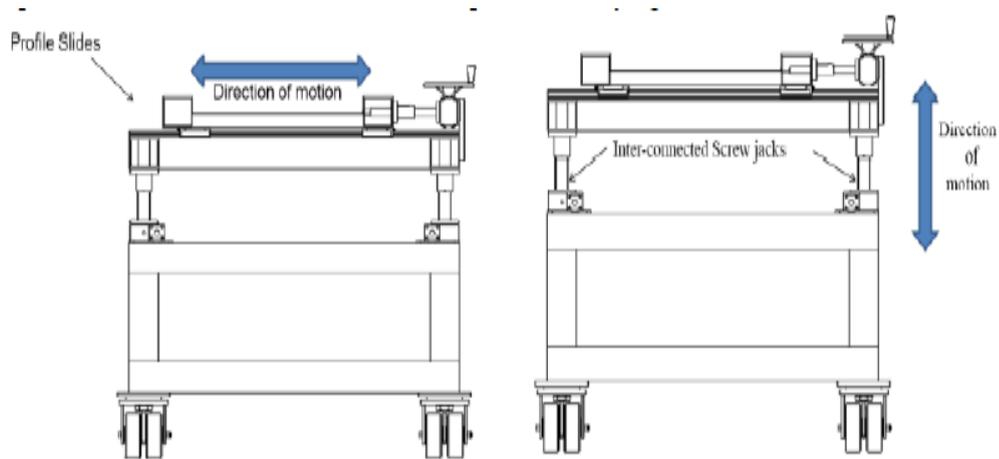
#### 4.6.2. Identifikasi dan Analisis Kegagalan Potensial Semi- Automatic Tube-Extractor

Berdasarkan hasil analisa kerusakan tube bundle heat exchanger maka dapat diidentifikasi bahwa kerusakan diakibatkan oleh:

1. Telah terjadi gesekan antara dua buah metal yang sangat keras, yaitu antara *baffle plate* dan dinding bagian dalam dari *shell*.
2. *Tube bundle heat exchanger* dicabut/dikeluarkan dari shell casing dalam keadaan tidak center.
3. *Tube Bundle Heat Exchanger* yang mempunyai beban 6 tons dan panjang 5,5 meter ditopang tidak merata sehingga menimbulkan efek lengkung dan membuat *baffle plate* bergesek dengan dinding bagian dalam shell hingga menimbulkan kerusakan pada kedua komponen tersebut.

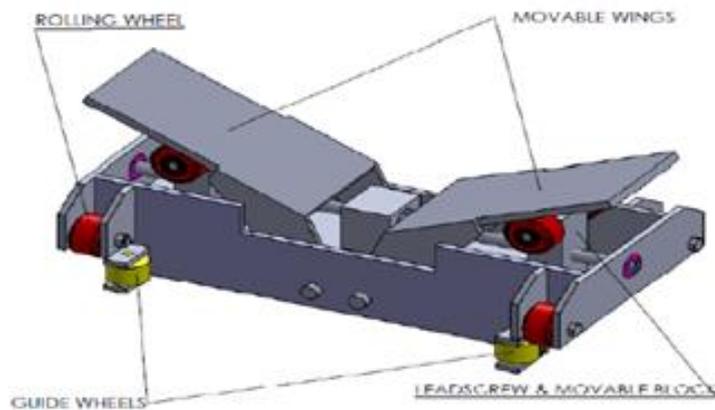
Dari hasil analisa tersebut dapat diidentifikasi bahwa sub-sub system *tube-extractor* yang memiliki kegagalan potensial adalah:

*Screw jack sychronization* dan *Profile linier slide* yaitu sub system yang berfungsi untuk membuat center antara *tube bundle* dengan *shell*. Ditunjukan pada gambar 4.37 Sebagai berikut

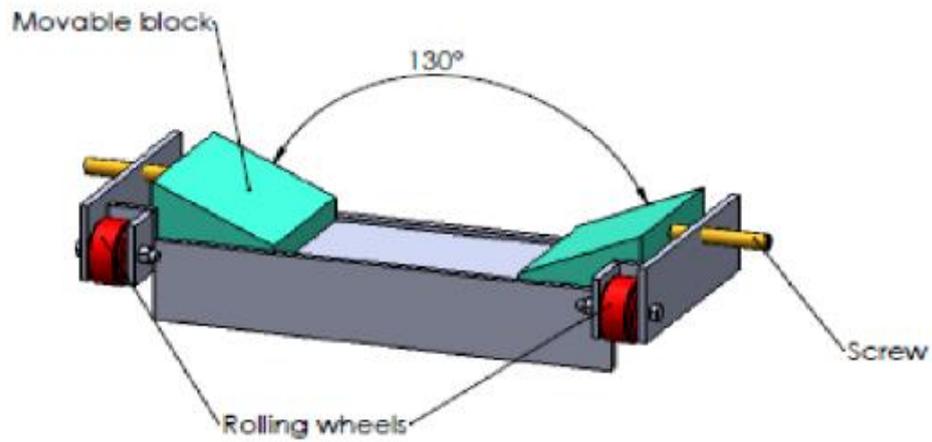


**Gambar 4. 37 Profile Slide dan Srew Jack Synchronization**

*Baffle trolley* dan *tube sheet trolley* yaitu sub system yang berfungsi untuk menopang tube bundle secara merata sehingga tidak terjadi efek lengkung pada *tube bundle*. Ditunjukkan pada Gambar 4.38 dan 4.39 sebagai berikut:



**Gambar 4. 38 Baffle Plate Desain**



**Gambar 4. 39 Tube Sheet Trolley Desain**

Selanjutnya dilakukan analisa kemungkinan kegagalan potensial terhadap komponen-komponen tersebut menggunakan Metode FMEA.

Sub-sub system yang telah teridentifikasi tersebut kemudian dimasukkan kedalam tabel lembar kerja FMEA untuk di analisis dan di hitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) nya seperti ditunjukan pada tabel 4.13.

Pemberian angka-angka pada lembar Kerja FMEA merujuk pada dasar teori FMEA di Bab 2 hal 21, 22 dan 23. Diputuskan oleh team FMEA yang sudah dibentuk.

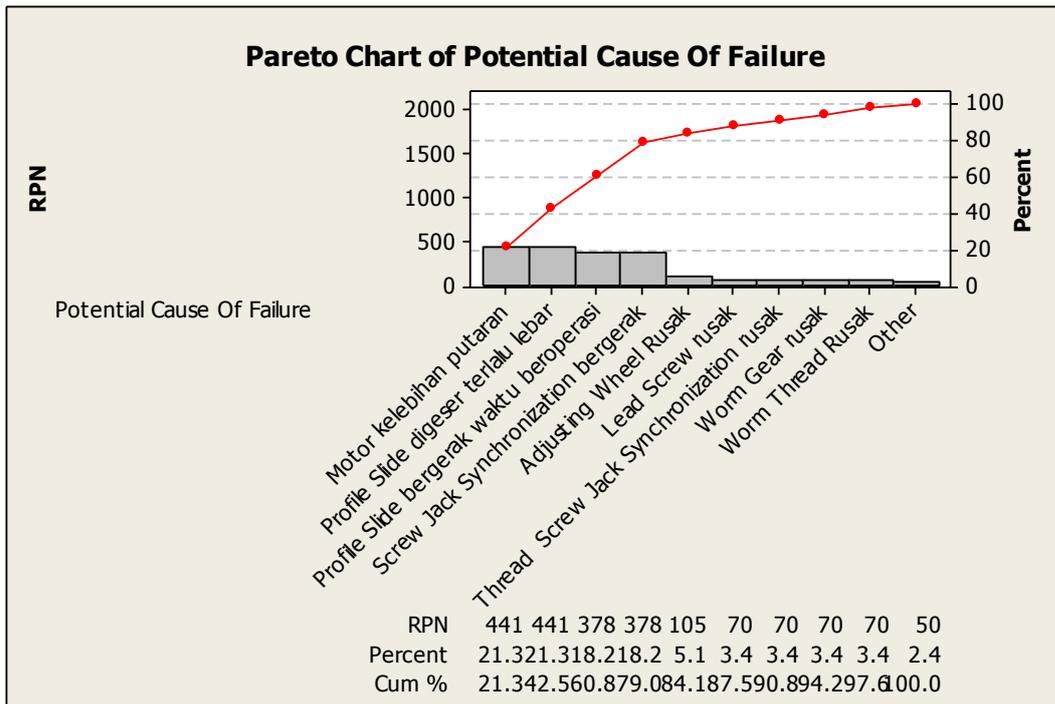
**Tabel 4. 20 Lembar Kerja FMEA Analisa Kegagalan Potensial Tube Extractor (Initial Analysis)**

Sub System Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential effects of Failure	Severity	Classification	Potential Cause of Failure	Current Design				RPN
							Controls Prevention	Occurrence	Control Detection	Detection	
Tube-Extractor Alignment system	Screw Jack Synchronization	Setingan terlalu tinggi atau terlalu rendah	Baffle plate nabrak dinding bagian atas atau bagian bawah Shell Casing.	7		Motor kelebihan putaran	Manual start/stop motor Synchronous	7	Tidak ada detection	9	441
						Screw Jack Synchronization bergerak waktu beroperasi	Tidak ada kontrol	6	Visual Check	9	378
						Profile Slide bergerak waktu beroperasi	Tidak ada kontrol	6	Visual Check	9	378
	Profile Slide	Setingan terlalu jauh kekanan atau kekiri	Baffle Plate bengkok Shell Tergores Tie Rod bengkok U Tube bengkok Tube Sheet Rusak			Profile Slide digeser terlalu lebar	Manual seting	7	Visual Check	9	441
						Thread Screw Jack Synchronization rusak	Memberi Pelumas	2	Visual Check	5	70
						Worm Gear rusak	Memberi pelumas/PM	2	Visual Check	5	70
						Worm Thread Rusak	Memberi pelumas/PM	2	Visual Check	5	70
						Lead Screw rusak	Memberi pelumas/PM	2	Visual Check	5	70
						Adjusting Wheel Rusak	Memberi Pelumas	3	Visual Check	5	105
	Baffle Sheet Trolley & Tube Sheet	Tidak kuat menahan beban	Tube bundle Rusak	5		Metal Crack	Stress analysis	2	Visual Check	5	50

Berdasarkan analisa awal, kegagalan potensial dari semi-automatic tube extractor dimulai dengan menghitung *Risk Priority Number* (RPN) seperti ditunjukkan pada tabel 4.5. Nilai-nilai tersebut diurutkan dari yang terbesar sampai yang terkecil kemudian dibuat diagram Pareto untuk menentukan sub-sub system yang mempunyai prioritas tinggi untuk dilakukan perbaikan. Diagram *Pareto Risk Priority Number* (RPN) ditunjukkan pada gambar 4.40.

**Tabel 4. 21 Nilai RPN Potential Cause Of Failure**

Potential Cause of Failure	RPN
Motor kelebihan putaran	441
Profile Slide digeser terlalu lebar	441
Screw Jack Synchronization bergerak waktu beroperasi	378
Profile Slide bergerak waktu beroperasi	378
Adjusting Wheel Rusak	105
Thread Screw Jack Synchronization rusak	70
Worm Gear rusak	70
Worm Thread Rusak	70
Lead Screw rusak	70
Metal Crack	50



**Gambar 4. 40 Diagram Pareto Penyebab Kegagalan Potensial**

Berdasarkan diagram Pareto penyebab kegagalan potensial maka didapatkan 4 sub system yang berpotensi menyebabkan 80% kerusakan *tube bundle heat exchanger* unit, yaitu:

1. *Motor screw jack synchronization* kelebihan/kekurangan putaran karena start/stop motor dilakukan secara manual sehingga berpotensi baffle plate menabrak dinding bagian atas atau dinding bagian bawah shell.
2. *Profile slide* digeser kekanan atau ke kiri terlalu melebar karena dilakukan secara manual sehingga berpotensi baffle plate menabrak dinding bagian kanan atau bagian kiri Shell.
3. *Profile slide* bergeser ketika tube extractor sedang beroperasi sehingga berpotensi baffle plate menabrak dinding bagian kanan atau bagian kiri Shell.
4. *Screw jack synchronization* bergeser ketika tube extractor sedang beroperasi sehingga berpotensi baffle plate menabrak dinding bagian atas atau bagian bawah Shell.

Sub system yang telah teridentifikasi untuk dilakukan perbaikan tersebut kemudian dimasukkan kedalam lembar kerja FMEA ditunjukkan pada Tabel 4.8 untuk di analisis dan diberikan rekomendasi untuk perbaikan sehingga dapat menurunkan “*Risk Priority Number*” (RPN) sampai 50% atau lebih dari RPN sebelumnya atau 20% dari maximum RPN yaitu =  $10 \times 10 \times 10 = 1000 \times 20\% = 200$  merupakan RPN yang bisa diterima.

**Tabel 4. 22 Lembar Kerja FMEA Analisa Kegagalan Potensial Tube Extractor (Complete Analysis)**

Sub System Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential effects of Failure	Severity	Classification	Potential Cause of Failure	Current Design				RPN	Recommended Action	Responsibility and Target Completion	Action Result					
							Controls Prevention	Occurrence	Control Detection	Detection				Action Taken Completion Date	Severity	Occurrence	Detection	RPN	
Tube-Extractor Alignment system	Screw Jack Synchronization	Setingan terlalu tinggi atau terlalu rendah	Baffle plate nabrak dinding bagian atas atau bagian bawah Shell Casing.	7		Motor kelebihan putaran	Manual start/stop motor Synchronus	7	Tidak ada detection	9	441	Pemasangan Limit Switch	Vendor Minggu pertama mei	Pemasangan Limit Switch 1 May 2017	7	1	9	63	
						Screw Jack Synchronization bergerak waktu beroperasi	Tidak ada kontrol	6	Visual Check	9	378	Pemasangan Lock Screw	Vendor Minggu pertama mei	Pemasangan Lock Screw 1 May 2017	7	1	9	63	
						Profile Slide bergerak waktu beroperasi	Tidak ada kontrol	6	Visual Check	9	378	Pemasangan Lock Screw	Vendor Minggu pertama mei	Pemasangan Lock Screw 1 May 2017	7	1	9	63	
	Profile Slide	Setingan terlalu jauh kekanan atau kekiri	Baffle Plate bengkok Shell Tergores Tie Rod bengkok U Tube bengkok Tube Sheet Rusak		5		Profile Slide digeser terlalu lebar	Manual seting	7	Visual Check	9	441	Pemasangan Stoper ukur	Vendor Minggu pertama mei	Pemasangan Stoper ukur 1 May 2017	7	1	9	63
							Thread Screw Jack Synchronization rusak	Memberi Pelumas	2	Visual Check	5	70							
							Worm Gear rusak	Memberi pelumas/PM	2	Visual Check	5	70							
							Worm Thread Rusak	Memberi pelumas/PM	2	Visual Check	5	70							
							Lead Screw rusak	Memberi pelumas/PM	2	Visual Check	5	70							
							Adjusting Wheel Rusak	Memberi Pelumas	3	Visual Check	5	105							
Baffle Sheet Trolley & Tube Sheet	Tidak kuat menahan beban	Tube bundle Rusak	5		Metal Crack	Stress analysis	2	Visual Check	5	50									

Tabel 4.15 pada kolom *recommended action* baris pertama menunjukkan bahwa team FMEA membuat rekomendasi untuk menambah elemen *limit switch* pada *screw jack synchronization motor* dengan tujuan membatasi pergerakan *screw jack synchronization* agar berada pada batasan ketinggian yang telah ditentukan dan apabila batas yang ditentukan tersentuh maka otomatis motor akan berhenti, sehingga pergerakan *screw jack* akan berhenti. Team engineering vendor yang sudah dinyatakan sebagai eksekutor proyek melakukan pemasangan peralatan saklar pembatas, stopper dan lock screw.

Rekomendasi pemasangan *limit switch* ini dapat menurunkan *Occurrence ranking* dan *Detection ranking* sementara *Severity ranking* tidak dapat diturunkan karena tingkat keparahan kerusakan akan tetap tinggi bila terjadi gesekan antara metal dengan metal. Dengan dapat diturunkannya *Occurrence ranking* maka dapat menurunkan RPN secara signifikan, seperti perhitungan berikut:

RPN hasil perhitungan awal penyebab potensial: *screw jack synchronization motor* kelebihan putaran adalah, ditunjukkan pada Tabel 4.15 baris ke 3 kolom 12:

$$7 \times 7 \times 9 = 441$$

RPN Setelah dilakukan perbaikan dengan pemasangan *limit switch* adalah:

$$= 7 \times 1 \times 9 = 63$$

Penurunan RPN perhitungan diatas menunjukkan bahwa nilai O turun signifikan. Hal ini dikarenakan dilakukan perbaikan pada unsur *preventive control* dengan menggunakan *limit switch*.

RPN perhitungan awal penyebab potensial: *Screw Jack Synchronization* bergerak waktu beroperasi ditunjukkan pada Tabel 4.15 baris ke 4 kolom 12 adalah sebagai berikut:

$$7 \times 6 \times 9 = 378$$

RPN setelah dilakukan perbaikan dengan pemasangan *lock screw* adalah:

$$7 \times 1 \times 9 = 63$$

Penurunan RPN perhitungan diatas menunjukkan bahwa nilai O turun signifikan. Hal ini dikarenakan dilakukan perbaikan pada unsur *preventive control*.

RPN perhitungan awal penyebab potensial: *Profile Slide* bergerak waktu beroperasi ditunjukkan pada Tabel 4.15 baris ke 5 kolom 12 adalah sebagai berikut:

$$7 \times 6 \times 9 = 378$$

RPN setelah dilakukan perbaikan dengan pemasangan *lock screw* adalah:

$$7 \times 1 \times 9 = 63$$

Penurunan RPN perhitungan diatas menunjukkan bahwa nilai O turun significant. Hal ini dikarenakan dilakukan perbaikan pada unsur *preventive control*.

RPN perhitungan awal penyebab potensial: *Profile Slide* digeser terlalu melebar ditunjukkan pada Tabel 4.15 baris ke 5 kolom 12 adalah sebagai berikut:

$$7 \times 7 \times 9 = 441$$

RPN setelah dilakukan perbaikan dengan pemasangan *stopper* ukur adalah:

$$7 \times 1 \times 9 = 63$$

Penurunan RPN perhitungan diatas menunjukkan bahwa nilai O turun significant. Hal ini dikarenakan dilakukan perbaikan pada unsur *preventive control*.

Berdasarkan hasil penelitian dan perbaikan yang sudah dilakukan maka peneliti merekomendasikan kepada PT XYZ Energy untuk mempergunakan tipe *semi-automatic tube-extractor* sebagai alat untuk proyek penggantian 6 buah Tube Bundle Heat Exchanger di FPSO XYZ Energy dengan lebih memperhatikan masalah kehandalan dari *Semi- automatics tube-extractor* karena sangat sensitif untuk berubah.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari implementasi Pendekatan AHP dan FMEA dalam strategi pemilihan tube bundle extractor dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Implementasi hirarki analitik proses dalam pemilihan *tube-extractor* untuk penggantian *tube bundle heat exchanger* membuktikan bahwa pendekatan yang digunakan dapat diterima secara rasional. *Semi-automatic tube-extractor* adalah prioritas pertama yang dipilih dengan nilai 53, 9% adalah jenis tube-extractor yang sesuai untuk digunakan pada lokasi. Artinya dari tiga alternatif yang telah ditetapkan yang seluruhnya kalau dijumlahkan sama dengan 100%
2. Biaya merupakan faktor yang paling berpengaruh dalam pemilihan *tube-extractor* dengan nilai 64, 3%. Hal itu bisa diterima secara rasional karena dalam bisnis, harga merupakan salah satu faktor penting yang selalu diperhatikan dalam pengambilan keputusan. Artinya dari empat kriteria yang telah ditetapkan yang seluruhnya kalau dijumlahkan sama dengan 100%, Kriteria biaya mendapatkan persentase yang paling tinggi untuk dipilih.
3. Tube Extractor terpilih sangat sensitif akan perubahan keandalan. Hal ini sangat beralasan dan dapat diterima secara rasional karena pada analisis kriteria keandalan menggunakan *software expert choice*, sub-kriteria hydraulic cylinder dan hydraulic winch yang merupakan bagian dari tipe hydraulic tube-extractor mendapat persentase yang paling tinggi yaitu 63,7% dari tiga sub-kriteria yang ditetapkan yang seluruhnya kalau dijumlahkan sama dengan 100%

## **5.2. Saran**

Saran untuk penelitian ini adalah perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk di lapangan dan lokasi yang berbeda. Selain itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait keandalan tube-extractor dengan tujuan supaya "*semi-automatic tube-extractor*" tidak sensitif akan perubahan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Braglia, M. (2000). MAFMA: multi attribute failure mode analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 17 No. 9, 2000, 1017-1033.
- Chrysler LLC, F. G. (2008). *FMEA Reference Manual*. ISBN: 978-1-606534-136-1.
- Ciptomulyono, U. (2001). Integrasi Metode Delphi Dan Prosedur Analisis Hierarkis (AHP) untuk Indetifikasi Dan Penetapan Prioritas objektif/Kriteria Keputusan. *Majalah IPTEK-Vol. 12, No1*.
- DPR-RI. (2001). UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 22 TAHUN 2001.
- G G, D., & A W, L. (2003). Learning from failures: design improvements using a multiple criteria decision-making process. *Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 217 Part G: J. Aerospace Engineering*, 207-215.
- Government. (2004). PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 35 TAHUN 2004 TENTANG KEGIATAN USAHA HULU MINYAK DAN GAS BUMI.
- Hu-Chen Liu Jian, Xin You Xue , & Feng DingnQiang SU. (2015). *Improving risk evaluation in FMEA with a hybrid multiplecriteria decision making method*. *International Journal of Quality & Reliability Management* Vol. 32 No. 7, 2015 .
- Kakac, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. (2012). *Heat Exchanger*. New York: Taylor & Francis Group.
- Mc Dermott, R. M. (2009). *The Basic Of FMEA*. . Taylor & Francis Group, LLC.
- Nguyen, D., Brammer, C., & Bagajewicz, M. (2008). New Tool for the Evaluation of the Scheduling of Preventive Maintenance for Chemical Process Plants. *Ind. Eng. Chem. Res*, Vol. 49, hal. 1910-1924.
- Patil, K. P., & Barve, S. S. (2013). Design and Optimization of Equipment for Insertion of Tube Bundle Heat Exchanger. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2019-2022.

- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1*, 86.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill.
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan. kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suryadi, K., & Ramdani, M. A. (1998). *Sistem Pendukung Keputusan*. . Bandung: Rosdakarya.
- Travis, B. J. (1974). *Patent No. 3,836,015*. US.
- Turban, & Efraim. (2005). *Decision Support System and Intelligent system*. . New Jersey: Pearson Education.
- XU, K., Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L., & ZHU, M. L. (2002). Fuzzy assessment of FMEA for engine systems. *Reliability Engineering & System Safety, Vol. 75, No. 1*, p. 17-29. DOI: 10.1016/S0951-8320(01)00101-6., 17-29.

## BIOGRAFI PENULIS



**Ade Setiadi** dilahirkan di Bandung pada tanggal 28 September 1966. Putra kedua dari pasangan Bapak A. Kaelani dan Ibu. Siti Sa'adah. Pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Industri, Sekolah Ahli Teknik Industri Bogor tahun 1986. Pada tahun 1989 penulis menyelesaikan pendidikan D3, dilanjutkan masuk dunia kerja pada perusahaan asing

dibidang pertambangan mineral dan batubara sebagai Electrician Supervisor. Pada tahun 1991 penulis pindah ke perusahaan minyak dan gas milik asing sebagai mechanical maintenance. Tahun 2000 perusahaan berpindah kepemilikan menjadi perusahaan minyak milik Inggris posisi penulis sebagai maintenance team leader. Pada Tahun 2008 perusahaan berpindah tangan menjadi perusahaan minyak milik negara dan posisi penulis sebagai senior maintenance Supervisor. Pada tahun 2009 penulis menempuh pendidikan di Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung dan mendapat gelar ST pada tahun 2013. Pada tahun 2015 penulis sembari bekerja juga melanjutkan pendidikan program S2 di Jurusan Magister Manajemen Teknologi, Pasca Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan bidang keahlian Manajemen Industri. Penulis menyelesaikan studi magisternya pada tahun 2017.

## Lampiran 1 Kuisiner

### Focus Group Discussion.

Akhli yang terhormat,

Bersama ini saya mengharapkan kesediaan waktu bapak /ibu melakukan focus group discussion untuk mengisi kuisiner sesuai dengan penilaian keakhlian anda. Pertanyaan yang ada di kuisiner ini bertujuan untuk melengkapi data penelitian dalam rangka penyusunan tesis dengan judul :  
***“Implementasi Pendekatan AHP dan FMEA untuk pemilihan Tube Bundle Extractor pada proyek penggantian tube bundle heat exchanger di FPSO Ratu Nusantara”.***  
Atas bantuan dan perhatiannya saya ucapkan terima kasih.

Identitas Ahli:

#### Ahli 1

Nama: MUHAMAD JAKARIA  
Jenis Kelamin :  a. Laki-laki      b. Perempuan  
Usia : 37 th  
Pendidikan terakhir S1  
Departement: OPERATION ( MAINTENANCE )  
Jabatan: MAINTENANCE SUPERINTENDENT  
Pengalaman kerja : 17 th      Tanda Tangan 

#### Akhli 2

Nama : *Admir*  
Jenis Kelamin :  a. Laki-laki      b. Perempuan  
Usia : 44  
Pendidikan terakhir:  
Departement: *operadion/projekt*  
Jabatan: *(olm)*  
Pengalaman kerja : 27th      Tanda Tangan 

#### Akhli 3

Nama : STEPHANUS WAN  
Jenis Kelamin :  a. Laki-laki      b. Perempuan  
Usia : 52 th  
Pendidikan terakhir: S1 / MASTER MARINER -  
Departement: OPERATION  
Jabatan: FPSO MASTER  
Pengalaman kerja :      Tanda Tangan 

III. Petunjuk Pengisian:

Berilah tanda ceklist ( $\checkmark$ ) pada kolom skala kriteria (A) atau pada kolom skala kriteria (B) yang sesuai dengan pendapat anda

Defenisi Kode:

1: kedua kriteria sama penting

3: kriteria (A) sedikit lebih penting dibanding dengan (B)

5: kriteria (A) lebih penting dibanding dengan (B)

7: kriteria (A) sangat lebih penting dibanding dengan (B)

9: kriteria (A) mutlak lebih penting dibanding dengan (B)

\*berlaku sebaliknya

Contoh:

Dalam mengambil keputusan untuk pemilihan Hand phone seberapa pentingkah pertimbangan:

No	Kriteria A																			Kriteria B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Harga			$\checkmark$															Atribut Produk	

Jika anda memberi tanda ( $\checkmark$ ) pada skala 7 dikolom A, maka artinya adalah kriteria A dalam contoh ini harga sangat lebih penting dibanding dengan kriteria B dalam contoh ini atribut produk. Akan tetapi jika anda merasa kriteria B sangat lebih penting dibanding dengan kriteria A (Harga) maka pengisian kolomnya adalah sebagai berikut:

No	Kriteria A																			Kriteria B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Harga																$\checkmark$		Atribut Produk	

2. Unsur dari Kriteria Harga

Dalam memutuskan untuk melakukan perpindahan merek *handphone* dari Nokia ke BlackBerry, harga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi konsumen. Kriteria harga itu antara lain:

Dari kriteria harga di bawah ini, manakah menurut anda yang lebih penting - harga yang tepat (harga tidak terlalu mahal atau terlalu murah), - harga bersaing (harga yang ditawarkan tidak jauh berbeda dibandingkan harga produk merek lainnya), - harga terjangkau (harga sesuai dengan daya beli konsumen), - kesesuaian harga dengan manfaat produk .

Daftar Pertanyaan:

Pertanyaan Kriteria Level 1.

Dalam memutuskan untuk melakukan Pemilihan tube bundle extractor khususnya yang akan dipergunakan dilokasi FPSO Ratu Nusantara, seberapa pentingkah anda mempertimbangkan kriteria di bawah ini:

Kriteria Pemilihan

No	Kriteria A																			Kriteria B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Penempatan												✓							Keandalan
2	Penempatan							✓												Jml Manpower
3	Penempatan																	✓		Biaya
4	Keandalan				✓															Jml Manpower
5	Keandalan													✓						Biaya
6	Jml Manpower																	✓		Biaya

Sub-Kriteria Penempatan

No	Kriteria A																			Kriteria B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Dimensi												✓							Radius Kerja Crane
2	Dimensi													✓						Beban Kerja Aman Crane
3	Dimensi							✓												Ketinggian Shell
4	Radius Kerja Crane							✓												Ketinggian Shell
	Radius Kerja Crane									✓										Beban Kerja Aman Crane
5	Beban Kerja Aman Crane				✓															Ketinggian Shell

2. Sub-Kriteria Keandalan

Dalam memutuskan untuk melakukan pemilihan tube bundle extractor, Keandalan tube bundle heat exchanger merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pengguna.

Sub-Kriteria Keandalan antara lain:

- Hydraulic cylinder & Hyd Winch.
- Geared Motor & Bevel Gear
- Lever Block.

Dari sub Kriteria Keandalan yang disebutkan diatas, seberapa pentingkah anda mempertimbangkan kriteria di bawah ini:

Sub-Kriteria Keandalan

No	Kriteria A																			Kriteria B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Lever Block																			Hydraulic Cyl & Hyd Winch
2	Lever Block																			Geared Motor & Bevel Gear
3	Hydraulic Cyl & Hyd Winch																			Geared Motor & Bevel Gear

Dalam memutuskan untuk melakukan pemilihan tube bundle extractor, Kriteria penempatan dan sub kriteria dimensi tube bundle extractor merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi. Seberapa pentingkah anda mempertimbangkan kriteria di bawah ini?

Kriteria Penempatan dan Sub- Kriteria Dimensi

No	Kriteria A																			Kriteria B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Conventional Tube-Extractor																			Semi-Automatic Tube-extractor
2	Conventional Tube-Extractor																			Hydraulics Tube-Extractor
3	Semi-Automatic Tube-extractor																			Hydraulics Tube-Extractor

Dalam memutuskan untuk melakukan pemilihan tube bundle extractor, Kriteria penempatan dan sub kriteria ketinggian shell tube heat exchanger merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi. seberapa pentingkah anda mempertimbangkan kriteria di bawah ini?

Kriteria Penempatan dan Sub Kriteria Ketinggian Shell

No	Kriteria A																			Kriteria B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Conventional Tube-Extractor																			Semi-Automatic Tube-extractor
2	Conventional Tube-Extractor																			Hydraulics Tube-Extractor
3	Semi-Automatic Tube-extractor																			Hydraulics Tube-Extractor

Dalam memutuskan untuk melakukan pemilihan tube bundle extractor, Kriteria penempatan dan Radius Kerja Crane merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi. seberapa pentingkah anda mempertimbangkan kriteria di bawah ini?

Kriteria Penempatan dan Sub Kriteria Radius Kerja Crane

No	Kriteria A																		Kriteria B	
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Conventional Tube-Extractor										✓									Semi-Automatic Tube-extractor
2	Conventional Tube-Extractor										✓									Hydraulics Tube-Extractor
3	Semi-Automatic Tube-extractor										✓									Hydraulics Tube-Extractor

Dalam memutuskan untuk melakukan pemilihan tube bundle extractor, Kriteria penempatan dan Beban Kerja Aman Crane merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi. seberapa pentingkah anda mempertimbangkan kriteria di bawah ini?

Kriteria Penempatan dan Sub Kriteria Beban Kerja Aman Crane

No	Kriteria A																		Kriteria B	
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Conventional Tube-Extractor										✓									Semi-Automatic Tube-extractor
2	Conventional Tube-Extractor										✓									Hydraulics Tube-Extractor
3	Semi-Automatic Tube-extractor										✓									Hydraulics Tube-Extractor

Dalam memutuskan untuk melakukan pemilihan tube bundle extractor, Kriteria Keandalan dan Sub Kriteria Lever Block merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi. seberapa pentingkah anda mempertimbangkan kriteria di bawah ini?

Kriteria Keandalan dan Sub Kriteria Lever Block

No	Kriteria A																		Kriteria B	
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Conventional Tube-Extractor													✓						Semi-Automatic Tube-extractor
2	Conventional Tube-Extractor																	✓		Hydraulics Tube-Extractor
3	Semi-Automatic Tube-extractor										✓									Hydraulics Tube-Extractor

Dalam memutuskan untuk melakukan pemilihan tube bundle extractor, Kriteria Keandalan dan Sub Kriteria Hydraulic Cylinder & Hyd Winch merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi. seberapa pentingkah anda mempertimbangkan kriteria di bawah ini?

Kriteria Keandalan dan Sub Kriteria Hydraulic Cylinder & Hyd Winch

No	Kriteria A																			Kriteria B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Conventional Tube-Extractor												✓							Semi-Automatic Tube-extractor
2	Conventional Tube-Extractor													✓						Hydraulics Tube-Extractor
3	Semi-Automatic Tube-extractor									✓										Hydraulics Tube-Extractor

Dalam memutuskan untuk melakukan pemilihan tube bundle extractor, Kriteria Keandalan dan Sub Kriteria Motor & Bevel Gear merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi. seberapa pentingkah anda mempertimbangkan kriteria di bawah ini?

Kriteria Keandalan dan Sub Kriteria Geared Motor & Bevel Gear.

No	Kriteria A																			Kriteria B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Conventional Tube-Extractor													✓						Semi-Automatic Tube-extractor
2	Conventional Tube-Extractor															✓				Hydraulics Tube-Extractor
3	Semi-Automatic Tube-extractor									✓										Hydraulics Tube-Extractor

Dalam memutuskan untuk melakukan pemilihan tube bundle extractor, Kriteria Jumlah Tenaga Kerja merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pengguna. seberapa pentingkah anda mempertimbangkan kriteria di bawah ini?

Kriteria Jumlah Tenaga Kerja

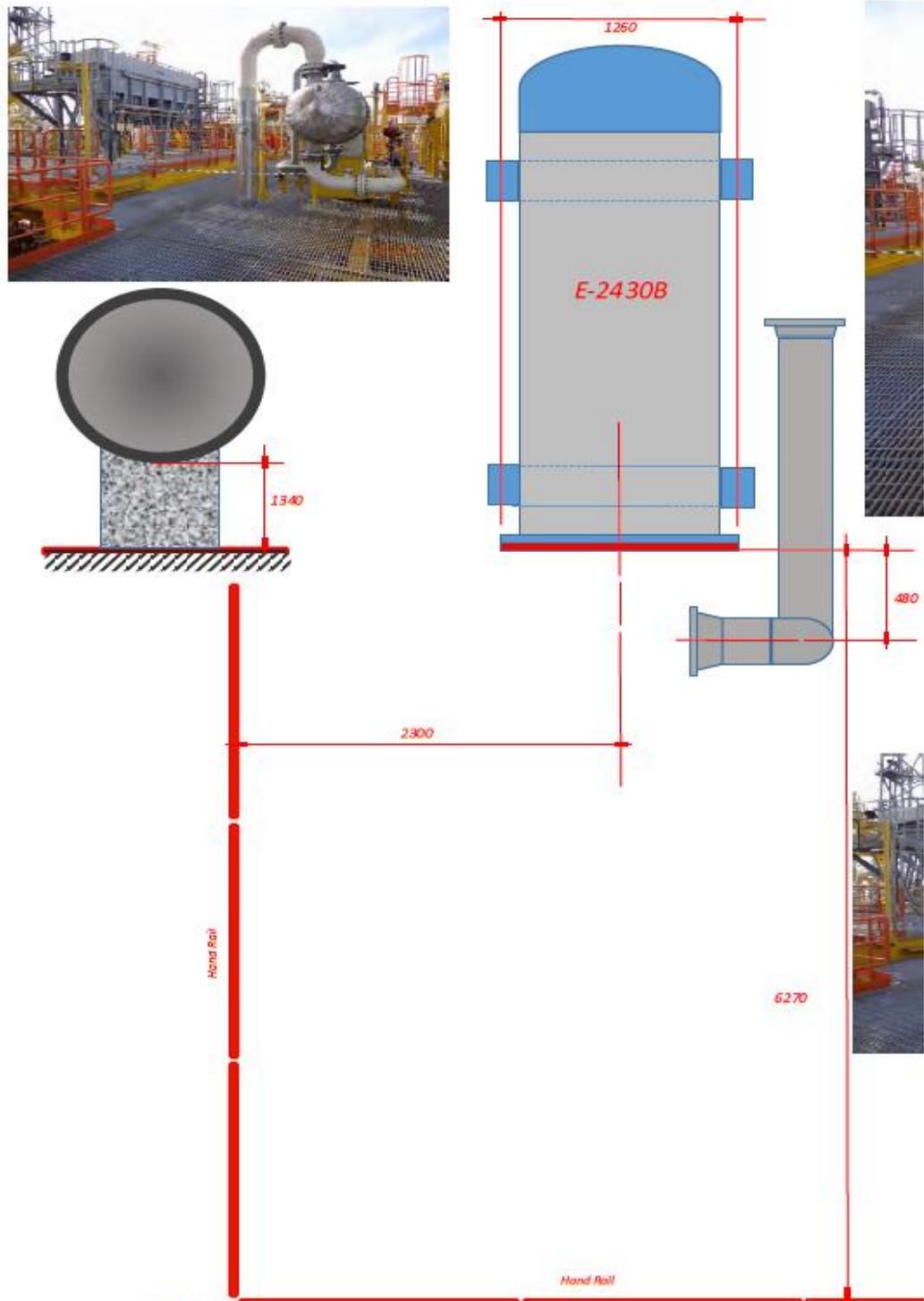
No	Kriteria A																			Kriteria B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Conventional Tube-Extractor													✓						Semi-Automatic Tube-extractor
2	Conventional Tube-Extractor											✓								Hydraulics Tube-Extractor
3	Semi-Automatic Tube-extractor								✓											Hydraulics Tube-Extractor

Dalam memutuskan untuk melakukan pemilihan tube bundle extractor, Kriteria Biaya merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pengguna. seberapa pentingkah anda mempertimbangkan kriteria di bawah ini?

Kriteria Biaya

No	Kriteria A																			Kriteria B
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	Conventional Tube-Extractor												✓							Semi-Automatic Tube-extractor
2	Conventional Tube-Extractor											✓								Hydraulics Tube-Extractor
3	Semi-Automatic Tube-extractor							✓												Hydraulics Tube-Extractor

## Lampiran 2 Lay out Area Penggantian Tube bundle



### Lampiran 3 Spesifikasi Teknik Semi-Automatic tube-Extractor

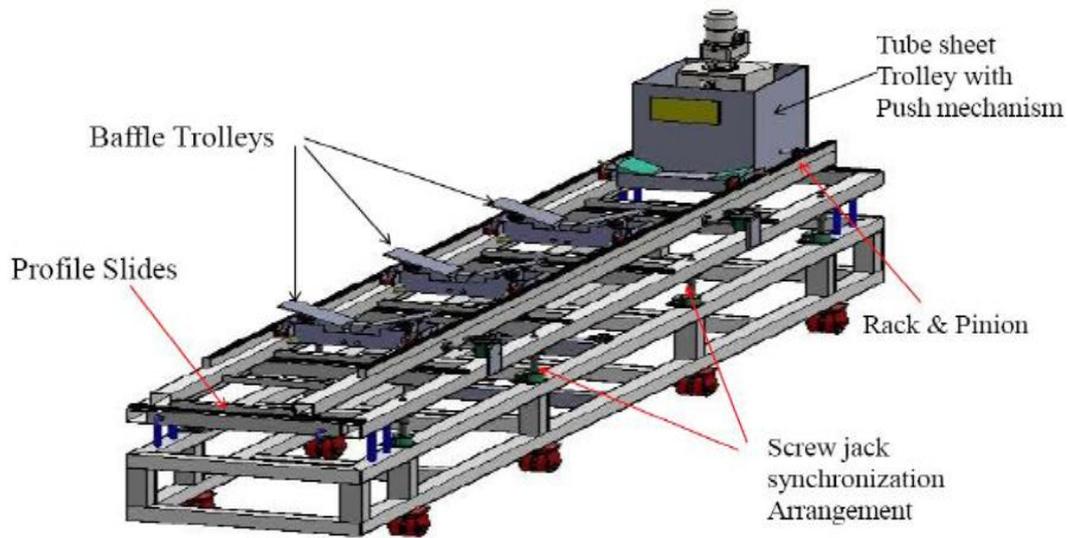


Fig.2- CAD model of tube bundle equipment

The technical specifications of equipment are as below

Heat exchanger type = screw plug

Tube bundle diameter= 1500 mm

Max Length of tube bundle = 7500 mm

Max Weight of tube bundle = 25000 Kg

Working range of bundle diameters = 1000 to 1500 mm

Feed velocity for insertion = 1500 mm/min

## Lampiran 4 Spesifikasi Teknik Hydraulic Tube-Extractor



### TECHNICAL SPECIFICATIONS

#### EXTRACTOR

<b>Length</b>	<b>7000 mm</b>
<b>(with back adjustment)</b>	<b>7400 mm</b>
<b>(with front extensions)</b>	<b>8000 mm</b>
<b>(with back adjustment and front extensions)</b>	<b>8400 mm</b>
<b>Weight of balance arch</b>	<b>700 Kg</b>
<b>Width of main frame</b>	<b>790 mm</b>
<b>Weight of machine without arch</b>	<b>1200 Kg</b>
<b>with arch</b>	<b>1900 kg</b>
<b>Air Cooled Diesel Engine</b>	
<b>Winch Pulling Force</b>	<b>15000 kg</b>

#### BUNDLE

<b>Weight (maximum)</b>	<b>15000 Kg</b>
<b>Diameter (maximum)</b>	<b>1000 mm</b>
<b>Length (maximum)</b>	<b>6000 mm</b>

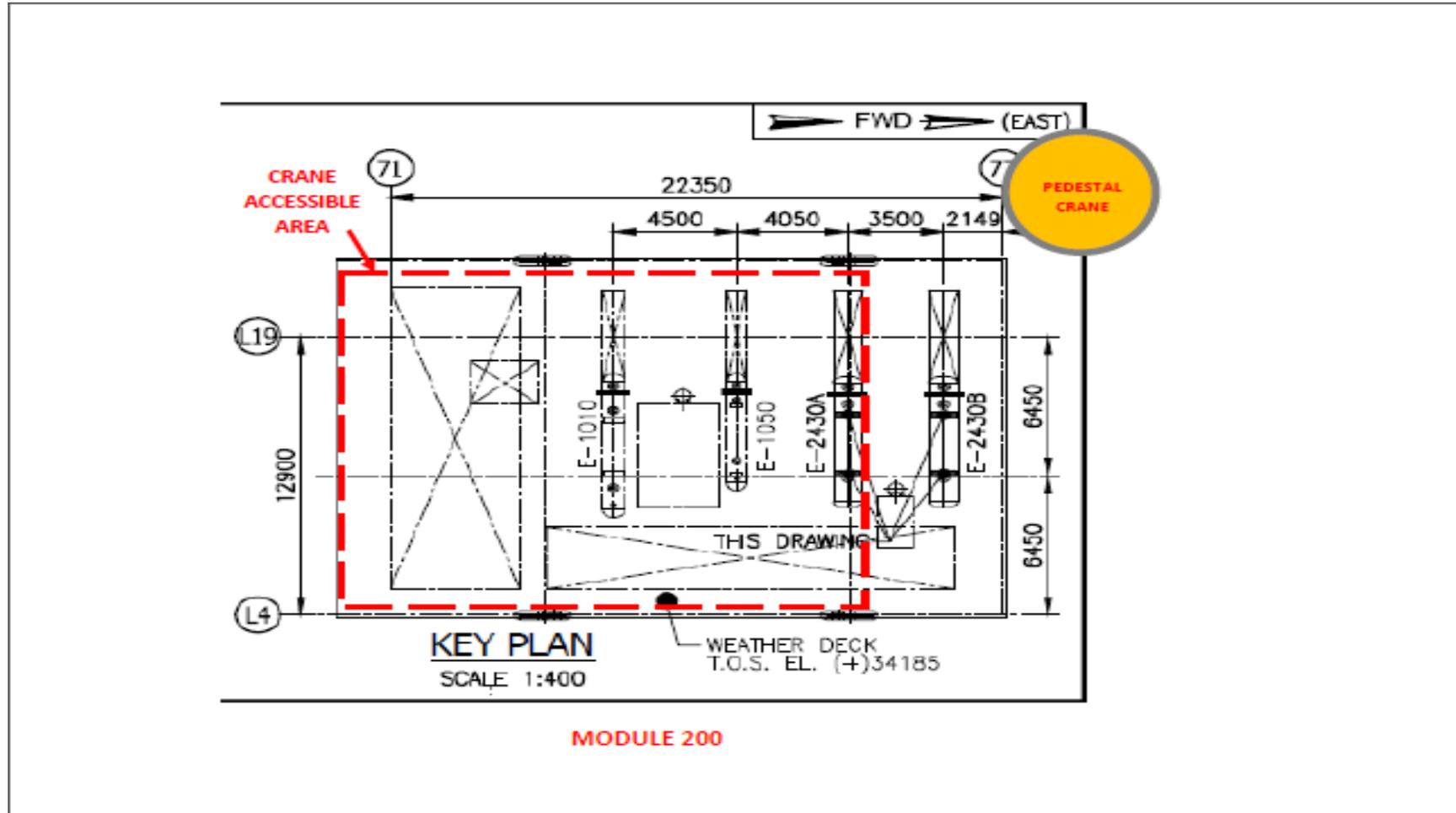
## Lampiran 5 Data Harga Sewa Alat Dan Ongkos Kerja

	<b>SERVICE ORDER</b>	Doc No.	MKS-CAP-PRO-401-001-F0003	
		Rev No.	00	
		Issued		
		Page	1 of 1	
<b>To:</b> PT. CORPEC INSPEKSI UTAMA Jl. Penjernihan Dalam No.46 Pejompongan, Jakarta Pusat DKI Jakarta 10210 - Indonesia				
<b>Consignee</b> PT M3 KETAPANG SEJAHTERA <b>Address :</b> Menara Thamrin 21st Floor, Suite 2101 Jl. MH. Thamrin Kav.3 Jakarta 10250 Indonesia		<b>Marking of Goods:</b> For FPSO Ratu Nusantara  <b>SO No.:</b> MKS-16/204 R1 <b>Ordered By:</b> Muhamad Jakaria <b>WSR No.:</b> WSR-RTN-MTN-16-035		
<b>Buyer :</b> Sutopo <b>E-Mail :</b> <a href="mailto:sutopo@m3energy.com.my">sutopo@m3energy.com.my</a>		<b>Project:</b> FPSO RTN <b>SA No.:</b> AS-16-204 <b>OAF:</b> OAF-16/023		
<b>Service Schedule :</b> Immediate <b>Shipping instructions:</b>		<b>Terms of Payment:</b> Net 30 Days upon job completed and receive of invoice.		
Item	Description	Qty	Unit Price IDR	Amount IDR
	<b>Removal of E-2480B Tube Bundle from Shell Casing and Tube Leak Identification on Train-B Gas Coolers.</b>			
	<b>Scope of Work :</b> - To carry-out removal/extraction of E-2480B (2nd Stage Gas Cooler B) from shell casing using tube bundle puller. - To remove/cut a portion of the tube for sampling and testing purposes. - To reinstate the tube bundle of E-2480B (2nd Stage Gas Cooler B) unto the shell casing using tube bundle puller. - To identify tube leaks on Train-B Gas Coolers using the industry approved method of tube leak identification and procedure.			
1	Removal Tube Bundle, include :			
1.1	Tube Bundle Extractor (1ea)	21 Days	12,500,000.00	
1.2	Chain Hoist ( 3ea )	21 Days	1,000,000.00	
1.3	Generator for Power Supply ( 1ea )	21 Days	2,500,000.00	
1.4	Manpower Rate			
a)	Tube Bundle Extractor Specialist ( 1 pax )	21 Days	4,000,000.00	
	- OT Rate (IDR500,000.00/hour)			
	- Standby Rate (IDR3,000,000.00/day)			
b)	Technician ( 2pax )	21 Days	3,000,000.00	
	- OT Rate (IDR375,000.00/hour)			
	- Standby Rate (IDR2,500,000.00/day)			
2	Cleaning Inside Tube			
2.1	Tube Cleaning Pump, Equipment, Tools & Accessories for Tube Cleaning.	21 Days	9,500,000.00	
2.2	Conco Brushes	25 pcs	750,000.00	
2.2	Manpower Rate			
a)	Supervisor ( 1pax )	21 Days	3,700,000.00	
	- OT Rate (IDR500,000.00/hour)			
	- Standby Rate (IDR3,000,000.00/day)			
3	Vacuum Tube Testing			
3.1	Vacuum Tube Equipment & Accessories	21 Days	2,900,000.00	
3.2	Manpower Rate			
a)	Technician ( 1pax )	21 Days	3,000,000.00	
	- OT Rate (IDR375,000.00/hour)			
	- Standby Rate (IDR2,500,000.00/day)			
4	Mobilization / Demobilization.			
4.1	Manpower	5 Pax	3,000,000.00	
4.2	Tube Bundle Extractor & Accessories	1 Lot	30,000,000.00	
5	Medical Checkup T-BOSIET	5 Pax	3,000,000.00	
		5 Pax	15,000,000.00	
6	Reporting	1 Lot	30,000,000.00	
	<b>Note :</b> Total price are provisional only and to be invoice with actual timesheet and complete with supporting documents signed by FSO Master and/or engineer in charge.			
	<b>Sub Total</b> Value Added Tax (VAT) - 10%			
<b>TOTAL IDR : ONE BILLION TWO HUNDRED NINETY MILLION ONE HUNDRED THIRTY FIVE THOUSAND AND CENTS ZERO ONLY.</b>				
Please confirm by signing below and initial on attachments (if any), and return the duly signed copies within 3 days of receipt.				
for PT. M3 Ketapang Sejahtera  Madzri Abd. Rahman President Director		Vendor Confirmation  8724CADF012649761 6000 ENAM RIBU RUPIAH C Panice A		

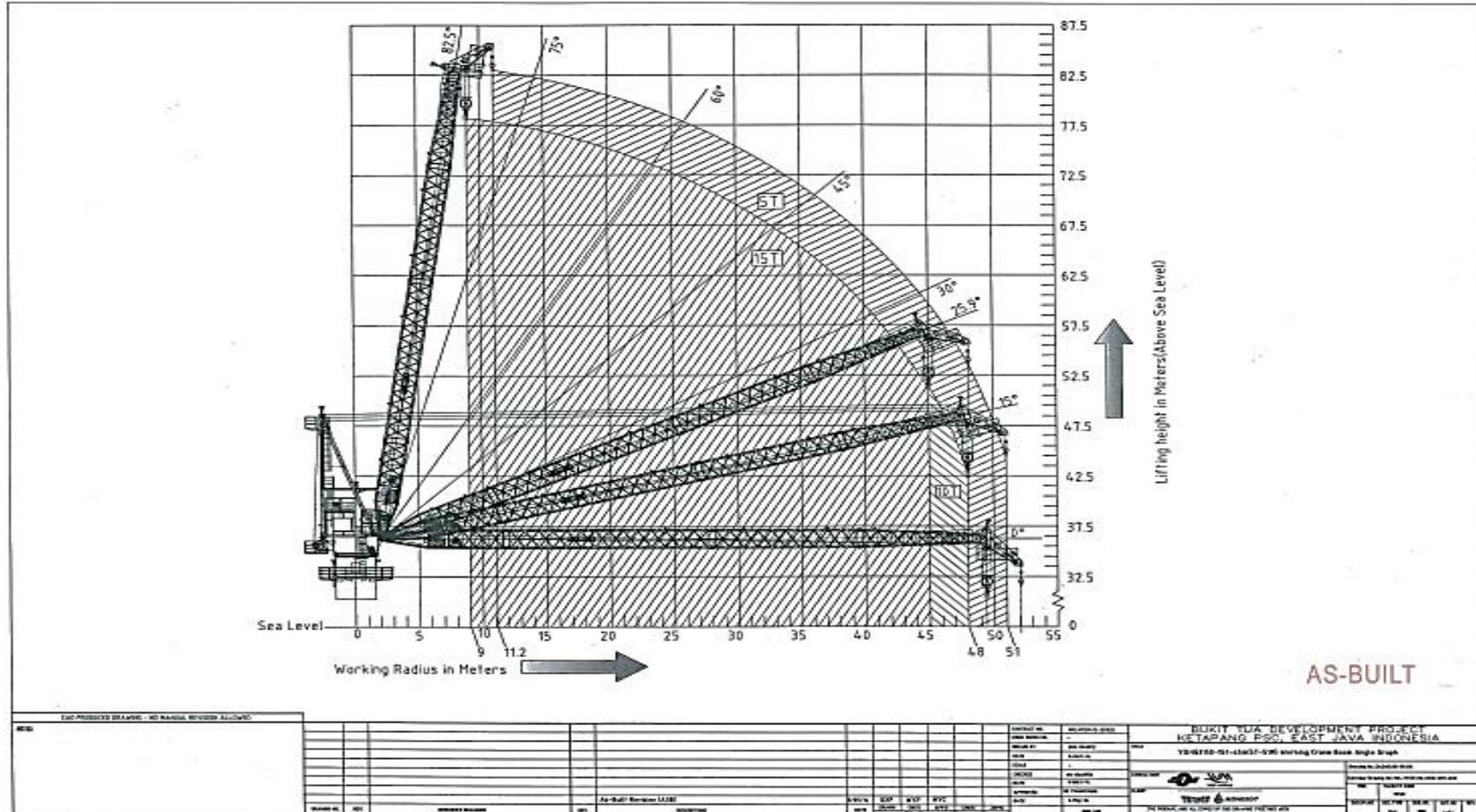
## Lampiran 6 Hydraulics Tube Extractor Rental



### Lampiran 7 Area Jangkauan Crane



### Lampiran 8 Sudut Kerja dan Beban Kerja Aman



### Lampiran 9 Perhitungan AHP Dengan Excel

MATRIKS PERBANDINGAN BERPASANGAN KRITERIA				
Kriteria	Penempatan	Keandalan	Jumlah T Kerja	Biaya
Penempatan	1.000000	0.333333	3.000000	0.142857
Keandalan	3.000000	1.000000	5.000000	0.200000
Jumlah T Kerja	0.333333	0.200000	1.000000	0.142857
Biaya	7.000000	5.000000	7.000000	1.000000
Total	11.333333	6.533333	16.000000	1.485714

#### Normalisasi Matrik

	Penempatan	Keandalan	Jumlah TK	Biaya	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Penempatan	0.088235	0.051020	0.187500	0.096154	0.422910	0.105727	3
Keandalan	0.264706	0.153061	0.312500	0.134615	0.864882	0.216221	2
Jumlah TK	0.029412	0.030612	0.062500	0.096154	0.218678	0.054669	4
Biaya	0.617647	0.765306	0.437500	0.673077	2.493530	0.623383	1
Total	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	4.000000		

Kriteria yang paling berpengaruh adalah Kriteria Biaya = 62.3%

Uji Konsistensi							
Matriks A					Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
Kriteria	Penempatan	Keandalan	Jumlah T Kerja	Biaya			$\lambda$
Penempatan	1.000000	0.333333	3.000000	0.142857	0.105727	0.430864	4.075235
Keandalan	3.000000	1.000000	5.000000	0.200000	0.216221	0.931427	4.307760
Jumlah T Kerja	0.333333	0.200000	1.000000	0.142857	0.054669	0.222211	4.064622
Biaya	7.000000	5.000000	7.000000	1.000000	0.623383	2.827264	4.535359
Total							16.982976

$$\lambda_{\max} = 4.245744$$

$$CI = \frac{4.245744 - 4}{4 - 1} = 0.8194$$

$$CR = \frac{0.8194}{0.9} = 0.09 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Matriks Perbandingan Berpasangan Sub-Kriteria Penempatan				
Kriteria	Dimensi	Radius Kerja Crane	Beban Kerja Aman	Ketinggian Shell
Dimensi	1.000000	0.333333	0.200000	3.000000
Radius Kerja Crane	3.000000	1.000000	1.000000	3.000000
Beban Kerja Aman	5.000000	1.000000	1.000000	5.000000
Ketinggian Shell	0.333333	0.333333	0.200000	1.000000
Total	9.330000	2.666667	2.400000	12.000000

#### Normalisasi Matrik

	Dimensi	Radius Kerja Crane	Radius Kerja Crane	Ketinggian Shell	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Dimensi	0.107181	0.125000	0.083333	0.250000	0.565514	0.141379	3
Radius Kerja Crane	0.321543	0.375000	0.416667	0.250000	1.363210	0.340803	2
Beban Kerja Aman	0.535906	0.375000	0.416667	0.416667	1.744239	0.436060	1
Ketinggian Shell	0.035727	0.125000	0.083333	0.083333	0.327394	0.081848	4
Total	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000			

Kriteria yang paling berpengaruh adalah Sub-Kriteria Penempatan = 43.6%

Uji Konsistensi							
Matriks A					Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
Kriteria	Penempatan	Keandalan	Jumlah T Kerja	Biaya			$\lambda$
Penempatan	1.000000	0.333333	0.200000	3.000000	0.141379	0.587736	4.157181
Keandalan	3.000000	1.000000	1.000000	3.000000	0.340803	1.446543	4.244520
Jumlah T Kerja	5.000000	1.000000	1.000000	5.000000	0.436060	1.892997	4.341142
Biaya	0.333333	0.333333	0.200000	1.000000	0.081848	0.329787	4.029245
Total							16.77208

$$\lambda_{\max} = 4.193022$$

$$CI = \frac{4.193022 - 4}{4 - 1} = 0.06434$$

$$CR = \frac{0.06434}{0.9} = 0.07 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Matriks Perbandingan Berpasangan Sub-Kriteria Keandalan			
Kriteria	Lever Block	Hyd.Cylinder & Hyd Winch	Geared Motor & Bevel Gear
Lever Block	1.000000	0.200000	0.333333
Hyd.Cylinder & Hyd Winch	5.000000	1.000000	3.000000
Geared Motor & Bevel Gear	3.000000	0.330000	1.000000
Total	9.000000	1.530000	4.333333

Normalisasi Matrik

	Lever Block	Hyd.Cylinder & Hyd Winch	Geared Motor & Bevel Gear	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Lever Block	0.111111	0.130000	0.077000	0.318000	0.106000	4
Hyd.Cylinder & Hyd Winch	0.556000	0.652000	0.692000	1.900000	0.633000	1
Geared Motor & Bevel Gear	0.333000	0.217000	0.231000	0.781000	0.260000	2
Total	1.000000	1.000000	1.000000	3.000000	1.000000	3

Kriteria yang paling berpengaruh adalah Kriteria Keandalan = 63.3%

Uji Konsistensi						
Matriks A				Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
Sub Kriteria	Lever Block	Hyd.Cylinder & Hyd Winch	Geared Motor & Bevel Gear			$\lambda$
Lever Block	1.000000	0.200000	0.333333	0.106000	0.320000	3.011000
Hyd.Cylinder & Hyd Winch	5.000000	1.000000	3.000000	0.633000	1.946000	3.072000
Geared Motor & Bevel Gear	3.000000	0.330000	1.000000	0.260000	0.790000	3.033000
Lever Block	1.000000	0.200000	0.333333	0.106000	0.320000	9.116000
Total	5.000000	1.000000	3.000000			3.011000

$$\lambda_{\max} = 3.038667$$

$$CI = \frac{3.038667 - 3}{3 - 1} = 0.0193335$$

$$CR = \frac{0.0193335}{0.58} = 0.033 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Matriks Perbandingan Berpasangan Alternatif Kriteria Penempatan Sub - Kriteria Dimensi			
Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor
Conventional	1.000000	0.330000	0.500000
Semi-Automatic	3.000000	1.000000	2.000000
H Extractor	2.000000	0.500000	1.000000
Total	6.000000	1.830000	3.500000

#### Normalisasi Matrik

	Conventio nal	Semi- Automatic	H Extractor	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Conventional	0.167000	0.182000	0.143000	0.491000	0.164000	4
Semi-Automatic	0.500000	0.545000	0.571000	1.617000	0.539000	1
H Extractor	0.333000	0.273000	0.286000	0.892000	0.297000	2
Total	1.000000	1.000000	1.000000	3.000000	1.000000	3

Kriteria yang paling berpengaruh pada kriteria penempatan dan sub-kriteria dimensi = 53.9 %

Uji Konsistensi						
Matriks A				Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
Sub Kriteria	Conventional	Semi- Automatic	H Extractor			$\lambda$
Conventional	1.000000	0.330000	0.500000	0.164000	0.492000	3.004000
Semi- Automatic	3.000000	1.000000	2.000000	0.539000	1.625000	3.015000
H Extractor	2.000000	0.500000	1.000000	0.297000	0.894000	3.008000
Total						9.027000

$$\lambda_{\max} = 3.009$$

$$CI = \frac{3.009 - 3}{3 - 1} = 0.009$$

$$CR = \frac{0.0045}{0.58} = 0.0077 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Matriks Perbandingan Berpasangan Alternatif Kriteria Penempatan Sub - Kriteria Tinggi			
Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor
Conventional	1.000000	0.200000	0.333333
Semi-Automatic	5.000000	1.000000	3.000000
H Extractor	3.000000	0.333333	1.000000
Total	9.000000	1.533333	4.333333

Normalisasi Matrik

	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Conventional	0.111111	0.130435	0.076923	0.318469	0.106156	3
Semi-Automatic	0.555556	0.652174	0.692308	1.900037	0.633346	1
H Extractor	0.333333	0.217391	0.230769	0.781494	0.260498	2
Total	1.000000	1.000000	1.000000	3.000000	1.000000	4

Kriteria yang paling berpengaruh pada kriteria penempatan dan sub-kriteria tinggi Shell= 63.3 %

Uji Konsistensi						
Matriks A				Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
Sub Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor			$\lambda$
Lever Block	1.000000	0.200000	0.333333	0.106156	0.319658	3.011202
Hyd.Cylinder & Hyd Winch	5.000000	1.000000	3.000000	0.633346	1.945621	3.071973
Geared Motor & Bevel Gear	3.000000	0.333333	1.000000	0.260498	0.790082	3.032969
Total						9.116144

$$\lambda_{\max} = 3.038715$$

$$CI = \frac{3.009 - 3}{3 - 1} = 0.01935$$

$$CR = \frac{0.01935}{0.58} = 0.033 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Matriks Perbandingan Berpasangan Alternatif Kriteria Penempatan Sub – Kriteria Radius Kerja Crane			
Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor
Conventional	1.000000	1.000000	1.000000
Semi-Automatic	1.000000	1.000000	1.000000
H Extractor	1.000000	1.000000	1.000000
Total	3.000000	3.000000	3.000000

Normalisasi Matrik

	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Conventional	0.333333	0.333333	0.333333	1.000000	0.333333	1
Semi-Automatic	0.333333	0.333333	0.333333	1.000000	0.333333	1
H Extractor	0.333333	0.333333	0.333333	1.000000	0.333333	1
Total	1.000000	1.000000	1.000000	3.000000	1.000000	

Semua berpengaruh pada kriteria penempatan dan sub-kriteria radius kerja Crane = 33.33 %

Uji Konsistensi						
Matriks A				Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
Sub Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor			$\lambda$
Lever Block	1	1	1	0.333333 3	1	3
Hyd.Cylinder & Hyd Winch	1	1	1	0.333333 3	1	3
Geared Motor & Bevel Gear	1	1	1	0.333333 3	1	3
Total						9.00000

$$\lambda_{\max} = 3.00$$

$$CI = \frac{0}{3-1} = 0.0$$

$$CR = \frac{0.0}{0.58} = 0.0 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Matriks Perbandingan Berpasangan Alternatif Kriteria Penempatan Sub - Kriteria Beban Kerja Aman			
Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor
Conventional	1.000000	1.000000	1.000000
Semi-Automatic	1.000000	1.000000	1.000000
H Extractor	1.000000	1.000000	1.000000
Total	3.000000	3.000000	3.000000

Normalisasi Matrik

	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Conventional	0.333333	0.333333	0.333333	1.000000	0.333333	1
Semi-Automatic	0.333333	0.333333	0.333333	1.000000	0.333333	1
H Extractor	0.333333	0.333333	0.333333	1.000000	0.333333	1
Total	1.000000	1.000000	1.000000	3.000000	1.000000	

Semua Sub Kriteria sama pentingnya = 33.33 %

Uji Konsistensi						
Matriks A				Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
Sub Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor			$\lambda$
Lever Block	1	1	1	0.333333 3	1	3
Hyd.Cylinder & Hyd Winch	1	1	1	0.333333 3	1	3
Geared Motor & Bevel Gear	1	1	1	0.333333 3	1	3
Total						9.00000

$$\lambda_{\max} = 3.00$$

$$CI = \frac{0}{3-1} = 0.0$$

$$CR = \frac{0.0}{0.58} = 0.0 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Matriks Perbandingan Berpasangan Alternatif Kriteria Keandalan Sub - Kriteria Lever Block			
Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor
Conventional	1	0.2	0.1428571
Semi-Automatic	5	1	1
H Extractor	7	1	1
Total	13	2.2	2.1428571

Normalisasi Matrik

	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Conventional	0.07692308	0.0909091	0.0666667	0.2344988	0.078166278	3
Semi-Automatic	0.38461538	0.4545455	0.4666667	1.3058275	0.435275835	2
H Extractor	0.53846154	0.4545455	0.4666667	1.4596737	0.486557887	1
Total	1	1	1	3	1	

Kriteria yang paling berpengaruh adalah Hydraulic Extractor = 48.65%

Uji Konsistensi						
Matriks A				Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
Sub Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor			$\lambda$
Lever Block	1	0.2	0.14285	0.07816	0.2347297	3.002953
Hyd.Cylinder & Hyd Winch	5	1	1	0.43527	1.3126651	3.015708
Geared Motor & Bevel Gear	7	1	1	0.48655	1.4689976	3.019163
Total						9.037825

$$\lambda_{\max} = 3.0126$$

$$CI = \frac{3.0126 - 3}{3 - 1} = 0.0063$$

$$CR = \frac{0.0063}{0.58} = 0.01 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Matriks Perbandingan Berpasangan Alternatif Kriteria Keandalan Sub - Kriteria Hyd Cylinder & Hyd Winch			
Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor
Conventional	1	0.3333333	0.2
Semi-Automatic	3	1	1
H Extractor	5	1	1
Total	9	2.3333333	2.2

Normalisasi Matrik

	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Conventional	0.11111111	0.1428571	0.0909091	0.3448773	0.114959115	1
Semi-Automatic	0.33333333	0.4285714	0.4545455	1.2164502	0.405483405	2
H Extractor	0.55555556	0.4285714	0.4545455	1.4386724	0.47955748	1
Total	1	1	1	3	1	

Semua Sub Kriteria sama pentingnya = 33.33 %

Uji Konsistensi						
Matriks A				Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
Sub Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor			$\lambda$
Lever Block	1	0.3333333	0.2	0.114959	0.34603174	3.010041
Hyd.Cylinder & Hyd Winch	3	1	1	0.405483	1.22991823	3.033214
Geared Motor & Bevel Gear	5	1	1	0.479557	1.45983646	3.044132
Total	1	0.3333333	0.2	0.114959	0.34603174	9.087388

$$\lambda_{\max} = 3.0129$$

$$CI = \frac{3.0129 - 3}{3 - 1} = 0.00645$$

$$CR = \frac{0.00645}{0.58} = 0.01 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Matriks Perbandingan Berpasangan Alternatif Kriteria Keandalan Sub - Kriteria Geared Motor & Bevel Gear			
Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor
Conventional	1	0.2	0.1428571
Semi-Automatic	5	1	1
H Extractor	7	1	1
Total	13	2.2	2.1428571

Normalisasi Matrik

	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Conventional	0.07692308	0.0909091	0.0666666	0.2344988	0.078166278	0.076923
Semi-Automatic	0.38461538	0.4545455	0.4666666	1.3058275	0.435275835	0.384615
H Extractor	0.53846154	0.4545455	0.4666666	1.4596737	0.486557887	0.538461
Total	1	1	1	3	1	1

Semua Sub Kriteria sama pentingnya = 33.33 %

Uji Konsistensi						
Matriks A				Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
Sub Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor			$\lambda$
Lever Block	1	0.2	0.142857	0.078166	0.23472971	3.002953
Hyd.Cylinder & Hyd Winch	5	1	1	0.435275	1.31266511	3.015708
Geared Motor & Bevel Gear	7	1	1	0.486557	1.46899766	3.019163
Total						9.037825

$$\lambda_{\max} = 3.0126$$

$$CI = \frac{3.0126 - 3}{3 - 1} = 0.0063$$

$$CR = \frac{0.00645}{0.58} = 0.01 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Matriks Perbandingan Berpasangan Alternatif Kriteria Jumlah Tenaga Kerja			
Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor
Conventional	1	0.2	0.3333333
Semi-Automatic	5	1	3
H Extractor	3	0.3333333	1
Total	9	1.5333333	4.3333333

Normalisasi Matrik

	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Conventional	0.11111111	0.1304348	0.076923	0.318469	0.106156324	0.111111
Semi-Automatic	0.55555556	0.6521739	0.692307	1.9000372	0.63334572	0.555555
H Extractor	0.33333333	0.2173913	0.230769	0.7814939	0.260497956	0.333333
Total	0.11111111	0.1304348	0.076923	0.318469	0.106156324	0.111111

Semua Sub Kriteria sama pentingnya = 33.33 %

Uji Konsistensi						
Matriks A				Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
Sub Kriteria	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor			$\lambda$
Lever Block	1	0.2	0.333333	0.106156	0.31965812	3.011201
Hyd.Cylinder & Hyd Winch	5	1	3	0.633345	1.94562120	3.071973
Geared Motor & Bevel Gear	3	0.3333333	1	0.260498	0.79008216	3.032968
Total						9.116144

$$\lambda_{\max} = 3.0387$$

$$CI = \frac{3.0126 - 3}{3 - 1} = 0.01935$$

$$CR = \frac{0.01935}{0.58} = 0.033 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Matriks Perbandingan Berpasangan Alternatif Kriteria Biaya			
Alternatif	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor
Conventional	1	0.3333333	0.5
Semi-Automatic	3	1	3
H Extractor	2	0.3333333	1
Total	6	1.6666667	4.5

Normalisasi Matrik

	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor	Jumlah	Priority Vector Normalisasi	Ranking
Conventional	0.1666667	0.2	0.1111111	0.4777778	0.159259259	0.1111111
Semi-Automatic	0.5	0.6	0.6666666	1.7666667	0.588888889	0.5555555
H Extractor	0.3333333	0.2	0.2222222	0.7555556	0.251851852	0.3333333
Total	1	1	1	3	1	0.1111111

Semua Sub Kriteria sama pentingnya = 33.33 %

Uji Konsistensi						
Matriks A				Matriks B	Matriks AB	Matriks AB/B
	Conventional	Semi-Automatic	H Extractor			$\lambda$
Lever Block	1	0.3333333	0.5	0.159259 3	0.48148148 1	3.023255
Hyd.Cylinder & Hyd Winch	3	1	3	0.588888 9	1.82222222 2	3.094339
Geared Motor & Bevel Gear	2	0.3333333	1	0.251851 9	0.76666666 7	3.044117
Total						9.161713

$$\lambda_{\max} = 3.0539$$

$$CI = \frac{3.0539 - 3}{3 - 1} = 0.02695$$

$$CR = \frac{0.0134}{0.58} = 0.02 < 0.1 \text{ (OK)}$$

Priority vektor yang didapat dari setiap elemen dirangkum sebagai berikut :

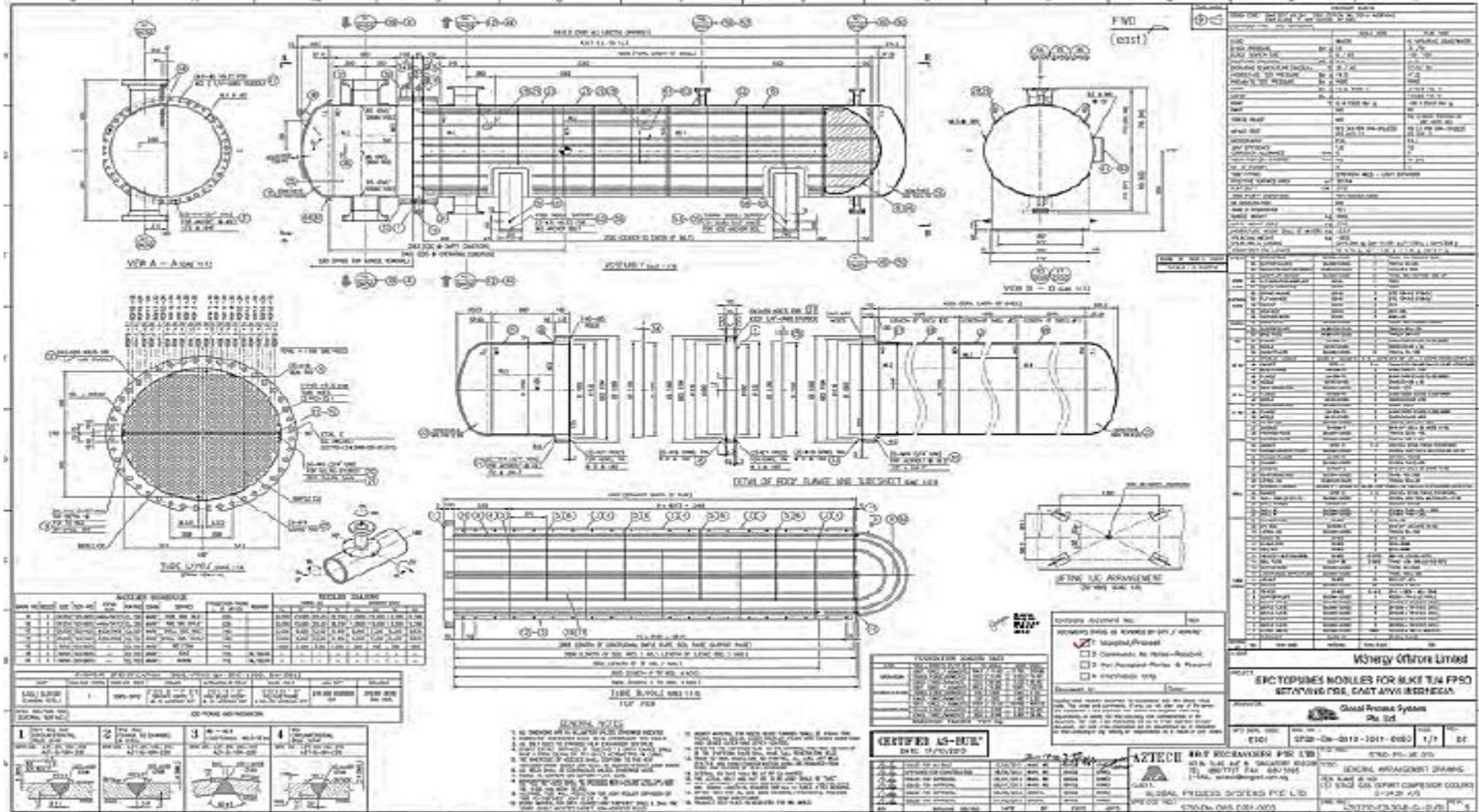
ALTERNATIF	Dimensi	Radius	Beban	Ketinggian	Lever Block	H Cyl & H Winch	Geared Motor & Bevel Gear	Jumlah TK	BIAYA
	0.0149	0.0360	0.0461	0.0087	0.0230	0.1369	0.0563	0.0547	0.6234
Conventional	0.1638	0.1062	0.3333	0.3333	0.0782	0.1150	0.0782	0.1062	0.1593
Semi-Automatic Tube Extractor	0.5390	0.6333	0.3333	0.3333	0.4353	0.4055	0.4353	0.6333	0.5889
Hydro Tube-Extractor	0.2973	0.2605	0.3333	0.3333	0.4866	0.4796	0.4866	0.2605	0.2519

Tabel; PRIORITY RANKING

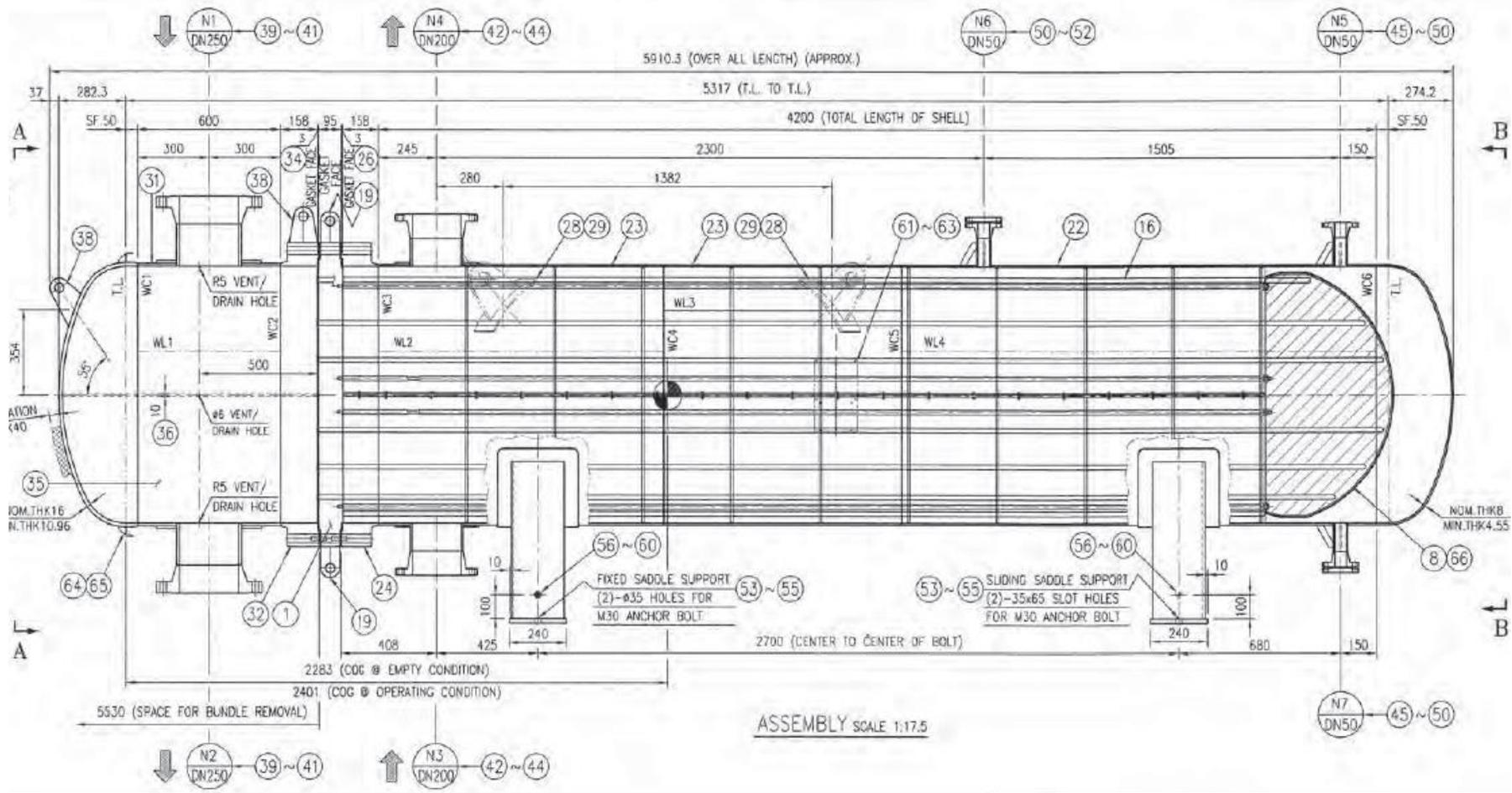
ALTERNATIF	PRIORITY RANKING	PERSENTASE	Ranking
Conventional	0.15155	0.15155	3
Semi-Automatic Tube Extractor	0.54089	0.54089	1
Hydro Tube-Extractor	0.30757	0.30757	2

Berdasarkan hasil perhiungan priority vektor setiap elemen maka dapat diputuskan pemilihan *tube - extractor* melalui persentase pada tabel priority ranking. Persentase priority vektor yang tertinggi yaitu alternatif semi-*automatic tuebextractor* dengan persentase 54,09%. Jadi alternatif yang lebih baik untuk dipilih adalah semi *automatic tube-extractor*.

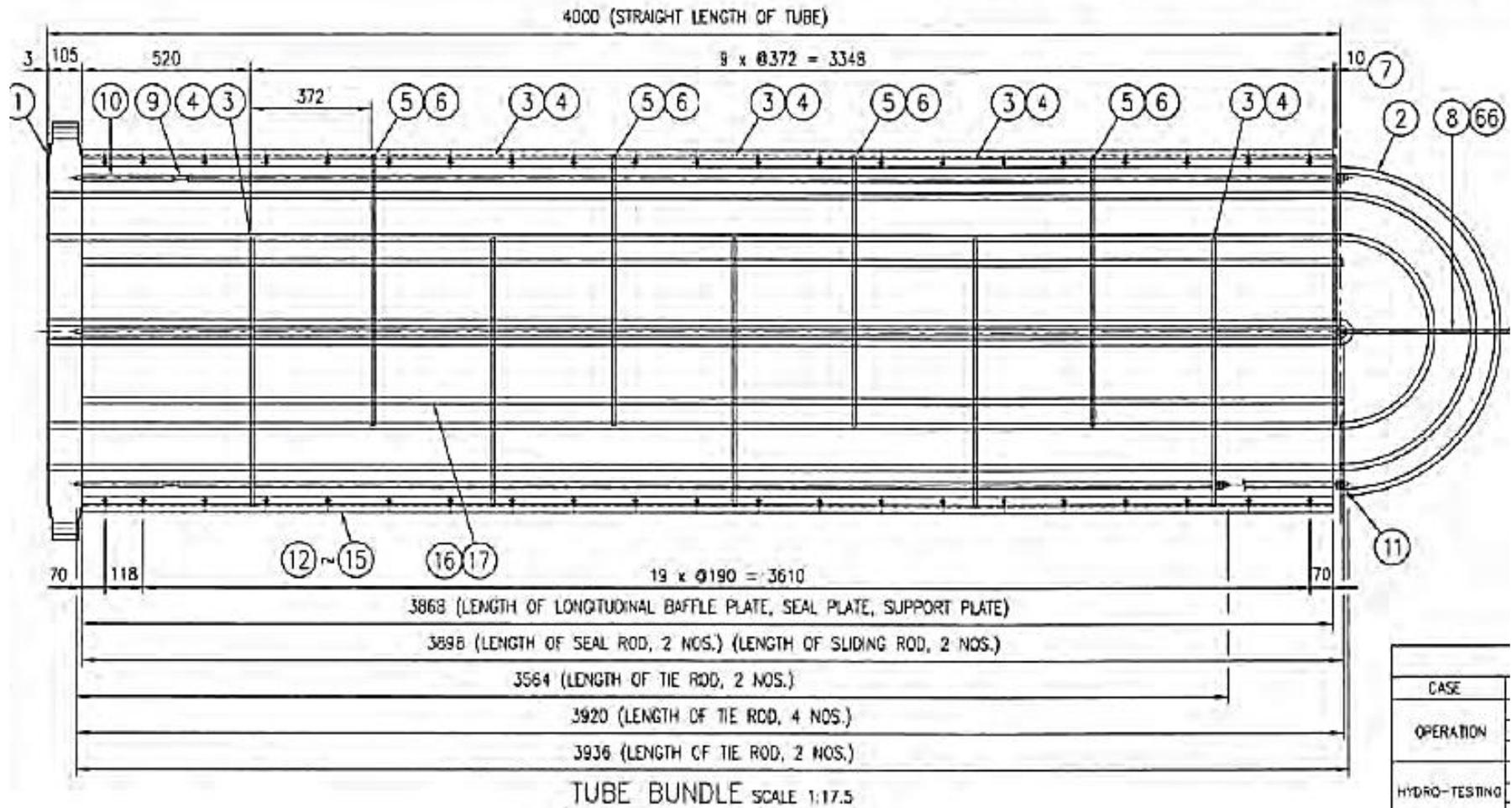
### Lampiran 10 Desain Tube Bundle Heat Exchanger



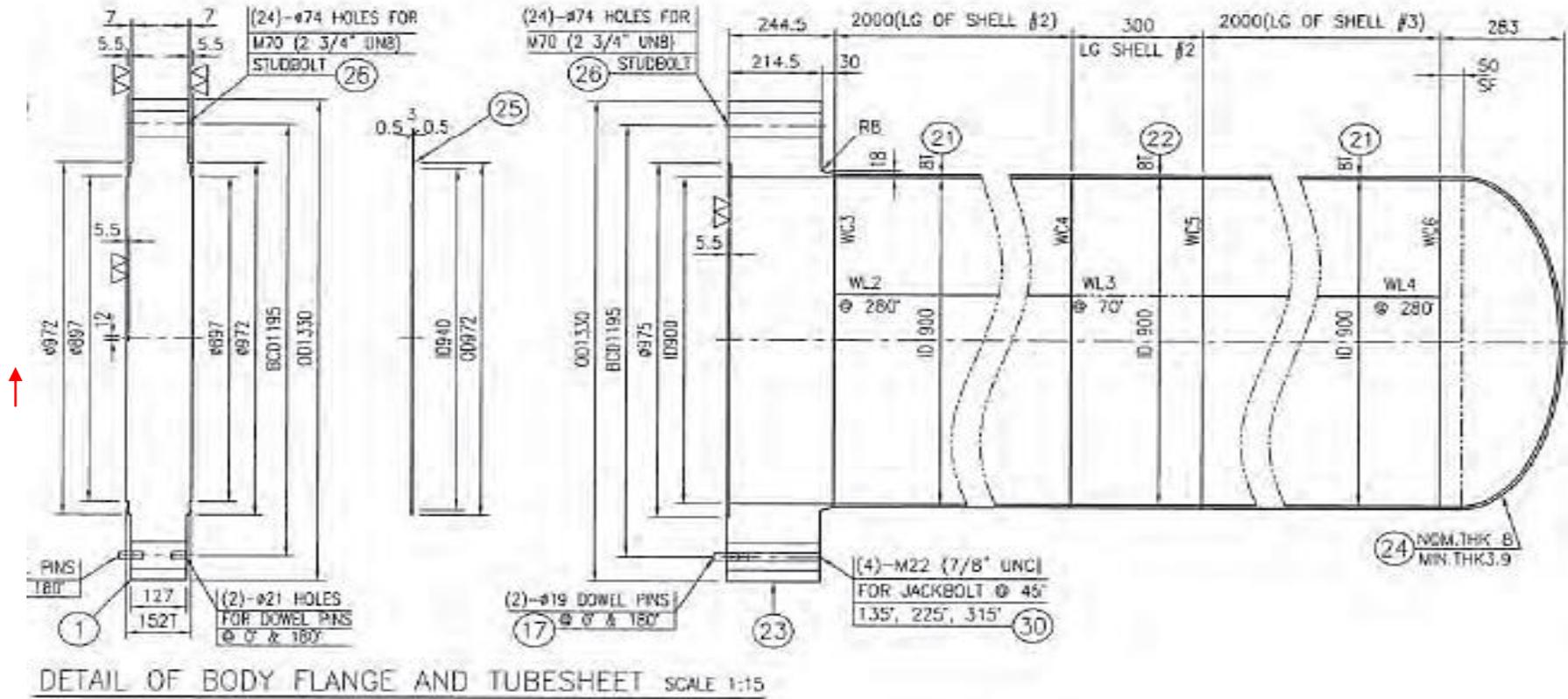
### Lampiran 11 Ukuran Tube Bundle Heat Exchanger Unit



### Lampiran 12 Gambar Tube Bundle



Lampiran 13 Gambar Detail Of Body Flange And Tube Sheet



### Lampiran 14 Desain Data

DESIGN DATA		
DESIGN CODE: ASME SEC VII DIV 1, 2010 EDITION (W/ 2011a ADDENDA) TEMA CLASS "R" 9TH EDITION, API 660		
EXCHANGER TYPE: BFL HORIZONTAL		
	SHELL SIDE	TUBE SIDE
FLUID	WATER	HC VAPOUR/HC LIQUID/WATER
DESIGN PRESSURE	Bar g 15	35 / FV
DESIGN TEMPERATURE	°C 0 / 65	-29 / 150
OPERATING PRESSURE	Bar g 4.51	16.51
OPERATING TEMPERATURE (IN/OUT)	°C 31 / 45	113.5 / 35
HYDROSTATIC TEST PRESSURE	Bar g 19.53	47.22
PNEUMATIC TEST PRESSURE	Bar g NONE	NONE
MAWP	Bar g 15.02 @ 65 °C	35.03 @ 150 °C
MAEWP	Bar g -	1.034 @ 150 °C
MDMT	°C 0 @ 15.02 Bar g	-29 @ 35.03 Bar g
PWHT	NO	NO
STRESS RELIEF	NO	YES (U-BEND PORTION OF TUBE, NOTE 16)
IMPACT TEST	YES (AS PER UHA-51(d)(3) SEE NOTE 17)	YES (AS PER UHA-51(d)(3) SEE NOTE 17)
RADIOGRAPHY	FULL	FULL
JOINT EFFICIENCY	1.0	1.0
CORROSION ALLOWANCE	mm 0	0
INSULATION (BY OTHERS)	mm NO	40 (PP)
NO. OF PASSES	2	4
TUBE FITTING	STRENGTH WELD + LIGHT EXPANSION	
EFFECTIVE SURFACE AREA	m <sup>2</sup> 302.94	
HEAT DUTY	KW 2752	
THIRD PARTY INSPECTION	YES (CLIENT/ABS)	
NB REGISTRATION	NO	
ASME U DESIGNATOR	YES	
BUNDLE WEIGHT	kg 4905	
EMPTY WEIGHT (DRY)	kg 7707	
HYDROSTATIC WEIGHT (FULL OF WATER)	kg 12257	
OPERATING WEIGHT	kg 11975	
OPERATING C LOADING	Gx=0.064 g; Gy= +1.161 g /-1.161 g ; Gz=0.308 g	
TRANSPORTATION LOADING	Gx=0.45 g; Gy= +1.35 g /-1.35 g ; Gz=0.71 g	

### Lampiran 15 Desain Data Tube Bundle

N5	49	NOZZLE FLANGE	SA182M F51	1	ASME DN80 (NPS3) SCH10S CL150 WNRF
	48	NOZZLE	SA193 S31803	1	DN80 (NPS3) SCH10S x 132.3L
N6, N7	47	GUSSET PLATE	SA240M S1803	4	THK3 x 300 SEE DETAIL
	46	STUD BOLT / HEAVY HEX NUT	SA193M B7 / SA193M 2H	8/16-4SETS	M16 (5/8" UNC) x 100L (NOTE 16, 17) (4 SETS FOR SPARE)
	45	GASKET	NOTE 11	2 + 4	THK1.5 STD. DN80 (NPS3) CL150 RF (4 FOR SPARE)
	44	BLIND FLANGE	SA182M F51	2	ASME DN80 (NPS3) CL150 RF
	43	NOZZLE FLANGE	SA182M F51	2	ASME DN80 (NPS3) SCH10S CL150 WNRF
N3, N4	42	NOZZLE	SA193 S31803	2	DN80 (NPS3) SCH10S x 137.5L
	41	REINFORCING PAD	SA240M S1803	2	Ø300 x THK8
N1, N2	40	NOZZLE FLANGE	SA182M F51	2	ASME DN100 (NPS4) SCH10S CL150 WNRF
	39	NOZZLE	SA193 S31803	2	DN100 (NPS4) SCH10S x 151.8L
NL, N2	38	NOZZLE FLANGE	SA182M F51	2	ASME DN150 (NPS6) CL150 WNRFT J 453 BLG
CHANNEL	37	LIFTING LUG	SA618M Gr. A85N	2	THK15.85 x 130 x 105
	36	PARTITION PLATE	SA618M Gr. A85N	1	THK15.8 x 442 x 1113
	35	PARTITION PLATE	SA618M Gr. A85N	1	THK15.8 x 303 x 1113
	34	GASKET	NOTE 10	1 + 2	THK3 x ØØ972 x ID602 (2 FOR SPARE)
	33	CHANNEL HEAD (2.1 ELLIP.)	SA618M Gr. A85N	1	ØØØ100 x THK3.6 x H11.7 x H42.5 x SF50 (NOTE 14)
	32	CHANNEL FLANGE	SA618M Gr. A85N	1	ØØ130 x THK218.5 (NOTE 14)
SHELL	31	CHANNEL	SA618M Gr. A85N	1	ID602 x THK45 x 550L (NOTE 14)
	30	JACK BOLT	SA193M B7	8	M22 (7/8" UNC) x 250L (NOTE 16, 17)
	29	MANLIFTING LUG ON FLG	SA240M S1803	2	THK20 x 170 x 220
	28	REINFORCING PAD PLATE	SA240M S1803	2	THK8 x 130 x 300
	27	MANLIFTING LUG ON SHELL	SA35U ØREDUM	2	THK20 x 170 x 200
	26	STUD BOLT / HEAVY HEX NUT / HARDENED WASHER	SA193M B7 / SA193M 2H / IF435	24 / 48 / 48 = 4 SETS	M20 (2 3/4" UNC) x 83L / WASHER THK6 STD. (4 SETS FOR SPARE) (NOTE 16, 17)
	25	GASKET	NOTE 10	1 + 2	THK3 x ØØ572 x ID340 (1 FOR SPARE)
	24	SHELL HEAD (2.1 ELLIP.)	SA240M S1803	1	ØØ900 x THK3.6 x H11.7 x H42.5 x SF50
TUBE BUNDLE	23	SHELL FLANGE	SA182M F51	1	ØØ1330 x THK214.5
	22	SHELL #2	SA240M S1803	1	ØØ900 x THK8 x 300L
	21	SHELL #1	SA240M S1803	2	ØØ900 x THK8 x 200L
	20	PULLING PLUG	S31803	4	Ø110 x 60L
	19	EYE BOLT	SA193M B7	4	M18 (3/4" UNC) x 50L (NOTE 16, 17)
	18	LIFTING LUG	SA240M S1803	2	THK20 x 120 x 145L (SEE DRAWING)
	17	DOWEL PIN	S31803	4	Ø10 x 55L
	16	SLIDING BAR & SEAL BAR	SA240M S1803	4	THK10 x 35 x 4117L
	15	SEAL STRIP	S31803	2 SETS	THK11 x 50 x 4072L (10 PCS/SET)
	14	BOLT / NUT & WASHER	S31803	46 SETS	M5 x 30L (WITH 2 NUTS AND 01 WASHER)
	13	SUPPORT BAR	SA240 S31803	2	Ø18 x 30 x 4072L
	12	LONGITUDINAL BAFFLE	SA240 S31803	1	THK8 x 804 x 4072L
	11	HDX NUT	S31803	24	M12 (1/2" UNC)
	10	SPACER	SA788M S31803	70	ØØ19.05 x THK1.65
	9	TIE ROD	S31803	8 / 2 / 2	Ø12.7 x 4142L / 3645L / 1463L
8	SUPPORT PLATE	S31803	1	THK8 x 19 x 1220L	
7	SUPPORT PLATE	SA240 S31803	1 SET	THK13 (SEE DRAWING)	
6	SUPPORT PLATE	SA240 S31803	2	THK10 x 54 x 42L (SEE DRAWING)	
5	BAFFLE PLATE	SA240 S31803	1	ØØ85.2 x THK10 (SEE DRAWING)	
4	BAFFLE PLATE	SA240 S31803	7	ØØ85.2 x THK10 (SEE DRAWING)	
3	BAFFLE PLATE	SA240 S31803	7	ØØ85.2 x THK10 (SEE DRAWING)	
2	U-TUBE (SMLS)	SA788M S31803	408U	ØØ19.05 x THK1.65 x 4300" STL	
1	STATIONARY TUBESHEET	SA182M F51	1	ØØ1330 x THK352	
SECTION	NO.	PART NAME	MATERIAL	REQ'D	SIZE

