



TUGAS AKHIR – TI 184833

**EVALUASI PEMILIHAN MESIN MOBILE PACKER UNTUK
INDUSTRI SEMEN DENGAN METODE PENGAMBILAN
KEPUTUSAN MULTI-KRITERIA**

REVINO B AKMALDI
NRP. 02411640000121

Dosen Pembimbing:
Yudha Andrian Saputra, S. T., MBA
NIP. 198203122005011002

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



TUGAS AKHIR – TI184833

**EVALUASI PEMILIHAN MESIN MOBILE PACKER UNTUK INDUSTRI
SEMEN DENGAN METODE PENGAMBILAN KEPUTUSAN MULTI-
KRITERIA**

REVINO B AKMALDI
NRP 02411640000121

Dosen Pembimbing
Yudha Andrian Saputra, S. T., MBA
NIP. 198203122005011002

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



FINAL PROJECT – TI184833

**MOBILE PACKER MACHINE EVALUATION IN CEMENT INDUSTRY
USING MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING**

REVINO B AKMALDI

NRP 02411640000121

Supervisor

Yudha Andrian Saputra, S. T., MBA

NIP. 198203122005011002

INDUSTRIAL AND SYSTEM ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology and System Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2020

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI PEMILIHAN MESIN *MOBILE PACKER* UNTUK INDUSTRI SEMEN DENGAN METODE PENGAMBILAN KEPUTUSAN MULTI-KRITERIA

TUGAS AKHIR

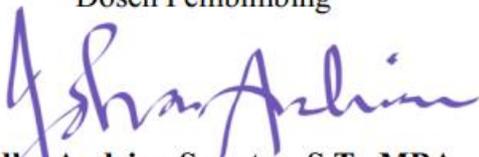
Diajukan Sebagai Persyaratan Penyelesaian Studi Strata Satu
Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Penulis:

REVINO B AKMALDI
NRP. 02411640000121

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing


Yudha Andrian Saputra, S.T., MBA
NIP. 198203122005011002



**EVALUASI PEMILIHAN MESIN *MOBILE PACKER* UNTUK INDUSTRI
SEMEN DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENGAMBILAN
KEPUTUSAN MULTI-KRITERIA**

Nama Mahasiswa : Revino B Akmaldi
NRP : 02411640000121
Dosen Pembimbing : Yudha Andrian Saputra, S.T., MBA

ABSTRAK

PT X merupakan perusahaan yang menguasai pangsa pasar Indonesia dengan memiliki *market share* sebesar 53,4%. Salah satu fasilitas produksi dengan kapasitas terbesar adalah Tuban *Plant*. Proses krusial di dalam penentuan *output* produksi pada fasilitas tersebut adalah proses *packing*. Konsep *mobile packer machine* mampu mengatasi permasalahan yang terjadi apabila salah satu atau beberapa mesin *packer* rusak sehingga kapasitas produksi semen *bag* menurun. Pada penelitian ini akan dicoba untuk membandingkan dua merek *packer* yang telah dimiliki oleh PT X, yaitu HB dan CP untuk diterapkan pada konsep *mobile packer machine*. Perbandingan dilakukan menggunakan metode MCDM dengan pertimbangan kriteria finansial dan non-finansial.. Kriteria finansial akan didapatkan menggunakan metode TCO dengan indikator nilai minimum EUAC dan umur ekonomis sebagai kriteria. Kriteria non-finansial akan menjadi representasi mobilisasi sesuai dengan konsep *mobile packer machine*. Bobot mesin dan *set-up time* akan menjadi kriteria non-finansial pada permasalahan ini. Perhitungan bobot dilakukan menggunakan metode CRITIC. Dengan hasil perhitungan menunjukkan bahwa kriteria nilai minimum EUAC memiliki bobot 0,579, umur ekonomis 0,203, bobot mesin 0,131, dan *set-up time* 0,087. Jika ditinjau dari kriteria finansial saja HB memiliki rata-rata nilai minimum UEAC yang lebih rendah dibandingkan CP yaitu sebesar Rp 726 juta dibandingkan dengan Rp 1.092 juta. Sedangkan dari umur ekonomis HB memiliki nilai rata-rata umur ekonomis yang lebih besar dibandingkan CP yaitu 33 tahun dibandingkan dengan 26 tahun. Berdasarkan nilai *scoring* yang didapatkan dari metode VIKOR dan *comprehensive* VIKOR jika mempertimbangkan kriteria finansial dan non-finansial maka alternatif yang paling baik juga HB. Pada penelitian ini juga akan ditampilkan bagaimana model evaluasi bisa digunakan untuk proses *procurement* dengan alternatif selain merek *existing*.

Kata kunci: *comprehensive* VIKOR, CRITIC, *multi criteria decision making*, *total cost of ownership*, VIKOR.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

MOBILE PACKER MACHINE EVALUATION IN CEMENT INDUSTRY USING MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING

Student Name : Revino B Akmal
ID Number : 02411640000121
Supervisor : Yudha Andrian Saputra, S.T., MBA

ABSTRACT

PT X is a company that controls the Indonesian market share with a market share of 53.4%. PT X will continue to make improvements and solve problems in its production facilities. One of the production facilities with the largest capacity is the Tuban Plant. The crucial process in determining the production output at the facility is the packing process. The concept of a mobile packer machine can solve the problems that occur when one or more packer machines in the packing system are damaged so that the cement bag production capacity decreases. Also besides, the mobile concept can be used as a mobile facility according to the distribution plan. This research will try to compare the two packer brands that are owned by PT X, namely HB and CP to be applied to the mobile packer machine concept. The comparisons were made using the MCDM method using financial and non-financial criteria. Financial criteria will be obtained using the TCO method with indicators of minimum EUAC value and economic age as criteria. The non-financial criteria will represent the mobilization according to the mobile packer machine concept. The machine weight and set-up time will be the non-financial criteria for this problem. The weight calculation is done using the CRITIC method. The calculation results show that the EUAC minimum value criterion weights of 0.579, an economic age of 0.203, a machine weight of 0.131, and a set-up time of 0.087. If viewed from the financial criteria alone, the HB alternative has an average minimum UEAC value that is lower than the CP alternative, which is IDR 726 million compared to IDR 1,092 million. Meanwhile, from the alternative economic ages, HB has an average value of economic age that is greater than that of CP, which is 33 years compared to 26 years. Based on the scoring value obtained from the VIKOR method and comprehensive VIKOR when considering financial and non-financial criteria, the best alternative is also the HB alternative. This research will also show how the evaluation model can be used for the procurement process with alternatives except to the existing brand.

Keywords: *comprehensive VIKOR, CRITIC, multi criteria decision making, total cost of ownership, VIKOR.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat, berkat, dan hidayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul **Evaluasi Pemilihan *Mobile Packer Machine* untuk Industri Semen dengan Menggunakan Metode Pengambilan Keputusan Multi-Kriteria**. Di samping itu penulis juga mendapatkan dukungan dari banyak pihak selama penelitian. Maka dari itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Yudha Andrian Saputra, S.T., MBA selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, saran, bimbingan, pelajaran, dan motivasi selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
2. Bapak Arif Hidayat selaku ahli mesin dan *maintenance* yang telah membimbing penulis juga membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
3. Bapak Stefanus E. W., S.T., M.T., Ibu Rindi K., S.Si, M.Sc., Bapak Dr. Ir. Patdono S., M.Eng, Sc, dan Bu Diesta Iva Maftuhah, S.T., M.T. yang telah memberikan banyak kritik dan saran dalam pelaksanaan seminar proposal dan sidang tugas akhir.
4. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D selaku Kepala Departemen, seluruh Bapak/Ibu Dosen, dan Karyawan Departemen Teknik dan Sistem Industri ITS yang telah memberikan ilmu, nasihat, dan bimbingan selama penulis menuntut ilmu di Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS.
5. Kedua orang tua penulis, Bapak Roni dan Ibu Evy, dan saudari Areta yang senantiasa selalu memberikan doa, dukungan, dan motivasi kepada penulis.
6. Amelia, seluruh teman-teman asisten Laboratorium QMIPA, dan teman-teman ADHIGANA yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir penulis baik secara ilmu, moral, dan tenaga.

Penulis menyadari bahwa di dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini tidak mungkin luput dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mohon kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk selalu memperbaiki diri. Semoga penelitian ini bisa memberikan manfaat.

Sidoarjo, 30 Juli 2020

Revino B Akmaldi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	9
1.3 Tujuan Penelitian	9
1.4 Manfaat Penelitian	10
1.5 Lingkup Penelitian	10
1.5.1 Batasan	10
1.5.2 Asumsi	10
1.6 Sistematika Penulisan	11
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1 Life Cycle Cost atau Total Cost of Ownership	13
2.2 Reliability	15
2.2.1 Fungsi Reliability	16
2.2.2 Bath-Tub Curve	17
2.3 Maintainability	18
2.4 Ekonomi Teknik	18
2.4.1 Annual Worth	19
2.4.2 Konsep Replacement Analysis	20
2.5 Overall Equipment Effectiveness	21
2.6 Multi-Criteria Decision Making	22
2.7 Multicriteria Optimization and Compromise Solution (VIKOR)	27
2.8 Comprehensive VIKOR	29

2.9	Criteria Importance Through Inter-Criteria Correlation (CRITIC)	31
2.10	Simulasi Monte Carlo	33
2.11	Posisi Penelitian.....	34
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		37
3.1	Studi Literatur	37
3.2	Pengumpulan Data.....	37
3.3	Penyusunan Model Simulasi	38
3.4	Penyusunan Model MCDM.....	42
3.4.1	Penyusunan Decision Martix.....	42
3.4.2	Perhitungan Bobot Kriteria Menggunakan CRITIC.....	45
3.4.3	Scoring dan Ranking dengan VIKOR	45
3.4.4	Scoring dan Ranking dengan Comprehensive VIKOR.....	46
3.4.5	Comparative Analysis	47
3.5	Kesimpulan dan Saran	48
BAB 4 PENGEMBANGAN MODEL PEMILIHAN MOBILE PACKER MACHINE DENGAN MENGGUNAKAN MEREK PACKER EXISTING		49
4.1	Permasalahan Pengambilan Keputusan	49
4.2	Mekanisme Perhitungan Kriteria Finansial	51
4.2.1	Model Perhitungan Maintenance Cost	55
4.2.2	Model Perhitungan Operational Cost	56
4.2.3	Model Perhitungan Consequential Cost	57
4.2.4	Perhitungan EUAC dan Umur Ekonomis.....	59
4.3	Mekanisme Evaluasi Mobile Packer Machine	59
4.3.1	Mekanisme Pembobotan Kriteria	59
4.3.2	Mekanisme Scoring Alternatif	60
4.3.3	Mekanisme Penentuan Alternatif Terbaik.....	63
BAB 5 EVALUASI PEMILIHAN MOBILE PACKER MACHINE DENGAN MENGGUNAKAN MEREK PACKER EXISTING		65
5.1	Perhitungan Kriteria Finansial.....	65
5.1.1	Pengumpulan Data.....	65
5.1.2	Distribution Fitting	67
5.1.3	Validasi Model Simulasi	69

5.1.3.1	Jumlah Replikasi	69
5.1.3.2	Validasi	71
5.1.4	Hasil Simulasi: Nilai EUAC dan Umur Ekonomis	73
5.2	Evaluasi Pemilihan Alternatif Terbaik	80
5.2.1	Pembobotan Kriteria	80
5.2.2	Scoring dan Pemilihan Alternatif.....	85
5.2.2.1	VIKOR	85
5.2.2.2	C-VIKOR	90
5.3	Comparative Analysis	93
5.3.1	Hasil TCO dan MCDM.....	94
5.3.2	Hasil Dua Metode MCDM.....	95
5.3.3	Analisis Risiko Hasil Keputusan Model	97
BAB 6 IMPLEMENTASI MODEL PADA FASE PROCUREMENT		101
6.1	Data yang diperlukan	101
6.2	Alur Implementasi.....	107
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN		113
7.1	Kesimpulan.....	113
7.2	Saran.....	115
DAFTAR PUSTAKA		117
LAMPIRAN		123
Lampiran 1 Data Historis Kerusakan Alternatif HB		123
Lampiran 2 Data Historis Kerusakan Alternatif CP.....		124
Lampiran 3 Distribution Fitting TTF Alternatif HB		125
Lampiran 4 Distribution Fitting TTF Alternatif CP		126
Lampiran 5 Distribution Fitting Performance Alternatif HB dan CP		127
Lampiran 6 Distribution Fitting Reject Rate Alternatif HB dan CP		128
Lampiran 7 Operational dan Consequential Cost pada Satu Replikasi Simulasi untuk Alternatif HB.....		129
Lampiran 8 Operational dan Consequential Cost pada Satu Replikasi Simulasi untuk Alternatif CP		130
Lampiran 9 Nilai EUAC pada Satu Replikasi untuk Alternatif HB.....		131
Lampiran 10 Nilai EUAC pada Satu Replikasi untuk Alternatif CP		132

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Proyeksi Kebutuhan dan Pasokan Semen di Indonesia.....	1
Gambar 1.2 Persentase Kebutuhan Semen Berdasarkan Jenis Produk Semen	2
Gambar 1.3 Mesin <i>Rotary Packing</i>	3
Gambar 1.4 <i>Life Cycle Cost Phase</i>	6
Gambar 2.1 Skema Fungsi <i>Reliability</i>	16
Gambar 2.2 Diagram <i>Bath-Tub Curve</i>	17
Gambar 2.3 Proses Pengambilan Keputusan pada MCDM	23
Gambar 2.4 Klasifikasi dari Metode MCDM	25
Gambar 2.5 <i>Flowchart</i> dari <i>Comprehensive VIKOR</i>	30
Gambar 2.6 Hasil Perbandingan Tiga Metode <i>Objective Weight</i>	33
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	38
Gambar 3.2 Model Konseptual Skema Perhitungan EUAC	39
Gambar 3.3 Hirarki Kriteria dalam Pemilihan Mesin <i>Packer</i>	42
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Penyusunan Model MCDM.....	43
Gambar 4.1 Diagram Perhitungan EUAC dan Umur Ekonomis	53
Gambar 4.2 Alur Pembobotan Menggunakan CRITIC.....	60
Gambar 4.3 Alur <i>Scoring</i> Menggunakan VIKOR	61
Gambar 4.4 Alur <i>Scoring</i> Menggunakan C-VIKOR	62
Gambar 4.5 Alur Pemilihan Alternatif Terbaik	63
Gambar 5.1 Grafik Pergerakan EUAC pada Satu Sampel Simulasi (Alternatif HB)	74
Gambar 5.2 Grafik Pergerakan EUAC pada Satu Sampel Simulasi (Alternatif CP)	74
Gambar 5.3 Profil Distribusi Minimum EUAC untuk Alternatif HB.....	76
Gambar 5.4 Profil Distribusi Umur Ekonomis untuk Alternatif HB	77
Gambar 5.5 Profil Distribusi Minimum EUAC untuk Alternatif CP	78
Gambar 5.6 Profil Distribusi Umur Ekonomis untuk Alternatif CP.....	78
Gambar 5.7 Visualisasi Nilai Bobot Kriteria	94

Gambar 5.8 Perbedaan Normalisasi pada VIKOR dan C-VIKOR (Alternatif HB)	96
Gambar 5.9 Perbedaan Normalisasi pada VIKOR dan C-VIKOR (Alternatif CP)	96
Gambar 5.10 Hasil Simulasi Analisis Risiko Keputusan Metode VIKOR	98
Gambar 5.11 Hasil Simulasi Analisis Risiko Keputusan Metode C-VIKOR	98
Gambar 5.12 Perubahan Bobot Umur Ekonomis dan Minimum EUAC	99
Gambar 6.1 Ilustrasi Kondisi <i>Decision Maker</i> Memiliki Pengalaman Mengoperasikan Mesin Serupa	105
Gambar 6.2 Ilustrasi Kondisi <i>Decision Maker</i> Tidak Memiliki Pengalaman Mengoperasikan Mesin Serupa	105
Gambar 6.3 Contoh Model Evaluasi Multi Kriteria (Metode VIKOR)	111
Gambar 6.4 Contoh Model Evaluasi Multi Kriteria (Metode C-VIKOR)	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen <i>Life Cycle Cost</i>	14
Tabel 2.2 Penjelasan dari <i>Bath-Tub Curve</i>	17
Tabel 2.3 Beberapa Jenis <i>Maintenance</i>	18
Tabel 2.4 Parameter Pengukuran OEE.....	21
Tabel 2.5 Posisi Penelitian	35
Tabel 3.1 Penjelasan dan Jenis Kriteria	44
Tabel 3.2 Bentuk <i>Decision Matrix</i> dalam Tabulasi	44
Tabel 3.3 Tahapan Metode CRITIC.....	45
Tabel 3.4 Tahapan <i>Scoring</i> dan <i>Ranking</i> dengan Metode VIKOR.....	46
Tabel 3.5 Tahapan <i>Scoring</i> dan <i>Ranking Comprehensive</i> VIKOR.....	47
Tabel 4.1 Alternatif Pemilihan <i>Mobile Packer Machine</i>	49
Tabel 5.1 Kode untuk <i>Maintenance Action</i> pada Sistem Informasi Perusahaan ..	65
Tabel 5.2 Klasifikasi Jenis Kerusakan pada <i>Breakdown</i> dan <i>Corrective Maintenance</i>	66
Tabel 5.3 <i>Input Data</i> untuk Model Simulasi	67
Tabel 5.4 Data Parameter Distribusi untuk Kedua Alternatif	67
Tabel 5.5 Data Probabilitas Kerusakan dan Parameter Distribusi Alternatif HB .	68
Tabel 5.6 Data Probabilitas Kerusakan dan Parameter Distribusi Alternatif CP..	69
Tabel 5.7 Rekapitulasi Data Simulasi Durasi Operasi Alternatif HB	69
Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Jumlah Replikasi Alternatif CP	71
Tabel 5.9 Data Durasi Operasi HB untuk Validasi Model Simulasi.....	71
Tabel 5.10 Rekapitulasi Perhitungan untuk Validasi Model Alternatif CP.....	73
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Simulasi Minimum EUAC dan Umur Ekonomis .	79
Tabel 5.12 <i>Input Data</i> untuk Model Evaluasi	80
Tabel 5.13 Nilai Ideal dan Anti-Ideal untuk Setiap Kriteria.....	81
Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Normalisasi	82
Tabel 5.15 Rekapitulasi Perhitungan Standar Deviasi Kriteria	83
Tabel 5.16 Matriks Korelasi antar Kriteria	83
Tabel 5.17 Nilai Konflik pada Setiap Kriteria	84

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Informasi dan Bobot	85
Tabel 5.19 Data Normalisasi untuk Metode VIKOR	86
Tabel 5.20 Matriks <i>Weighed Normalized</i> Metode VIKOR	86
Tabel 5.21 Nilai S dan R untuk setiap Alternatif	87
Tabel 5.22 Nilai Q untuk Setiap Alternatif	88
Tabel 5.23 Nilai S, R, dan Q pada Setiap Alternatif	90
Tabel 5.24 Nilai <i>Weighed Normalized</i> pada Metode C-VIKOR	91
Tabel 5.25 Nilai S, R, dan Q pada Metode C-VIKOR	92
Tabel 5.26 Parameter Distribusi dari Hasil Simulasi	97
Tabel 6.1 Data yang dibutuhkan untuk Model Evaluasi	102
Tabel 6.2 Contoh Data Kerusakan yang Dapat digunakan.....	108
Tabel 6.3 Contoh Data Klasifikasi Kerusakan pada <i>Corrective Maintenance</i>	108
Tabel 6.4 Contoh Data Akuisi Mesin dan <i>Additional CAPEX</i>	109
Tabel 6.5 Contoh Format Perhitungan <i>Operational</i> dan <i>Consequential Cost</i>	109
Tabel 6.6 Contoh Format Perhitungan EUAC	110

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai identifikasi masalah dan beberapa hal yang menjadi latar belakang permasalahan. Kemudian akan dijelaskan tentang rumusan permasalahan, tujuan, manfaat, batasan, asumsi, dan sistematika penulisan laporan penelitian.

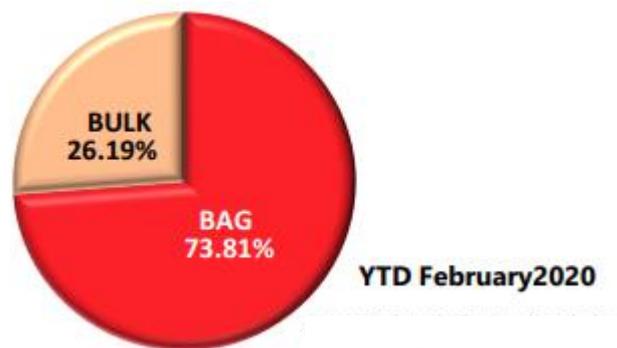
1.1 Latar Belakang

Kebutuhan dan pasokan domestik semen selalu mengalami peningkatan, dapat dilihat pada Gambar 1.1. Pada gambar tersebut pula dapat dilihat utilisasi kapasitas produksi semen yang fluktuatif. Pada Gambar 1.1 data untuk tahun 2001 hingga 2018 merupakan data aktual sedangkan data 2019 hingga 2025 merupakan data prediksi pertumbuhan dari ketiga indikator. Kebutuhan domestik selalu mengalami peningkatan sejak 2001 dan diprediksi akan tetap meningkat hingga 2025. Ini menunjukkan bahwa industri semen akan selalu memiliki peluang untuk berkembang hingga masa mendatang. Akan tetapi dalam rentang durasi tersebut industri semen di Indonesia mengalami *over capacity*. Hal ini merupakan bentuk antisipasi *shortage* yang akan terjadi karena kebutuhan semen yang selalu dibutuhkan dan meningkat, dapat dilihat pada Gambar 1.1 (Saputra, 2011).



Gambar 1.1 Proyeksi Kebutuhan dan Pasokan Semen di Indonesia (Indocement, 2019)

Mayoritas kebutuhan semen hingga 2019 masih didominasi oleh semen dalam kemasan (*bag*). Semen dalam kemasan merupakan 73,81% dari keseluruhan konsumsi semen di Indonesia, dapat dilihat pada Gambar 1.2. Semen tersebut biasa digunakan untuk pembangunan bangunan tempat tinggal, pertokoan, perindustrian dan pembangunan lingkup kecil lainnya. Hal ini sejalan dengan banyaknya penduduk di Indonesia yang membutuhkan tempat tinggal. Terdapat 80,02% dari keseluruhan jumlah rumah tangga yang mampu untuk memiliki rumah sendiri, sekitar 52 juta rumah tangga (BPS, 2015 & 2018). Sedangkan untuk semen curah dipesan oleh pemerintah untuk melangsungkan proyek pembangunan infrastruktur maupun perusahaan yang memesan semen dalam jumlah banyak untuk pembangunan fasilitas pabrik.



Gambar 1.2 Persentase Kebutuhan Semen Berdasarkan Jenis Produk Semen (SIG, 2020)

Proses *packing* merupakan tahapan yang penting dalam memproduksi semen dalam kemasan. Proses tersebut dilakukan menggunakan mesin pengemas atau mesin *packer*. Walau pun proses *packing* semen terbilang sederhana akan tetapi target produksi semen *bag* sangat bergantung dengan kapasitas mesin *packer* yang dimiliki. Seiring dengan kesadaran perusahaan untuk otomasi proses produksi maka proses *packing* dilakukan menggunakan mesin otomatis. Pada penelitian yang dilakukan oleh Rahman dan Shamsuzzoha (2005) menjelaskan bahwa pemilihan teknologi mesin *packer* yang tepat mampu meningkatkan kualitas dan kapasitas produksi juga mampu efisiensi proses.

Terdapat dua jenis mesin yang umum digunakan oleh perusahaan semen untuk proses pengemasan semen yaitu *in-line packer* dan *rotary packer* (CP, 2014). Perbedaan dari kedua jenis tersebut adalah desain mesin dimana *in-line* merupakan mesin *packing* yang *filler* atau *spout* terletak sejajar sedangkan pada *rotary* memiliki *spout* yang melingkar. *Rotary packer* memiliki dimensi yang lebih kecil karena dengan posisi *spout* yang melingkar praktis mereduksi dimensi mesin. PT X memiliki mesin *packer* jenis *rotary packer* pada fasilitas produksi area Tuban.

Mesin *packer* memiliki kemungkinan rusak di dalam beroperasi. Ketika hal tersebut terjadi maka perlu adanya perbaikan. Jika proses perbaikan memakan waktu yang lama maka kapasitas sistem *packing* pada *plant* tersebut akan mengalami penurunan kapasitas sejumlah dengan mesin *packer* yang masih berfungsi. Dengan kapasitas *packer* yang menurun maka kapasitas produksi secara keseluruhan terpaksa untuk diturunkan dan diseimbangkan sesuai dengan kapasitas *packer* yang berfungsi. Di sisi lain juga akan muncul *work in process* semen curah yang belum dikemas.



Gambar 1.3 Mesin *Rotary Packing*
(FLSmidth, 2016)

Terdapat konsep sistem *packing* dapat dijadikan strategi untuk mengatasi apabila kondisi kerusakan mesin *packer* berkelanjutan terjadi, yaitu *mobile packer machine*. Bagian mesin *packer* yang akan dibuat menjadi *mobile* adalah bagian *rotary packing* seperti yang tertera pada Gambar 1.3. Bagian mesin tersebut merupakan inti dari proses pengemasan semen. Proses pengisian semen ke dalam kemasan dan *sealing* kemasan dilakukan oleh *rotary packer*. Dengan melakukan penyesuaian sehingga bagian tersebut bersifat *mobile* maka akan memudahkan perusahaan untuk melepas pasang mesin jika diperlukan. Proses perbaikan mesin utama yang mengalami kerusakan dapat dilakukan *offline* dengan mengganti terlebih dahulu dengan mesin cadangan yang tersedia. Dengan begitu sistem produksi tidak akan terganggu dan tetap dapat memproduksi dengan kapasitas normal.

Freiheit et al. (2004) melakukan penelitian mengenai dampak pada produktivitas dengan adanya *standby machine*. Pada penelitian tersebut dikembangkan model matematis untuk mengestimasi dampak dari adanya *reserve capacity*, adanya mesin yang *standby* yang dapat digunakan untuk menggantikan mesin utama. Penelitian dilakukan dengan membandingkan sistem produksi dengan *pure configuration* dan *reserve capacity configuration*. Apabila terdapat satu mesin atau *equipment* rusak atau gagal maka akan ada kemungkinan sistem keseluruhan terganggu atau bahkan juga rusak. Dengan adanya *reserve capacity* maka dapat memitigasi kerusakan sistem dengan mengganti mesin utama dengan *standby machine*. Konfigurasi sistem produksi dengan *reserve capacity* membutuhkan *material handling* yang mumpuni untuk menunjang pemindahan material atau mesin ketika sistem utama mengalami kerusakan. Konfigurasi tersebut biasa digunakan pada proses produksi seri dan yang bersifat *mass production*. Produktivitas pada konfigurasi *reserve capacity* lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa *reserve capacity*. Hal tersebut disebabkan oleh tingginya *availability* mesin di dalam proses produksi dan mempercepat waktu perbaikan sistem produksi, karena perbaikan dilakukan di luar sistem utama. Konsep *mobile packer machine* serupa dengan konsep *reserve capacity* yang dijelaskan pada penelitian Freiheit et al. (2014) dengan adanya *standby machine*

yang *mobile* maka akan mampu menghasilkan produktivitas yang diinginkan tanpa terganggu oleh kerusakan mesin yang terjadi.

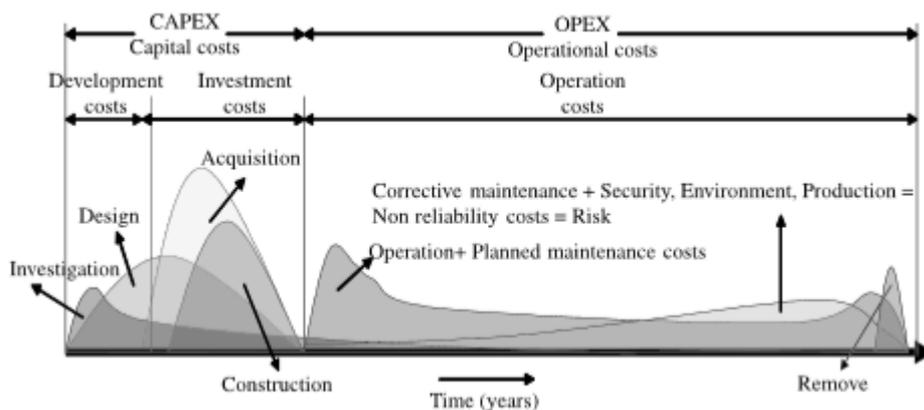
Penerapan konsep *mobile packer machine* ini dapat diterapkan pada fasilitas produksi perusahaan yang terintegrasi. Dengan jarak fasilitas yang berdekatan akan memudahkan *mobile packer machine* digunakan pada area tersebut. Kerusakan mesin *packer* bisa terjadi pada masing-masing *plant* sehingga dibutuhkan cadangan *mobile packer machine* untuk mengatasi permasalahan *balancing capacity*. *Mobile packer machine* yang perlu disiapkan sebagai cadangan tidak harus berjumlah sebanyak mesin utama hanya jumlah tertentu yang nantinya dapat digunakan bergantian pada *multi plant*. Maka sistem *mobile packer machine* juga akan terintegrasi.

Konsep *mobile packer machine* juga dapat dimanfaatkan oleh perusahaan untuk menjangkau pasar di daerah dengan kondisi tertentu. Fasilitas yang dapat dipindahkan akan dengan mudah untuk menjangkau pasar yang membutuhkan *supply* tambahan untuk menstabilkan tingkat pasokan. Terlebih lagi daerah dengan tingkat *demand* yang bersifat fluktuatif bisa diatasi dengan perencanaan distribusi yang dinamis dengan memanfaatkan *mobile packer machine*. Perusahaan mampu menghemat banyak biaya produksi karena tidak perlu membangun pondasi atau bangunan tetap seperti *plant* pada umumnya.

Terdapat beberapa alternatif mesin *rotary packer* yang dapat dipilih. Dengan semakin maju teknologi *vendor* atau *manufacturer* akan berlomba untuk menyediakan mesin *packer* terbaik. Maka dari itu perlu adanya proses analisis pemilihan mesin *packer* yang paling tepat agar mampu menunjang konsep *mobile packer machine*.

Pada umumnya proses pemilihan mesin atau *equipment* didasari oleh biaya pembelian atau *acquisition* saja. Namun hal tersebut mampu menyebabkan bias dimana akan ada kemungkinan satu alternatif lebih murah dari segi biaya pembelian akan tetapi biaya operasi dan perbaikannya mengalami pembengkakan (Bengsston & Kurdve, 2016). Sehingga menyebabkan total biaya yang dikeluarkan pada saat memiliki alternatif tersebut lebih besar dibandingkan alternatif lain yang tidak dipilih. Maka dari itu perlu dianalisis biaya kepemilikan seutuhnya untuk melihat total biaya yang dikeluarkan pada saat memiliki mesin

tersebut. Salah satu perhitungan biaya yang komprehensif yang mampu melakukan hal tersebut adalah *total cost of ownership* (TCO). Konsep TCO pertama kali didefinisikan oleh Ellram (1995) yang merupakan sebuah *tool* analisis pembelian. Tujuan utama dari TCO adalah mengidentifikasi *cost* yang akan dikeluarkan selama masa kepemilikan mesin yang dapat disebut *life cycle phase*, dapat dilihat pada Gambar 1.4. Konsep TCO serupa dengan teori yang dikembangkan oleh Barringer et al. (1996) mengenai *Life Cycle Cost* (LCC). Keseragaman dari kedua metode tersebut terletak pada konsep dasar yaitu proses analisis biaya kepemilikan yang dikeluarkan pada setiap fase mulai dari fase *development*, *investment*, *operating*, hingga *disposal*. Analisis TCO ini dapat memberikan informasi ekonomis yang lengkap yang dapat menunjang proses pengambilan keputusan (Bengston & Kurdve, 2016).



Gambar 1.4 *Life Cycle Cost Phase*
(Marquez et al., 2009)

Model TCO telah banyak dikembangkan untuk mengatasi kekurangan yang ada, salah satunya adalah kemampuan model TCO untuk meniru *behavior* ketidakpastian yang terjadi selama masa kepemilikan (Roda & Garetti, 2014a). Aspek performa mesin, *maintainability* dan *reliability*, adalah komponen penting dari TCO yang bersifat *stochastic*. Kedua indikator tersebut mampu menggambarkan bahwa aset dapat mengalami kegagalan dalam beroperasi dan mengalami *breakdown*. Apabila mesin mengalami *breakdown* maka akan menghambat perusahaan di dalam menghasilkan produk yang memiliki *opportunity cost*. Nilai *opportunity* biasa diwakilkan dengan *consequential cost* di

dalam analisis TCO (Roda & Garetti, 2014a). Selain itu *consequential cost* juga dapat mewakili performa dari mesin seperti *overall equipment effectiveness* (OEE) sehingga memberikan analisis biaya yang lebih komprehensif. Hal tersebut pernah dilakukan pada penelitian oleh Heilala et al. (2006).

Hanafi (2019) mengakomodasi *uncertainty* dari *maintenance cost* dan *operational cost* yang disebabkan oleh *failure* yang terjadi pada analisis TCO yang dilakukan. Perhitungan TCO yang dilakukan menghasilkan dua parameter, nilai dan umur ekonomis. Nilai ekonomis dari setiap alternatif dihitung menggunakan konsep EUAC, *Equivalent Uniform Annualized Cost* (Thuesen & Fabrycky, 2001). Nilai EUAC dianggap optimal ketika nilai tersebut merupakan nilai terendah selama durasi kepemilikan mesin. Durasi masa kepemilikan yang memiliki nilai EUAC paling minimum merupakan umur ekonomis (*economic lifetime*) dari sebuah mesin (Sullivan et al. 2015). Semakin rendah nilai EUAC maka semakin baik. Sebaliknya kepemilikan aset dengan umur ekonomis mesin yang lebih lama akan lebih menguntungkan. Dua indikator tersebut diulangi selama beberapa iterasi menggunakan simulasi *monte carlo* untuk menggambarkan *uncertainty* yang terjadi dan memberikan estimasi nilai.

Pendekatan TCO untuk *mobile packer machine* dapat dilakukan dengan menggabungkan analisis data historis dari perusahaan mengenai biaya kerusakan dan operasi dengan data terbaru mengenai biaya akuisisi mesin yang kemudian akan diproyeksikan menjadi biaya kepemilikan ke depan. Dengan begitu analisis estimasi biaya untuk pemilihan mesin *packer* dapat mendekati biaya realisasi. Namun pemilihan mesin *packer* juga perlu mempertimbangan faktor teknis terkait dengan mobilisasi. Hal tersebut menjadi penting karena mobilisasi merupakan komponen kritis di dalam konsep *mobile packer machine*. Dengan mobilisasi yang baik maka sistem *mobile packer* akan lebih efisien dalam pelaksanaannya. Maka dari itu pemilihan *mobile packer machine* yang paling tepat merupakan permasalahan multi kriteria. Metode yang mampu untuk menyelesaikan permasalahan multi kriteria adalah *multi criteria decision making* (MCDM).

Metode MCDM telah berkembang menjadi berbagai macam jenis namun terdapat beberapa karakteristik yang serupa yaitu adanya alternatif, *multiple attribute* atau *criteria*, *decision weight* atau bobot yang dimiliki oleh setiap

kriteria, dan *scoring technique* yang bertujuan untuk menentukan alternatif terbaik (Triantaphyllou, 2000). Terdapat beberapa metode *criteria weighting* yang dibagi menjadi dua jenis, *subjective weighting* dan *objective weighting*. *Pairwise comparison*, metode delphi, metode *best-worst*, dan metode SMART merupakan metode *subjective weighting*. Sedangkan yang merupakan *objective weighting* adalah metode *entropy* dan *criteria importance through intercriteria correlation* (CRITIC). Metode *scoring* yang umum digunakan pada permasalahan *engineering* adalah *fuzzy set theory*, AHP (*analytical hierarchy process*), PROMETHEE (*preference ranking organization method for enrichment evaluation*), dan TOPSIS (*technique for order preference by similarity to ideal solution*) (Velasquez & Hester, 2013). Salah satu metode *scoring* yang cukup banyak digunakan juga adalah VIKOR (Vlse Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje, dalam bahasa Serbian, yang memiliki makna *multicriteria optimization and compromise solution*) karena kemudahan dalam proses komputasi dan tingkat akurasi dari solusi yang dihasilkan (Chatterjee & Chakraborty, 2016).

Berdasarkan beberapa hal yang telah dijelaskan maka pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan model MCDM untuk pemilihan *mobile packer machine*. Kriteria di dalam pemilihan akan dibagi menjadi dua kategori yaitu finansial dan non-finansial. Kriteria finansial akan diwakili oleh TCO untuk setiap alternatif. Perhitungan TCO yang akan dilakukan menggunakan basis model yang terdapat pada penelitian Hanafi (2019). Pada penelitian ini akan sedikit melakukan penyesuaian terhadap model tersebut pada bagian *consequential cost*. Performa *mobile packer machine* yang berupa OEE akan diikutkan dalam analisis TCO berupa *consequential cost*. Untuk kriteria non-finansial yang akan digunakan pada penelitian ini adalah berat dari mesin dan durasi *setup* mesin sebagai indikator mobilisasi mesin.

Metode *weighting* yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode yang termasuk dalam kategori *objective weighting* yaitu metode CRITIC. Pemilihan metode CRITIC dikarenakan *interdependent* antar kriteria dapat terakomodasi di dalam perhitungan (Diakoulaki et al., 1995). *Interdependent* atau *intercorrelation* antar kriteria dapat menyebabkan hasil *ranking* alternatif menjadi

bias. Salah satu *fundamental problem* dari MCDM adalah adanya *conflict* antar kriteria. Jika terdapat kriteria yang berkorelasi atau bersifat linier maka akan mengurangi esensi dari metode MCDM. Kriteria yang cenderung berkorelasi akan memiliki bobot yang lebih rendah dibandingkan dengan bobot yang saling *conflict*. Sedangkan untuk metode *scoring* yang akan digunakan pada penelitian ini adalah VIKOR dan *comprehensive VIKOR*. Hasil dari keputusan pemilihan akan dianalisis lebih lanjut di dalam *comparative analysis*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan beberapa hal yang telah dijelaskan sebagai latar belakang, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana model evaluasi pemilihan *mobile cement packer machine* berdasarkan pertimbangan *total cost of ownership* dan juga pertimbangan lainnya menggunakan metode *multi-criteria decision making*.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu:

1. Mengembangkan kerangka model pemilihan teknologi mesin dengan fokus kepada merek-merek yang sudah dimiliki dengan acuan bahwa data ini menjadi referensi untuk melakukan analisis TCO. Termasuk di dalamnya adalah nilai minimum EUAC dan umur ekonomis.
2. Menentukan bobot (*weight*) untuk setiap kriteria.
3. Menentukan *ranking* alternatif *mobile packer machine* dari model *scoring* yang akan disusun.
4. Melakukan *comparative analysis* untuk hasil dari TCO, VIKOR, dan C-VIKOR serta melakukan analisis risiko keputusan pada metode MCDM.
5. Memberikan rekomendasi dalam hal *procurement* aktual, bagaimana cara mendapatkan informasi eksternal dari calon vendor untuk bisa memperoleh informasi terkait dengan profil TCO dan teknologi yang ditawarkan dan PT X belum memiliki pengalaman penggunaan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah daftar penelitian pada permasalahan pemilihan *mobile cement packer machine* dengan pendekatan *multi criteria decision making* yang sebelumnya sangat sulit untuk ditemukan.
2. Menjadi rekomendasi model pengambilan keputusan pada perusahaan semen yang akan melakukan pembelian mesin *packer* untuk penerapan *mobile cement packer machine*.

1.5 Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian yang terdiri dari batasan dan asumsi akan dijelaskan pada bagian berikut ini.

1.5.1 Batasan

Batasan pada penelitian ini adalah:

1. Model TCO yang digunakan merupakan model yang telah dikembangkan pada penelitian Hanafi (2019).
2. Data historis kerusakan dan operasional yang digunakan merupakan data dari tahun 2012 sampai 2019.
3. Alternatif yang akan dievaluasi pada penelitian adalah alternatif yang pernah atau sedang dioperasikan oleh PT X. Pada bagian akhir penelitian akan dijelaskan mengenai penyesuaian model jika alternatif baru juga dipertimbangkan.
4. Analisis jumlah yang dibutuhkan dan konfigurasi *mobile packer machine* tidak dilakukan pada penelitian ini.

1.5.2 Asumsi

Asumsi pada penelitian ini adalah:

1. *Discount rate* yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 9,5%.
2. Komponen biaya akan mengalami peningkatan karena inflasi pada *rate* sebesar 3,5%.
3. Tarif listrik pada 2020 sebesar Rp 1.007 / kWh dengan terjadi peningkatan 1% setiap tahun.

4. Perhitungan biaya akuisisi disesuaikan dari tahun akuisisi pada tahun 2011 dengan tingkat *wearing rate* pada semua alternatif sebesar 1,5%.
5. *Consequential rate* didapatkan dari harga satu sak bungkus semen dikalikan dengan kapasitas produksi (sak semen) selama setahun.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini disusun menjadi enam bagian. Konten dari setiap bagian akan dijelaskan pada masing-masing bagian berikut.

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan secara detail mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang menjadi landasan di dalam penelitian ini. Teori-teori yang akan dijelaskan pada bagian ini bersumber dari buku, artikel, *annual report* perusahaan, atau sumber lainnya yang isinya dapat dipertanggungjawabkan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini akan ditampilkan rencana alur pengerjaan penelitian dan akan dijelaskan secara detail dan komprehensif.

BAB 4 PENGEMBANGAN MODEL PEMILIHAN MOBILE PACKER MACHINE DENGAN MENGGUNAKAN MEREK PACKER EXISTING

Bab ini akan berisi mengenai penjelasan permasalahan pemilihan *mobile packer machine*, mekanisme perhitungan *total cost of ownership*, perhitungan bobot kriteria, perhitungan *scoring*, dan pemilihan alternatif terbaik.

BAB 5 EVALUASI PEMILIHAN MOBILE PACKER MACHINE DENGAN MENGGUNAKAN MEREK PACKER EXISTING

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai implementasi model pemilihan *mobile packer machine*. Hasil keputusan akan dianalisis lebih lanjut dengan menambahkan faktor *uncertainty*.

BAB 6 PANDUAN IMPLEMENTASI MODEL PEMILIHAN

Model pemilihan pada penelitian ini dapat diterapkan dalam dunia praktis. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai penerapan model evaluasi pemilihan *mobile packer machine* pada tahap *procurement* mesin.

BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan dari penelitian dan saran yang dapat diberikan untuk penerapan atau pengembangan penelitian terkait.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang relevan untuk menunjang pengerjaan penelitian. Teori yang akan dijelaskan pada bab ini adalah *life cycle cost* atau *total cost of ownership*, *reliability*, ekonomi teknik, *multi-criteria decision making*, VIKOR (*Multicriteria Optimization and Compromise Solution*), *comprehensive VIKOR*, CRITIC (*Criteria Importance Through Inter-Criteria Correlation*), simulasi *monte carlo* dan posisi penelitian.

2.1 Life Cycle Cost atau Total Cost of Ownership

Life cycle cost adalah sebuah metode yang penting untuk mengevaluasi *total cost of ownership* di antara beberapa pilihan (Ellis, 2007). Metode ini dapat membantu *designer*, manajer, *engineer*, dan kontraktor untuk mengevaluasi *total cost* dari sebuah proyek atau pun kepemilikan aset. Metode ini akan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai biaya yang akan dikeluarkan di dalam evaluasi alternatif jika dibandingkan dengan mempertimbangkan biaya *acquisition* saja.

Durairaj et al. (2002) melakukan analisis perbandingan mengenai konsep LCC yang ada. Menurut Fabricky dan Blanchard (1991) metode LCC yang dikembangkan pada penelitiannya memiliki keunggulan dari *cost break-down structure*. Secara umum *total cost* akan di-*break down* menjadi empat kategori yaitu:

- Biaya *research* dan *development*
- Biaya produksi dan konstruksi
- Biaya operasi dan *maintenance*
- Biaya *retirement* dan *disposal*

Break-down dari biaya yang termasuk dalam LCC sendiri bervariasi antara *equipment*, aset, atau pun proyek yang berbeda. Pada Tabel 2.1 terdapat biaya-biaya yang dapat diikutkan dalam perhitungan LCC (Society of Automotive Engineers, 1993).

Tabel 2.1 Komponen *Life Cycle Cost*

Komponen Biaya	Sub-Komponen Biaya
<i>Acquisition Cost</i>	Biaya pembelian
	Biaya administrasi
	Biaya Instalasi
	Biaya Transportasi
<i>Operating Cost</i>	Biaya <i>direct labor</i>
	Biaya <i>utilities</i>
	Biaya <i>consumable</i>
	Biaya <i>lost production</i>
<i>Scheduled Maintenance Cost</i>	Biaya material dan pekerja
	Biaya penjadwalan <i>preventive maintenance</i>
	Biaya perbaikan
<i>Unscheduled Maintenance Cost</i>	Biaya material dan pekerja
	Biaya <i>unscheduled breakdown</i>
<i>Decommission Cost</i>	Biaya <i>conversion</i>
	Biaya sisa
	Biaya <i>decommission</i>

Sumber: (Society of Automotive Engineers, 1993)

SAE (1993) menambahkan bahwa model LCC bervariasi pada *event*, waktu, dan kondisi yang berbeda. Beberapa komponen biaya bersifat *stochastic* dan tidak *deterministic*. Hal itu diperlukan analisis yang lebih kompleks namun akan lebih akurat untuk menggambarkan kondisi sesungguhnya.

Terdapat tiga jenis implementasi TCO berdasarkan kapan konsep tersebut diterapkan, yaitu skenario *predictive*, *explorative*, dan *normative* (Roda & Garreti, 2014).

1. Skenario *predictive* merupakan penerapan TCO yang dilakukan pada tahap awal akuisisi aset. Analisis yang dilakukan merupakan *predictive* TCO dan bersifat bias juga memiliki kecenderungan untuk *error* di dalam implementasinya.
2. *Explorative* merupakan penerapan TCO pada masa *operational* aset. Implementasi pada tahap ini bertujuan untuk melakukan pembaruan data dan perhitungan TCO. Umur dan nilai ekonomis yang telah dihitung pada tahap sebelumnya memiliki kemungkinan untuk berubah dengan adanya

data yang merepresentasikan kejadian sesungguhnya. Data yang telah diperbarui juga dapat dimanfaatkan pada *procurement decision making*.

3. Skenario *normative* merupakan implementasi TCO pada tahap analisis penggantian atau *replacement analysis*. Informasi yang diberikan dari perhitungan TCO pada tahap ini dapat digunakan untuk menganalisis apakah suatu aset perlu dilakukan penggantian atau tetap dioperasikan dengan penambahan beberapa tahun operasi. Hasil TCO pada tahap ini juga dapat dimanfaatkan untuk evaluasi pemilihan aset dengan merek yang berbeda dengan data yang telah merepresentasikan hampir setiap tahap dari sebuah aset.

TCO dapat diimplentasikan pada berbagai macam perspektif *stakeholder*, dari segi *asset user* atau pun *asset manufacturer* (Roda & Garetti, 2014). *Asset user* dapat menggunakan pendekatan TCO untuk mengevaluasi alternatif mesin yang tersedia. Biaya akuisi tidak lagi menjadi pertimbangan satu-satunya di dalam pemilihan mesin. Biaya *post-acquisition* juga akan dilibatkan sebagai pertimbangan di dalam pemilihan mesin. Dengan memilih alternatif paling ekonomis maka *asset user* akan mampu meminimasi biaya untuk memiliki mesin tersebut dan akan berdampak pada tingkat pengembalian bisnis. *Asset provider* akan menjadikan analisis TCO sebagai informasi bagaimana produk yang dihasilkan bekerja dipandang dari segi biaya. Informasi yang diberikan mampu untuk membantu perusahaan melakukan konfigurasi desain mesin sehingga memiliki nilai yang ekonomis dibandingkan dengan yang lain. *Asset provider* yang memiliki analisis TCO untuk produk yang ditawarkan memiliki nilai tambah di pandangan *asset user* karena terdapat jaminan nilai ekonomis yang bisa dipegang ketika saat akuisisi aset. Namun keberhasilan implementasi TCO bergantung dengan bagaimana perusahaan menyusun *cost component* sehingga mampu memberikan gambaran penuh atas biaya kepemilikan.

2.2 Reliability

Reliability merupakan probabilitas sebuah komponen atau sistem akan bekerja sesuai fungsinya dalam rentang waktu selama digunakan (Elsayed, 2012).

Ketidakmampuan komponen atau sistem untuk tidak bekerja sesuai fungsinya didefinisikan sebagai *failure*. Dikarenakan fungsi yang beragam maka definisi *failure* setiap komponen atau sistem bergantung kepada fungsi yang dijalankan. Menurut Dhillon (2010) *reliability* adalah probabilitas sebuah sistem berjalan dengan normal pada durasi waktu yang diinginkan.

2.2.1 Fungsi Reliability

Peluang yang merepresentasikan *reliability* sebuah komponen atau sistem dapat digambarkan dalam model matematis sebagai berikut.

$$R(t) = \Pr\{T \geq t\} \tag{1}$$

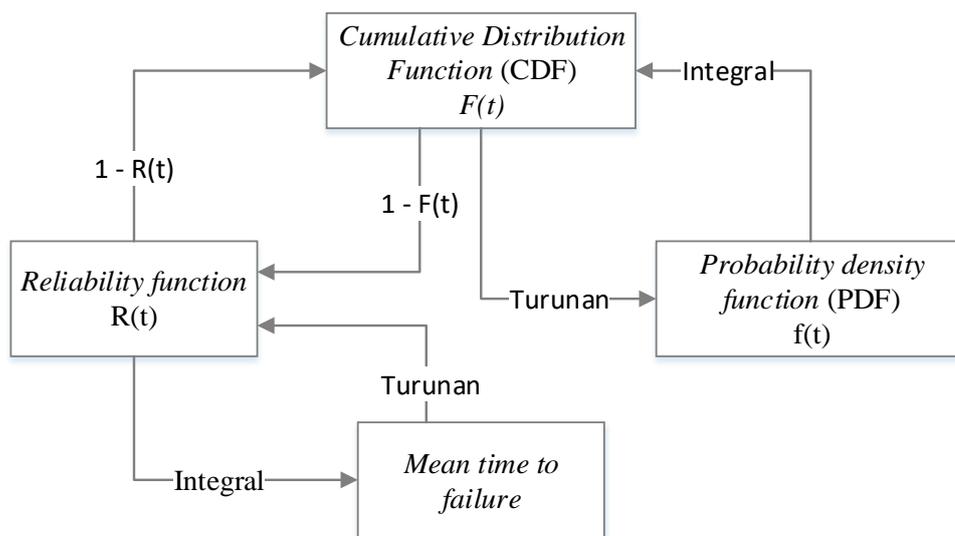
pada $R(t) \geq 0, R(0) = 1$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$

Hubungan *reliability* dengan *failure* dapat dilihat pada Persamaan 2. *Failure* digambarkan dalam *cumulative distribution function* (CDF).

$$F(t) = 1 - R(t) = \Pr\{T < t\} \tag{2}$$

pada $F(0) = 0$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$

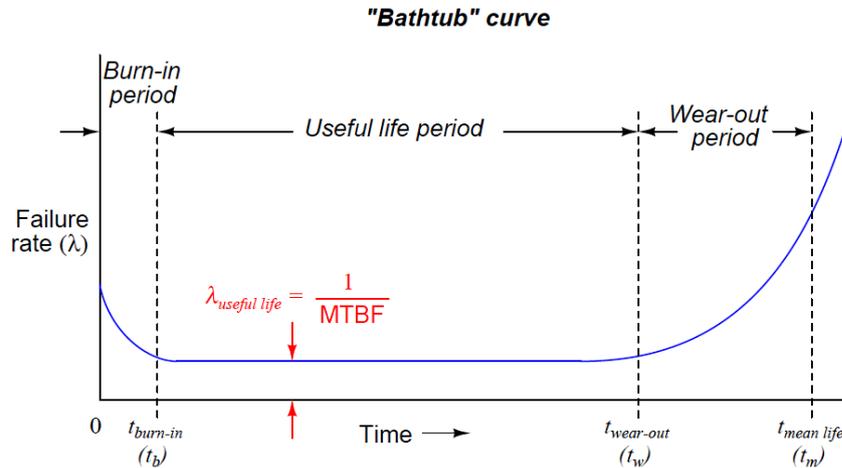
Menurut Ebiling (1997) fungsi *reliability* dapat digunakan untuk mencari nilai *failure rate*, untuk *density function* dan *cummulative function*, dan *mean time to failure*. Hubungan setiap fungsi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema Fungsi Reliability (Ebiling, 1997)

2.2.2 Bath-Tub Curve

Konsep *bath-tub curve* adalah representasi dari fungsi *hazard rate*. Perubahan nilai *hazard rate* bergantung pada titik masa hidup sebuah komponen atau sistem. Konsep tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram *Bath-Tub Curve* (Ebiling, 1997)

Kondisi pada setiap *stage* dari *bath-tub curve* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Penjelasan dari *Bath-Tub Curve*

Stage	Karakteristik	Penyebab	Tindakan
<i>Burn-in</i>	Penurunan <i>failure rate</i>	<i>Defect</i> dari <i>manufacturer</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Quality control</i> • <i>Burn in testing</i> • <i>Screening</i> • <i>Acceptance Testing</i>
<i>Useful Life</i>	Konstan <i>failure rate</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Faktor lingkungan • <i>Human error</i> • Peluang 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Redundancy</i> • <i>Excess strength</i>
<i>Wear-out</i>	Peningkatan <i>failure rate</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Fatigue</i> • Umur • <i>Cyclical loading</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Derating</i> • <i>Preventive maintenance</i> • <i>Penggantian part</i>

Sumber: (Ebiling, 1997)

2.3 Maintainability

Maintainability merupakan probabilitas sebuah komponen atau *equipment* diperbaiki hingga kondisi tertentu dalam jangka waktu *maintenance* dilakukan sesuai dengan prosedur tertentu (Ebiling, 1997). *Maintenance* bertujuan untuk merestorasi kondisi dari sebuah komponen atau *equipment* pada *reliability level* tertentu atau setinggi mungkin. Pada dasarnya proses *maintenance* tidak akan bisa merestorasi hingga kondisi komponen atau *equipment* seperti keadaan baru kecuali dilakukan penggantian pada sebagian komponen atau keseluruhan *equipment*. Dalam *maintenance* terdapat beberapa jenis pendekatan yang banyak diterapkan di perusahaan. Berikut merupakan penjelasan dari beberapa pendekatan *maintenance*.

Tabel 2.3 Beberapa Jenis *Maintenance*

<i>Maintenance Approach</i>	Penjelasan
<i>Corrective Maintenance</i>	<i>Corrective maintenance</i> (CM) merupakan <i>failure-based maintenance</i> dimana ini terjadi ketika terjadi kerusakan pada mesin. Kejadian ini tidak dapat dihindari karena sifat kerusakan merupakan <i>random</i> . Biaya yang dikeluarkan pada proses <i>corrective maintenance</i> tergantung dengan komponen yang mengalami kerusakan dan operasi perbaikan yang dilakukan.
<i>Preventive Maintenance</i>	<i>Preventive maintenance</i> (PM) merupakan kegiatan yang dijadwalkan dengan tujuan untuk meningkatkan <i>equipment life</i> dengan mencegah depresiasi dan penurunan fungsi berlebih. Jenis pendekatan ini dilakukan sebagai upaya mengurangi kemungkinan <i>breakdown</i> yang dapat mengganggu sistem produksi.
<i>Predictive Maintenance</i>	<i>Predictive maintenance</i> (PdM) merupakan jenis pendekatan yang dirancang untuk mendeteksi degradasi fungsi dan memberikan tanda apabila masalah teridentifikasi. PdM mampu memprediksi kerusakan sebelum terjadi dan mengeliminasi <i>root cause</i> agar kerusakan yang lebih parah tidak terjadi sehingga menyebabkan <i>breakdown</i> .

Sumber: (Velmurugan & Dhingra, 2015)

2.4 Ekonomi Teknik

Ekonomi teknik merupakan sebuah studi tentang keuangan yang digunakan oleh *engineer* di dalam mengambil sebuah keputusan (Sullivan et al., 2015). Sisi keuangan di dalam *engineering* sangat penting untuk diperhatikan guna mengarahkan keputusan yang akan diambil menjadi *profitable*. Beberapa

teori yang akan digunakan di dalam penelitian ini adalah *annual worth* dan *replacement analysis*.

2.4.1 Annual Worth

Annual worth (AW) dari sebuah proyek atau aset adalah nilai tahunan dalam bentuk mata uang, dalam jangka waktu tertentu, yang *equivalent* dengan *cash inflow* dan *cash outflow* pada *interest rate* yang ditetapkan (Sullivan et al., 2015). Metode ini merupakan salah satu teori yang dikembangkan di dalam ilmu ekonomi teknik. Nilai AW adalah nilai ekuivalen *revenues* tahunan atau *savings* (R) dikurangi dengan nilai ekuivalen *expenses* (E) tahunan dikurangi lagi dengan nilai ekuivalen *capital recovery* (CR) yang dapat dalam Persamaan 4. Nilai ekuivalen dari R, E, dan CR dikomputasi pada durasi N, biasanya dalam satuan tahun. Pada persamaan berikut nilai AW, yang merupakan fungsi dari *i%*, dapat dihitung.

$$AW(i\%) = R - E - CR(i\%) \quad (3)$$

$$CR(i\%) = I \left(\frac{A}{P}, i\%, N \right) - \left(S \left(\frac{A}{F}, i\%, N \right) \right) \quad (4)$$

Keterangan:

- I = nilai investasi awal dari sebuah aset
- S = *salvage value* pada akhir masa sebuah aset
- N = durasi masa aset

Pada Persamaan 3 salah satu nilai yang diperhitungkan adalah *revenues*. Ketika nilai tersebut tidak diperhitungkan maka terdapat *metric* lain yang dapat digunakan yaitu EUAC (*equivalent uniform annual cost*). Semakin rendah nilai EUAC, yang merupakan fungsi dari *i%*, maka semakin baik. Dengan kata lain nilai EUAC yang lebih rendah lebih baik dari nilai EUAC tinggi. Perhitungan EUAC dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$A = F \left(\frac{A}{F}, I\%, N \right) \quad (5)$$

atau

$$A = P \left(\frac{A}{P}, I\%, N \right) \quad (6)$$

2.4.2 Konsep Replacement Analysis

Mesin yang telah digunakan dalam jangka panjang akan menyebabkan nilai ekonomisnya berubah. Setiap mesin pasti memiliki keterbatasan masa pakai yang berbeda-beda (Pujawan, 2008). Maka dari itu organisasi atau perusahaan harus melakukan evaluasi apakah mesin tersebut perlu diganti atau tetap dioperasikan. Kebutuhan untuk evaluasi penggantian aset menurut Sullivan et al. (2015) secara umum disebabkan oleh tiga hal berikut:

1. *Physical Impairment (Deterioration)*

Perubahan ini terjadi pada kondisi fisik sebuah aset. Umumnya penggunaan secara terus menerus akan menyebabkan efisiensi aset menurun. Biaya untuk perbaikan berkala dan *breakdown repair* akan meningkat, penggunaan energi semakin besar, waktu yang dibutuhkan *operator* di dalam melaksanakan tugasnya semakin lama, dan sebagainya. Atau akan ada kondisi di mana terjadi kecelakaan kerja yang akan mempengaruhi kondisi fisik dan juga nilai ekonomis kepemilikan aset.

2. *Altered Requirements*

Aset kapital digunakan untuk produksi barang dan jasa yang dibutuhkan oleh manusia. Ketika *demand* untuk barang dan jasa meningkat atau menurun mau pun terjadi perubahan pada desain dari barang dan jasa tersebut maka nilai ekonomis aset yang berkaitan akan terpengaruh.

3. *Technology*

Perubahan dari teknologi yang semakin cepat memberikan dampak yang berbeda untuk berbagai macam aset. Seperti contoh, efisiensi dari peralatan konstruksi terkena dampak yang lebih sedikit dibandingkan dengan peralatan otomasi pada perusahaan manufaktur. Analisis penggantian aset akan menjadi lebih sering karena aset dengan teknologi baru tersedia semakin cepat.

Di dalam studi mengenai *replacement analysis* terdapat perbedaan antara berbagai macam umur aset yaitu sebagai berikut.

1. *Economic Life*

Economic life atau umur ekonomis adalah masa waktu, dalam satuan tahun, yang memiliki nilai minimum *equivalent uniform annual cost* (EUAC) selama masa kepemilikan dan operasi aset.

2. *Ownership Life*

Ownership life adalah masa kepemilikan dari tanggal pembelian aset, fase *acquisition*, dan tanggal dari pembuangan aset, fase *disposal*.

3. *Physical Life*

Physical life adalah masa waktu antara awal aset dibeli dan akhir masa dari aset setelah menjadi milik beberapa *owner*.

4. *Useful Life*

Useful life adalah masa waktu sebuah aset berada dalam masa produktif atau dengan kata lain durasi sebuah aset di dalam melakukan fungsinya.

2.5 Overall Equipment Effectiveness

Overall equipment effectiveness merupakan metode pengukuran kuantifikasi yang cukup berkembang dan digunakan pada perusahaan manufaktur untuk memantau dan mengontrol produktivitas dari *equipment* produksi (Singh et al., 2018). Pengukuran OEE berupa persentase produktivitas (aktual) terhadap *design capacity*. Berikut merupakan kriteria yang digunakan di dalam perhitungan OEE.

Tabel 2.4 Parameter Pengukuran OEE

Aspek Performa	Relating Losses	Rumus Perhitungan (%)
Availability	<ul style="list-style-type: none">• <i>Breakdown losses</i>	$A = \frac{\text{Waktu operasi}}{\text{Planned Production Time}}$
Performance Efficiency	<ul style="list-style-type: none">• <i>Idle</i>• Pengurangan kecepatan produksi	$P = \frac{(\text{Total produksi/waktu operasi})}{\text{Ideal runtime}}$
Quality Rate	<ul style="list-style-type: none">• <i>Defect</i>• <i>Rework</i>	$Q = \frac{\text{Output} - \text{reject}}{\text{Output}}$

Sumber: (Singh et al., 2018)

2.6 Multi-Criteria Decision Making

Multi-criteria decision making (MCDM) adalah sebuah metode untuk mengevaluasi beberapa alternatif berdasarkan beberapa kriteria yang penting terhadap *decision maker*. Kriteria tersebut bisa berupa aspek ekonomis maupun non-ekonomis, bersifat *technical*. MCDM mengutilisasi *decision matrix* yang berisi *rating* dari beberapa alternatif berdasarkan kriteria yang ditetapkan (Triantaphyllou, 2000). Beberapa metode yang digunakan pada banyak penelitian untuk mengintegrasikan beberapa kriteria yaitu *Simple Additive Weighting* (SAW), *Multiplicative Exponential Weighting* (MEW), dan *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

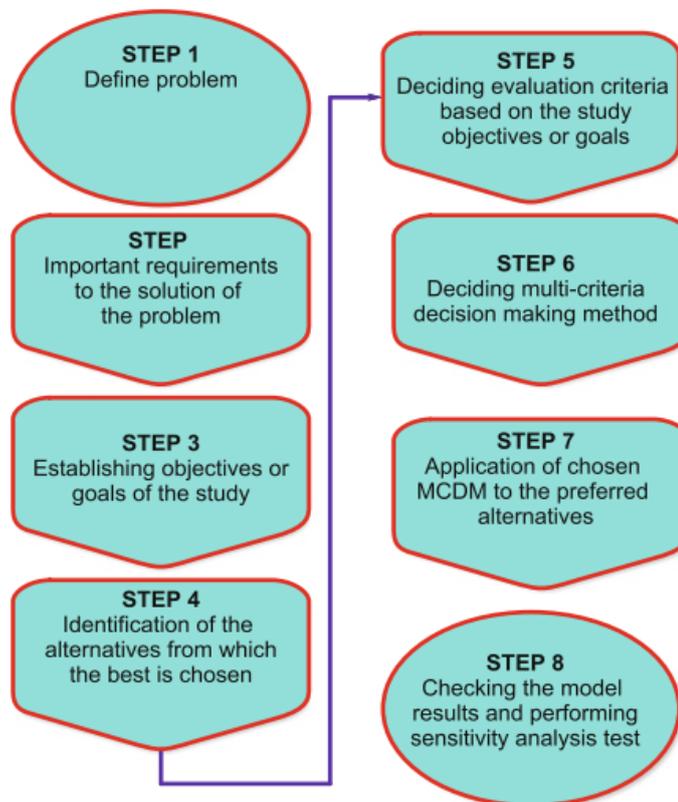
MCDM dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu *multi-objective decision making* (MODM) dan *multi-attribute decision making* (MADM) (Singh, 2014). MODM digunakan apabila pilihan alternatif berjumlah tak hingga dan pilihan terbaik dipilih berdasarkan yang paling memuaskan di dalam memenuhi konstrain dan prioritas dari *decision maker*. Sedangkan MADM diterapkan apabila alternatif terbatas. MADM metode untuk menyelesaikan permasalahan dengan *decision space* yang diskrit (Triantaphyllou, 2000). *Term* MADM dan MCDM digunakan untuk kategori metode yang sama.

Secara umum proses pengambilan keputusan pada MCDM dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Zardari et al., 2015). Pada tahap pertama permasalahan yang ada didefinisikan. Kemudian diidentifikasi kebutuhan penting untuk solusi dari permasalahan. Pada tahap ketiga tujuan dari permasalahan *multi-criteria* ditentukan. Alternatif yang memungkinkan untuk menjadi alternatif terbaik ditetapkan pada tahap keempat. Pada tahap kelima proses pengambilan keputusan dilakukan penetapan kriteria. Tahap keenam merupakan tahap yang cukup penting di mana terdapat proses pemilihan metode MCDM yang akan digunakan untuk mengevaluasi alternatif berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan. Kemudian evaluasi tersebut dilakukan pada tahap ketujuh. Dan pada tahap terakhir dilakukan analisis hasil dan analisis sensitivitas. Proses pengambilan keputusan umumnya mengikuti alur yang ada pada Gambar 2.3 namun tidak menutup kemungkinan akan kembali pada tahap sebelum-sebelumnya apabila ada informasi baru yang

tersedia. Yoe (2002) menjelaskan mengenai tahapan dari pengambilan keputusan yaitu sebagai berikut.

1. Merumuskan permasalahan *multi-criteria* dan *objectives* secara jelas.
2. Membuat *list* dan menjelaskan alternatif yang tersedia untuk memenuhi tujuan yang telah didefinisikan.
3. Mendefinisikan *criteria* atau *attribute* atau *performance indicator* untuk mengukur *performance* dari setiap alternatif.
4. Melakukan pengumpulan data dan evaluasi *criteria*.
5. Merumuskan *decision matrix* yang berdimensi sesuai jumlah alternatif dan jumlah kriteria.
6. Melakukan *weighting* untuk setiap kriteria menggunakan *subjective weighting* ataupun *objective weighting*.
7. Melakukan *scoring* dan menyusun *ranking* dari alternatif.

Decision makers membuat keputusan mengenai hasil dari model MCDM.



Gambar 2.3 Proses Pengambilan Keputusan pada MCDM (Zardari et al., 2015)

MCDM dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu *unique synthesis criterion*, *outranking synthesis*, dan *interactive local judgement* yang dapat dilihat pada Gambar 2.4 (Roy, 1996). Berikut merupakan penjelasan dari ketiga kategori tersebut.

1. *Unique Synthesis Criterion*

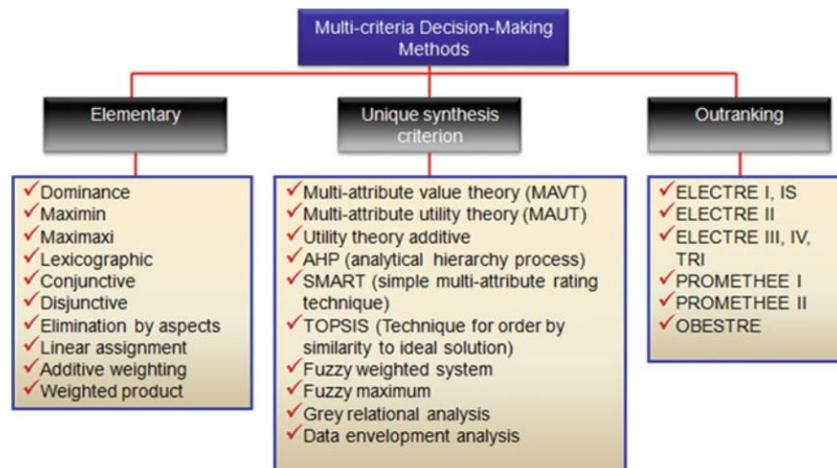
Pada pendekatan ini dilakukan *aggregating* beberapa *point of view* yang berbeda menjadi sebuah *unique function* yang nantinya akan dioptimalkan. Seperti contoh MAUT (*Multi Attribute Utility Theory*; Keeney & Raiffa, 1976), SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*; Edwards, 1977), dan AHP (*Analytical Hierarchy Process*; Saaty, 1987).

2. *O outranking Synthesis Approach*

Pada pendekatan ini dikembangkan hubungan komparatif atau biasa disebut *outranking relationship*. Hubungan ini merepresentasikan preferensi dari *decision maker* untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi. Metode yang termasuk pada kategori ini adalah ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Algorithm*; Vincke, 1992) dan PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*; Brans & Vincke, 1985).

3. *Interactive Local Judgement Approach*

Pada metode ini dilakukan perhitungan, memberikan *compromising solution* yang berurutan, dan tahap-tahap dialog yang mengarahkan pada kebutuhan informasi tambahan informasi pada preferensi *decision maker* (Vincke, 1992).



Gambar 2.4 Klasifikasi dari Metode MCDM (Zardari et al., 2015)

Berikut merupakan beberapa metode yang ada di dalam kategori MCDM yang umum digunakan (Gayatri, 2013).

1. *Simple Additive Weighing (SAW)*

Metode ini merupakan yang paling umum digunakan di dalam MCDM karena merupakan salah satu metode yang paling sederhana. Penilaian dari setiap alternatif didapatkan dari hasil pertimbangan setiap kriteria. Pembobotan dilakukan dan diberikan untuk setiap kriteria yang memiliki jumlah sama dengan satu. SAW merupakan metode yang tepat untuk permasalahan satu dimensi dan akan cukup rumit penerapannya untuk permasalahan *multi*-dimensi.

2. *Weighted Product Method (WPM)*

WPM merupakan pengembangan metode SAW. Perbedaannya terletak pada adanya operasi perkalian pada metode WPM. Alternatif dibandingkan dengan perkalian dengan rasio dari setiap kriteria. Kelebihan dari metode ini adalah mengeliminasi satuan pada setiap kriteria sehingga dapat digunakan untuk permasalahan *multi*-dimensi. Nilai relatif dapat digunakan untuk mengganti nilai yang telah dihilangkan satuannya.

3. *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

Metode AHP merupakan yang paling umum digunakan pada situasi permasalahan pengambilan keputusan yang kompleks. Permasalahan

pengambilan keputusan diurai menjadi hirarki yang meliputi *objective*, *criteria*, dan *alternatives*. Metode ini sesuai untuk permasalahan *multi-criteria* dan *group decision matrix*. AHP memiliki beberapa kelebihan yaitu tidak melibatkan perhitungan matematis yang kompleks, cukup mudah untuk dilaksanakan, dan sedikit *allowance* untuk *inconsistency*. Di sisi lain AHP memiliki beberapa kekurangan yaitu membutuhkan waktu yang lama untuk permasalahan yang memiliki lingkup luas dan faktor ketidakpastian tidak dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan.

4. *Technique for Order Preference by Similarity to Identical Solution* (TOPSIS)

Konsep dasar pada TOPSIS adalah perhitungan jarak. Alternatif yang terpilih didapatkan dari alternatif yang memiliki jarak terdekat dari *ideal solution* dan terjauh dari *negative ideal solution*. Satu kelebihan pada metode ini adalah penggunaan jarak merupakan konsep yang adil untuk dijadikan konsep dasar metode TOPSIS. Kekurangan metode ini adalah tidak mempertimbangkan *uncertainty* di dalam proses pembobotan kriteria.

5. *Multicriteria Optimization and Compromise Solution* (VIKOR)

Metode ini muncul untuk membantu *decision maker* ketika terdapat kesulitan di dalam memilih preferensi terhadap alternatif. Kelebihan dari metode ini adalah menghasilkan *compromise solution* berdasarkan perhitungan solusi positif dan negatif. Bagaimana pun metode ini memiliki kekurangan yaitu perhitungan *rating performance* dikonversi menjadi *crisp value* sehingga *decision maker* perlu mempertimbangkan data yang ambigu ketika terdapat situasi yang bertentangan.

6. *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE)

Metode ini dapat membantu di dalam proses pengambilan keputusan berdasarkan beberapa kriteria di antara banyak alternatif. Metode ini memiliki kelebihan di dalam menghindari *trade-off*, memperkuat hubungan dominasi, dan membutuhkan *input* yang relatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan metode lain. Kelemahan pada metode ini adalah

cukup rumitnya proses generalisasi kriteria sehingga untuk pengambil keputusan yang cukup awam terhadap metode ini akan kesulitan.

Proses *weighting criteria* dibagi menjadi dua yaitu *subjective weighting* dan *objective weighting* (Zardari et al., 2015). Metode *weighting* yang umum digunakan yang termasuk pada *subjective weighting* adalah *pairwise comparison*, metode delphi, SMART (*Simple Multi-Attribute Ranking Technique*), dan metode *best-worst*. Sedangkan yang termasuk ke dalam *objective weighting* adalah *standard deviation*, metode *entropy*, dan CRITIC (*Criteria Importance Through Inter-Criteria Correlation*).

2.7 Multicriteria Optimization and Compromise Solution (VIKOR)

VIKOR merupakan metode yang dikenalkan oleh Opricovic (1998) dan dapat dikatakan bahwa ini merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam proses penyelesaian masalah (Stirbanovic et al., 2019). VIKOR memiliki arti *multi criteria optimization* dan *compromise solution*. Ide dasar dari metode VIKOR adalah solusi ideal dan solusi kompromi. Alternatif terbaik ditentukan berdasarkan *overall ranking* indeks Q_i , yang nilainya didapatkan dari persamaan berikut.

$$Q_i = v \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (7)$$

Keterangan:

S_i = *average group score* dari alternatif i yang didapatkan dari Persamaan 8

R_i = *worst group score* dari alternatif i yang didapatkan dari Persamaan 9

S^* = $\min_i S_i$

S^- = $\max_i S_i$

R^* = $\min_i R_i$

R^- = $\max_i R_i$

v = strategi dari *maximum group utility*

$$S_i = \sum_{j=1}^M w_j \frac{[(f_{ij})_{max} - f_{ij}]}{[(f_{ij})_{max} - (f_{ij})_{min}]} \quad (8)$$

$$R_i = \text{Max}\{w_j [(f_{ij})_{max} - f_{ij}] / [(f_{ij})_{max} - (f_{ij})_{min}]\} \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (9)$$

Keterangan:

M = jumlah kriteria

N = jumlah alternatif

w_j = *weight* dari kriteria ke- j

f_{ij} = nilai dari alternatif ke- i pada kriteria ke- j

Untuk kriteria yang bersifat *beneficial*, selalu membutuhkan nilai f_{ij} yang lebih tinggi, Persamaan 5 dapat digunakan (Chatterjee & Chakraborty, 2016). Akan tetapi untuk kriteria yang bersifat *non-beneficial* jika nilai f_{ij} semakin kecil maka semakin baik, *term* $[(f_{ij})_{max} - f_{ij}]$ pada Persamaan 7 dapat diubah menjadi $[f_{ij} - (f_{ij})_{min}]$. Maka untuk kriteria *non-beneficial* Persamaan 7 dapat diformulasi ulang menjadi:

$$S_i = \sum_{j=1}^M (w_j [f_{ij} - (f_{ij})_{min}] / [(f_{ij})_{max} - (f_{ij})_{min}]) \quad (10)$$

Setelah nilai S , R , dan Q telah dihitung untuk setiap alternatif maka susun *ranking* alternatif dari nilai terendah berdasarkan tiga nilai tersebut. Akan ada tiga *list ranking* yang dihasilkan. Pada *ranking* yang dihasilkan oleh nilai Q , alternatif a' (alternatif dengan nilai Q terendah) merupakan *compromise solution* apabila dua kondisi berikut terpenuhi:

- C1 : 'Acceptable advantage'

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (11)$$

Keterangan:

a'' = alternatif kedua yang ada pada *ranking list*

DQ = $1/(N - 1)$

- C2 : ‘Acceptable stability in decision making’

Alternatif a' harus menjadi alternatif terbaik pada *ranking list* yang dihasilkan dari nilai S atau/dan R .

Jika ada kondisi yang tidak terpenuhi maka *set of compromise solution* diusulkan seperti berikut:

- Alternatif a' dan a'' jika hanya kondisi C2 yang tidak terpenuhi.
- Alternatif $a', a'', \dots, a^{(N)}$ jika kondisi C1 yang tidak terpenuhi dan $a^{(N)}$ didapatkan dari persamaan $Q(a^{(N)}) - Q(a') < DQ$ untuk maksimum nilai N .

2.8 Comprehensive VIKOR

Comprehensive VIKOR merupakan pengembangan dari metode tradisional VIKOR yang diusulkan oleh Jahan et al. (2011). Permasalahan utama di dalam VIKOR yang dijelaskan oleh Huang et al. (2009) adalah kesalahan *ranking* yang dihasilkan karena proses normalisasi pada model matematis yang dikembangkan. Pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa di dalam menyelesaikan permasalahan sederhana metode tradisional VIKOR gagal untuk menentukan *ranking* yang seharusnya sejalan dengan *utility level* pada proses perhitungan. Tahapan dari metode yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Setelah proses pendefinisian kriteria dan bobotnya maka proses pemodelan metode VIKOR dimulai. Berikut merupakan penjelasan dari tahapan-tahapan yang tertera pada Gambar 2.3.

- Penentuan *desireable value* untuk semua kriteria.

$$T = \{T_1, T_2, T_j, \dots, T_n\} \quad (12)$$

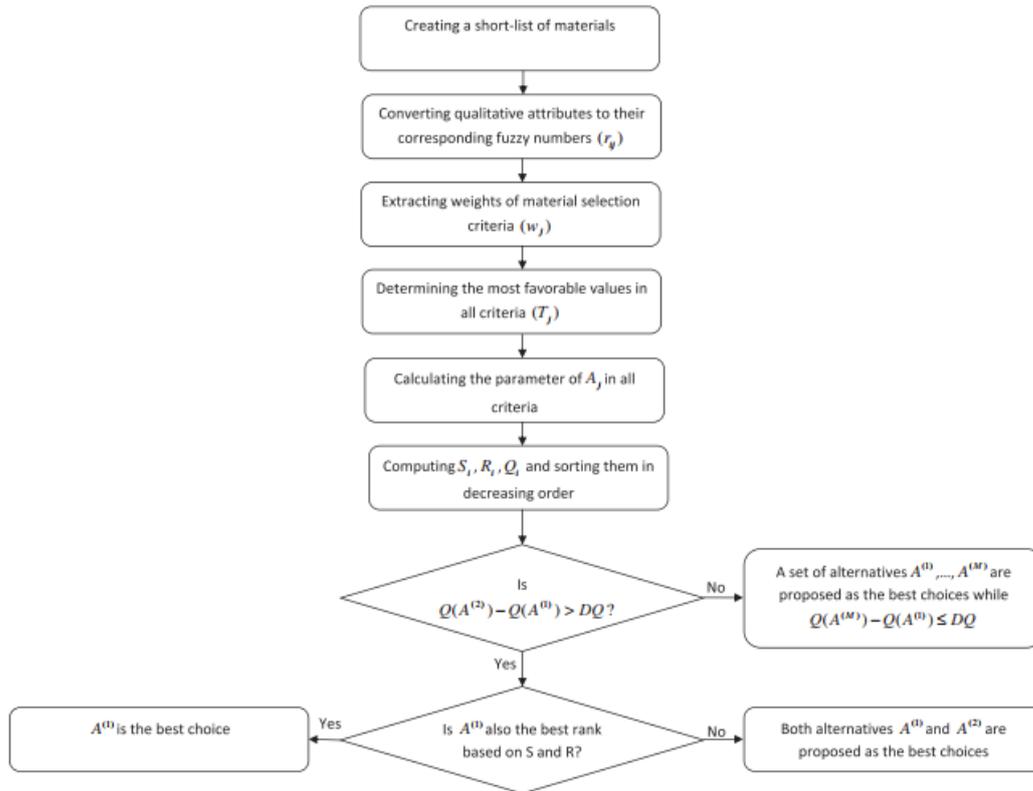
$$= \{\text{nilai desirable element } (r_{ij}) \text{ atau target value untuk kriteria } j\}$$

Keterangan:

r_{ij} = elemen dari *decision matrix* (alternatif ke- i dan kriteria ke- j)

- Perhitungan nilai S_i .

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \left(1 - e^{-\frac{|r_{ij}-T_j|}{A_j}} \right) \quad (13)$$



Gambar 2.5 Flowchart dari Comprehensive VIKOR (Jahan et al., 2011)

- Perhitungan nilai R_i .

$$R_i = \max_j \left[w_j \left(1 - e^{-\frac{|r_{ij} - T_j|}{A_j}} \right) \right] \quad (14)$$

Keterangan:

$$A_j = \begin{cases} 1, & \text{jika elemen dari kriteria nilai normalisasi dari 0 sampai 1} \\ \max\{r_j^{max}, T_j\} - \min\{r_j^{min}, T_j\} & \end{cases}$$

r_j^{max} = nilai maksimum elemen pada kriteria j

r_j^{min} = nilai minimum elemen pada kriteria j

w_j = bobot untuk kriteria j

- Perhitungan nilai indeks Q_i .

$$Q_i = \begin{cases} \left[\frac{R_i - R^-}{R^+ - R^-} \right] & \text{jika } S^+ = S^- \\ \left[\frac{S_i - S^-}{S^+ - S^-} \right] & \text{jika } R^+ = R^- \\ \left[\frac{S_i - S^-}{S^+ - S^-} \right] v + \left[\frac{R_i - R^-}{R^+ - R^-} \right] (1 - v) & \end{cases} \quad (15)$$

Keterangan:

$$S^- = \min(S_i)$$

$$S^+ = \max(S_i)$$

$$R^- = \min(R_i)$$

$$R^+ = \max(R_i)$$

- Penyusunan tiga *ranking list* dengan parameter nilai S , R , dan Q dengan dimulai dari nilai terendah.
- Pengusulan *compromise solution* alternatif A' yang merupakan alternatif terbaik pada *ranking list* Q jika dua kondisi di bawah ini terpenuhi:

1. *Acceptable advantage*

$$Q(A'') - Q(A') \geq DQ \quad (16)$$

Keterangan:

$$A'' = \text{alternatif kedua yang ada pada } \textit{ranking list}$$

$$DQ = 1/(N - 1)$$

2. *Acceptable stability in decision making*

Alternatif A' harus menjadi alternatif terbaik pada *ranking list* yang dihasilkan dari nilai S atau/dan R .

Jika ada kondisi yang tidak terpenuhi maka *set of compromise solution* diusulkan seperti berikut:

- Alternatif A' dan A'' jika hanya kondisi 2 yang tidak terpenuhi.
- Alternatif A' , A'' , ..., $A^{(N)}$ jika kondisi 1 yang tidak terpenuhi dan $A^{(N)}$ didapatkan dari persamaan $Q(A^{(N)}) - Q(A') < DQ$ untuk maksimum nilai N .

2.9 Criteria Importance Through Inter-Criteria Correlation (CRITIC)

Metode ini dikembangkan oleh Diakoulaki et al. (1995) yang merupakan perbaikan dari metode standar deviasi dan *entropy*. Pada metode ini dilakukan analisis korelasi untuk mengukur kontras antara kriteria dan dikembangkan untuk

mengekstrak semua informasi yang tertera pada kriteria. Di dalam implementasi metode ini ada beberapa tahap yang bisa diikuti yaitu sebagai berikut:

- Untuk setiap kriteria f_j , dilakukan normalisasi x_j dari nilai f_j yang akan bernilai dalam *interval* $[0,1]$. Proses normalisasi berdasarkan konsep *ideal point*. Nilai x_{aj} merepresentasikan *relative closeness* dari alternatif a dengan *ideal value* f_j^+ dan *anti-ideal value* f_j^- .

$$x_{aj} = \frac{f_j(a) - f_j^-}{f_j^+ - f_j^-} \quad (17)$$

- Penyusunan vektor matriks normalisasi x_j , matriks *score* dari seluruh alternatif. Parameter kontras dari setiap vektor x_j dihitung menggunakan standar deviasi σ_j .
- Susun matriks simetris yang berdimensi $m \times m$ dan elemen r_{jk} . Elemen tersebut merupakan koefisien korelasi antara vektor x_j untuk kriteria j dan x_k untuk kriteria k . Pengukuran konflik yang dihasilkan oleh kriteria j terhadap kriteria lain adalah sebagai berikut.

$$\sum_{k=1}^m 1 - r_{jk} \quad (18)$$

- Hitung jumlah informasi dalam nilai C_j . Semakin tinggi nilai pada perhitungan maka semakin tinggi *relative importance* dari sebuah kriteria.

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad (19)$$

- Hitung nilai *objective weight* w_j dengan melakukan normalisasi C_j .

$$w_j = C_j [\sum_{k=1}^m C_k]^{-1} \quad (20)$$

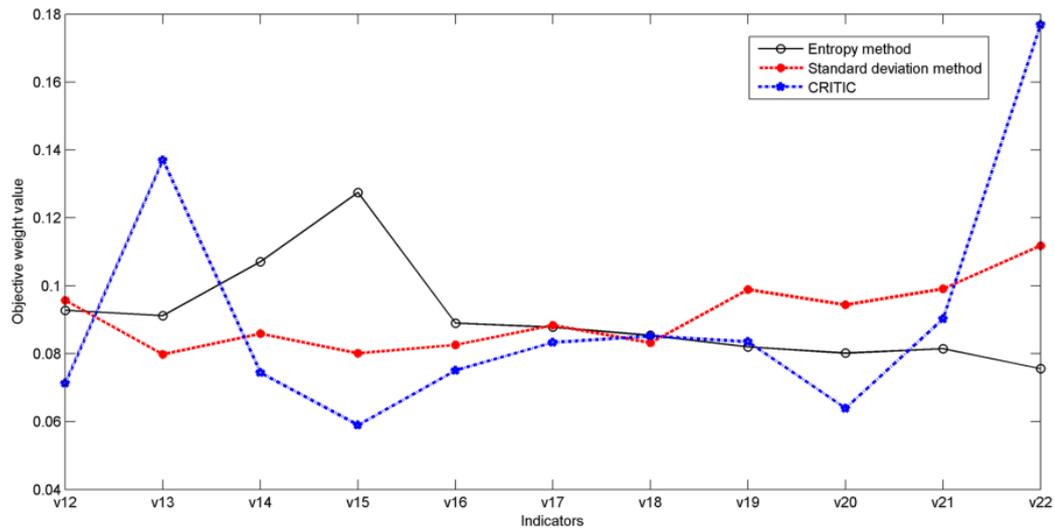
Keterangan:

x_j = *score* dari semua alternatif

C_j = jumlah informasi

w_j = bobot kriteria

Li dan Mo (2015) telah melakukan penelitian mengenai perbandingan tiga *objective weighting*. Penelitian tersebut dilakukan untuk optimasi permasalahan *production task queue* pada proses *assembly* yang kompleks. Ketiga metode yang digunakan adalah standar deviasi, *entropy*, dan metode CRITIC. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Hasil Perbandingan Tiga Metode Objective Weight (Li & Mo, 2015)

Berdasarkan pada Gambar 2.6 dengan menggunakan sebelas kriteria sebagai pertimbangan hasil dari metode standar deviasi dan *entropy* cenderung memiliki garis yang cenderung rata. Ini menandakan bobot yang dimiliki oleh kesebelas kriteria tersebut bernilai hampir serupa dan cenderung mengurangi atau meniadakan *conflict* antar kriteria. Maka dari itu kedua metode tersebut kurang mampu untuk menggambarkan kondisi *real*. Sedangkan bobot yang dihasilkan oleh metode CRITIC lebih dinamis. Terdapat dua kriteria yang memiliki bobot lebih tinggi dari yang lain. Kriteria-kriteria tersebut memiliki tingkat kepentingan yang lebih tinggi dari yang lain. Maka *objective weight* yang dihasilkan oleh metode CRITIC lebih tepat untuk menggambarkan situasi sesungguhnya.

2.10 Simulasi Monte Carlo

Simulasi *monte carlo* merupakan model matematis dimana terdapat distribusi probabilitas untuk merepresentasikan kemungkinan nilai dari variabel yang tidak pasti (Clemen & Reilly, 2013). Ketika banyak variabel yang bersifat *random* dan saling berinteraksi maka sebuah sistem akan menjadi kompleks. Salah satu metode untuk menganalisis sebuah sistem yang kompleks adalah simulasi. Menurut Dunn & Shultis (2012) *monte carlo* adalah metode estimasi rata-rata sebuah populasi dari rata-rata sampel yang dimiliki. Metode *monte carlo* berdasarkan dua teori matematis, hukum dari *large number* dan teori *central limit*.

2.11 Posisi Penelitian

Penelitian mengenai pemilihan mesin telah banyak dilakukan sebelumnya. Metode untuk *weighting* dan *scoring* yang digunakan beragam begitu pun juga kriteria yang dijadikan pertimbangan. Rangkuman dari penelitian-penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.5 Posisi Penelitian

Peneliti	Judul Penelitian	Kriteria		Metode Weighting	Metode Scoring	Comparative Analysis
		TCO	Non-Finansial			
Onut et al. (2008)	<i>A Hybrid Fuzzy MCDM Approach to Machine Tool Selection</i>		V	Fuzzy AHP	Fuzzy TOPSIS	-
Stirbanovic et al. (2019)	<i>Application of MCDM Methods for Flotation Machine Selection</i>		V	Delphi Method	TOPSIS & VIKOR	V
Raghavan & Chowdhury (2012)	<i>Developing Life Cycle Management Plans for Power Plant Components</i>	V		-	-	-
Hanafi (2019)	<i>Model Development of Life Cycle Cost Analysis for Pre-Acquisition and Post-Acquisition Phase</i>	V		-	-	-
Akmaldi (2020)	<i>Evaluasi Pemilihan Mesin Mobile Packer Untuk Industri Semen Dengan Kriteria Total Cost Of Ownership Dan Kriteria Non-Finansial (Multi Kriteria)</i>	V	V	CRITIC	VIKOR & Comprehensive VIKOR	V

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

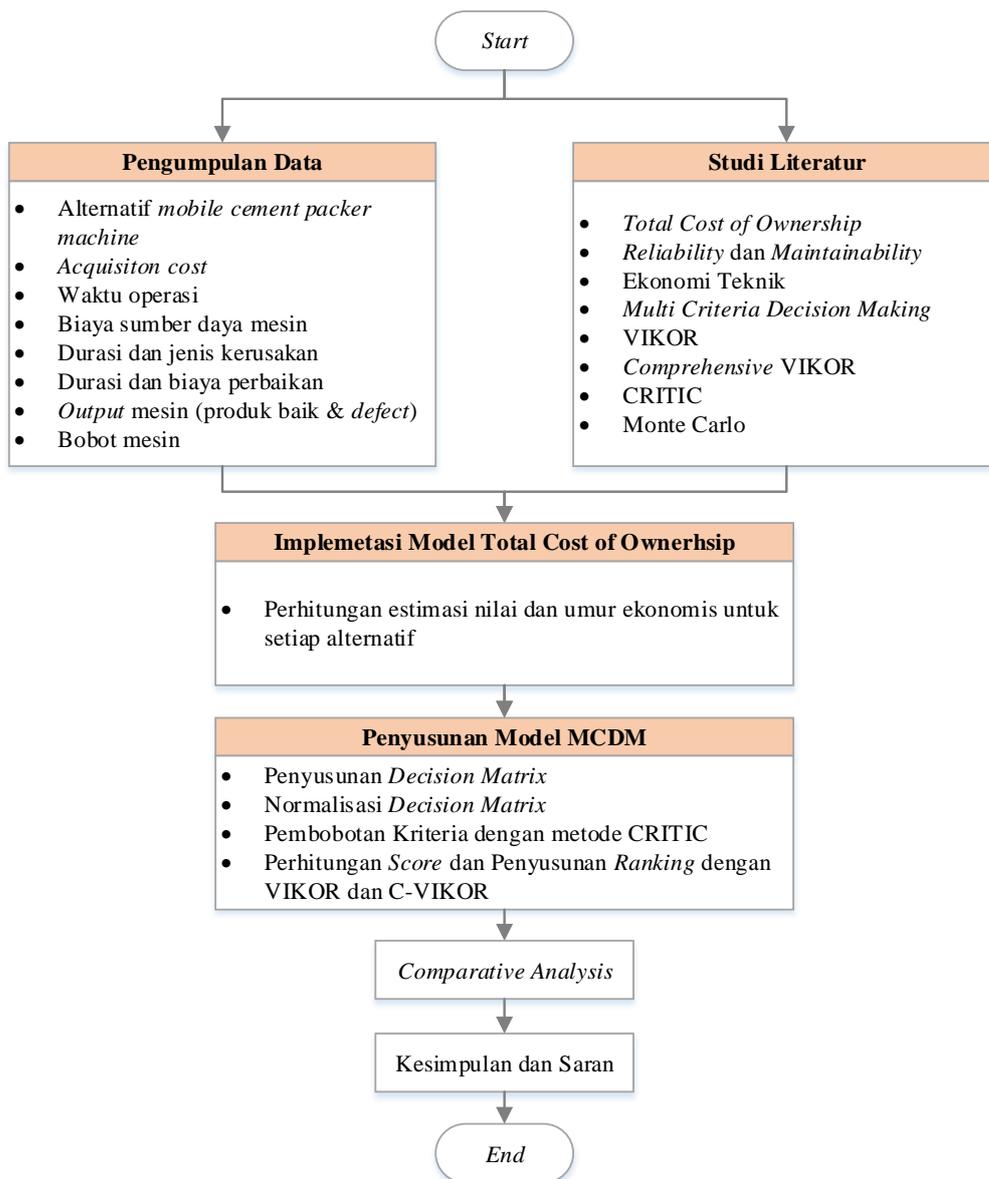
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi yang digambarkan menggunakan *flowchart*, dapat dilihat pada Gambar 3.1. Alur penelitian akan dimulai dari proses pengumpulan data dan studi literatur. Kemudian penelitian akan dilanjutkan dengan menghitung nilai dan umur ekonomis dari setiap alternatif menggunakan metode TCO. Setelah itu akan dilakukan penyusunan model MCDM yang kemudian hasil dari setiap metode akan dibandingkan dalam *comparative analysis*. Penelitian akan ditutup dengan pengambilan kesimpulan juga saran. Pada bagian berikutnya akan dijelaskan secara komprehensif apa yang akan dilakukan pada setiap tahap penelitian.

3.1 Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan untuk memberikan pemahaman dasar mengenai teori-teori dasar yang relevan dengan penelitian. Pada tahap ini akan *di-review* mengenai beberapa konsep *total cost of ownership*, *reliability* dan *maintainability*, ekonomi teknik, *overall equipment effectiveness*, metode MCDM, dan simulasi *monte carlo*.

3.2 Pengumpulan Data

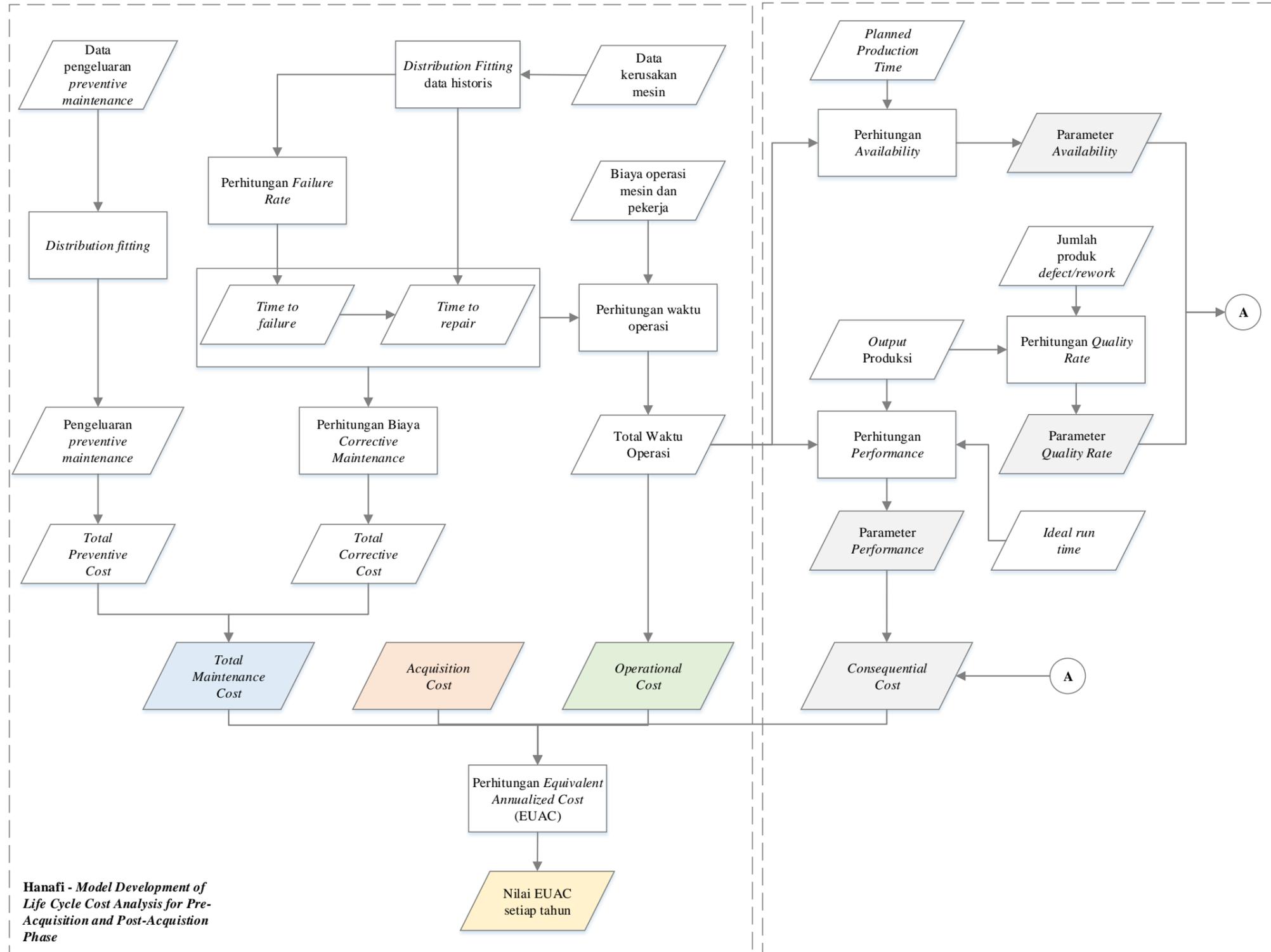
Pada penelitian ini dibutuhkan data yang akan digunakan di dalam penyusunan model MCDM. Maka dari itu proses pengumpulan data dilakukan. Data akan dicari dari *website manufacturer* terkait data spesifikasinya. Sedangkan data yang berkaitan dengan biaya, operasi, dan kerusakan akan didapatkan dari perusahaan amatan.



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

3.3 Penyusunan Model Simulasi

Pada penelitian ini akan dimodelkan pola operasi dan kerusakan dari mesin *mobile packer*. Model simulasi yang akan disusun berguna untuk melakukan estimasi nilai ekonomis dan umur ekonomis dari *mobile packer machine*. Namun pada model tersebut akan mengakomodasi nilai OEE mesin yang akan diikutkan dalam perhitungan TCO. Model konseptual untuk perhitungan *total cost of ownership* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Model Konseptual Skema Perhitungan EUAC

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Perhitungan EUAC akan didekati dengan identifikasi biaya yang akan dikeluarkan selama masa kepemilikan mesin, *total cost of ownership*. Komponen TCO yang akan digunakan pada penelitian ini didapatkan dari Persamaan 21.

$$TCO = Acquisition Cost + Operational Cost + Maintenance Cost + Consequential Cost \quad (21)$$

Maintenance cost akan dibagi menjadi dua jenis yaitu *preventive maintenance cost* dan *corrective maintenance cost*. Alur untuk mendapatkan nilai *maintenance cost* dapat dilihat pada Gambar 3.2. *Preventive maintenance cost* akan didapatkan dari data historis *maintenance*. Sedangkan perhitungan *corrective maintenance cost* didapatkan dari data kerusakan berupa *time to failure* dan *time to repair* juga data biaya berupa *labour cost* dan *part cost* untuk proses penggantian. Data kerusakan juga akan mempengaruhi durasi operasi mesin karena terjadi *breakdown* yang kemudian akan mempengaruhi *operational cost* pada Persamaan 21. Parameter-parameter OEE juga akan dihitung di dalam model simulasi yang disusun. Pada Gambar 3.2 dapat dilihat perhitungan dari ketiga parameter tersebut berawal dari total waktu operasi. Kemudian terdapat *input* data lain pada setiap parameter untuk menghitung nilai *availability*, *performance*, dan *quality rate*. Kemudian setiap nilai tersebut akan dikonversi menjadi *consequential cost* sehingga melengkapi analisis TCO.

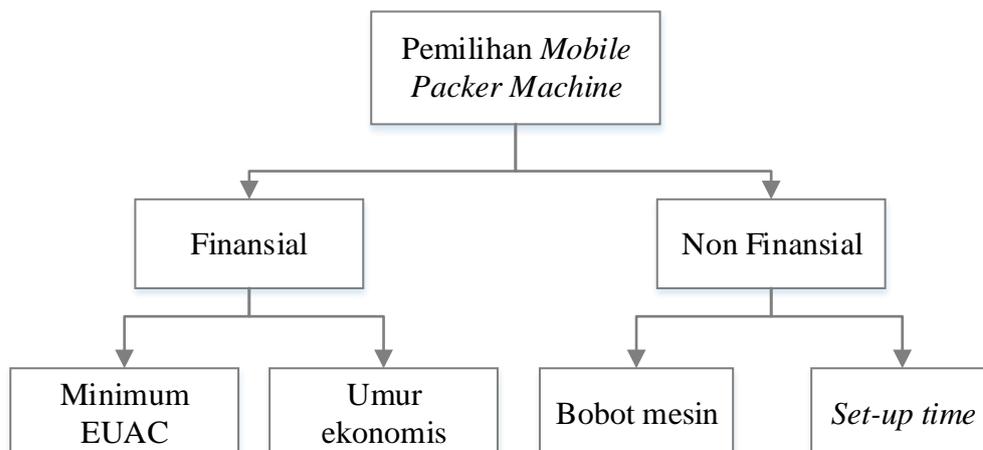
Keempat komponen pada Persamaan 21 akan diubah dalam bentuk *net present value* dan akan diakumulasikan sesuai dengan durasi yang diamati. Setelah nilai NPV telah dihitung maka nilai tersebut akan diubah dalam bentuk *annual* dan dipengaruhi oleh *discount rate*. Nilai *annual* dari keempat komponen akan ditotal dan menjadi nilai EUAC. Pada setiap alternatif akan dicari nilai minimum EUAC yang merupakan nilai optimal dari kepemilikan sebuah mesin. Titik minimum tersebut menunjukkan umur ekonomis dari mesin. Kemudian model perhitungan tersebut akan disimulasikan hingga 1000 iterasi menggunakan simulasi *monte carlo* untuk mendapatkan nilai estimasi dari EUAC dan umur ekonomis. Kedua estimasi tersebut akan dijadikan pertimbangan di dalam pemilihan *mobile packer machine*.

3.4 Penyusunan Model MCDM

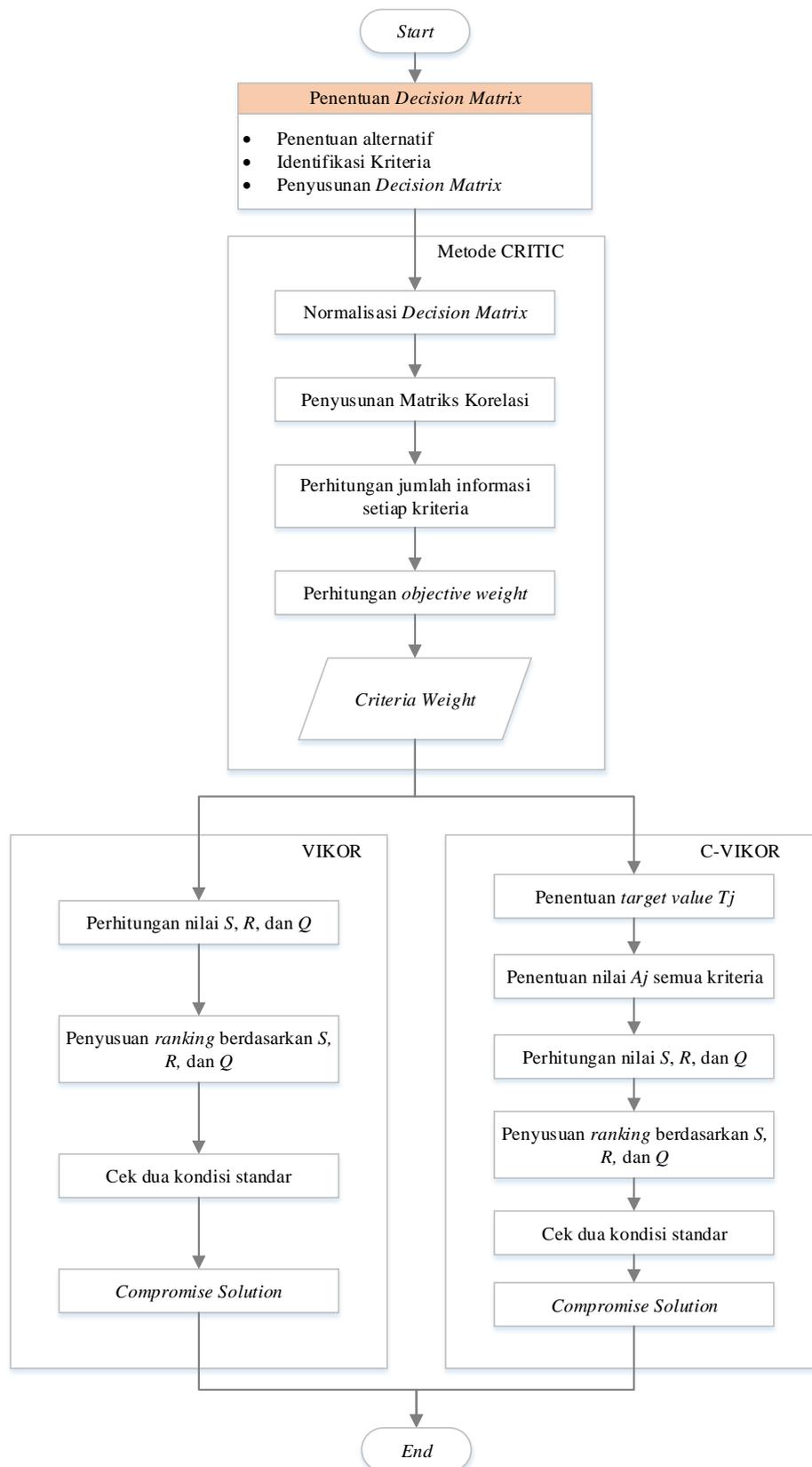
Proses penyusunan model MCDM akan dimulai ketika kriteria yang akan dipertimbangkan telah diidentifikasi, dapat dilihat pada Gambar 3.4. Diawali dengan penyusunan *decision matrix* yang berisi kriteria, alternatif, dan nilai dari kriteria untuk setiap alternatif. Pada tahap ini akan disusun nilai kriteria untuk setiap alternatif dari data yang telah dikumpulkan. Kemudian akan dilanjutkan dengan proses normalisasi *decision matrix*. Proses normalisasi bertujuan untuk menghilangkan satuan dari setiap kriteria menjadi nilai *interval* dalam rentang nilai 0 hingga 1. Setelah *decision matrix* telah dinormalisasi maka setiap kriteria akan dibobotkan menggunakan metode CRITIC. *Scoring* akan dilakukan dengan menggunakan dua metode MCDM yaitu VIKOR dan *comprehensive VIKOR*. Hasil dari tahapan *scoring* adalah dua *ranking list* yang kemudian akan dianalisis untuk melihat perbedaannya. Berikut akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang ada di dalam penyusunan model MCDM.

3.4.1 Penyusunan Decision Martix

Terdapat beberapa kriteria yang akan dijadikan sebagai pertimbangan di dalam pemilihan mesin *packer*. Kriteria-kriteria akan dikelompokkan menjadi dua kategori, finansial dan teknis, yang dapat dilihat pada Gambar 3.3. Kriteria yang termasuk di dalam kategori finansial adalah nilai EUAC dan umur ekonomis. Sedangkan untuk kriteria non-finansial terdiri dari bobot mesin dan *setup time*.



Gambar 3.3 Hirarki Kriteria dalam Pemilihan Mesin *Packer*



Gambar 3.4 Flowchart Penyusunan Model MCDM

Setiap kriteria memiliki satuan nilai yang berbeda-beda. Selain itu terdapat kriteria yang memiliki nilai berupa *beneficial* dan *non-beneficial*. Nilai *beneficial* adalah nilai yang merepresentasikan sebuah keuntungan yang berarti semakin tinggi nilai tersebut maka akan semakin baik, *higher better*. *Non-beneficial* memiliki makna yang bertolak belakang dengan *beneficial* sehingga nilai terendah merupakan nilai yang paling baik. Penjelasan dan penggolongan setiap kriteria tertera pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Penjelasan dan Jenis Kriteria

Kategori	Kriteria	Keterangan	Satuan	Jenis
Finansial	Minimum EUAC	Merupakan biaya minimum per tahun selama masa kepemilikan	Rp	<i>Lower better</i>
	Umur ekonomis	Masa ekonomis kepemilikan	tahun	<i>Higher better</i>
Non Finansial	<i>Setup time</i>	Waktu persiapan dan pengaturan mesin sebelum dapat digunakan untuk produksi	detik	<i>Lower better</i>
	Bobot Mesin	Indikator mobilisasi mesin	ton	<i>Lower better</i>

Setelah kriteria diidentifikasi kemudian dibentuk *decision matrix* yang akan ditampilkan dalam bentuk tabel. Elemen dari *decision matrix* berupa x_i , y_j , dan f_{ij} yang secara berurutan mewakili alternatif, kriteria, dan nilai performa (untuk $i = 1, 2, \dots, N$ /jumlah alternatif dan $j = 1, 2, \dots, M$ /jumlah kriteria). Bentuk dan elemen-elemen *decision matrix* dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Bentuk *Decision Matrix* dalam Tabulasi

		KRITERIA				
		y_1	y_2	y_3	...	y_j
ALTERNATIF	x_1	f_{11}	f_{12}	f_{13}	...	f_{1j}
	x_2	f_{21}	f_{22}	f_{23}	...	f_{2j}
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
	x_i	f_{i1}	f_{i2}	f_{i3}	...	f_{ij}

3.4.2 Perhitungan Bobot Kriteria Menggunakan CRITIC

Tahap awal perhitungan bobot kriteria adalah normalisasi *decision matrix*. Hal ini dilakukan agar satuan yang melekat pada nilai f_{ij} dihilangkan dan diratakan menjadi nilai dalam rentang 0 dan 1. Proses normalisasi ini mengacu pada konsep *ideal point* yang digambarkan pada Persamaan 17. Tahapan-tahapan yang akan dilakukan untuk mendapatkan nilai *objective weight* untuk setiap kriteria dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Tahapan Metode CRITIC

Tahapan	Persamaan/Variabel
Normalisasi <i>decision matrix</i>	$x_{ij} = \frac{f_{ji} - f_j^-}{f_j^+ - f_j^-}$
Pembentukan matriks normalisasi	n_j
Pengujian korelasi antara kriteria j dan k	r_{jk}
Perhitungan konflik yang ditimbulkan antar kriteria	$\sum_{k=1}^m 1 - r_{jk}$
Perhitungan standar deviasi setiap kriteria	σ_j
Perhitungan jumlah informasi	$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk})$
Perhitungan <i>objective weight</i>	$w_j = C_j \left[\sum_{k=1}^m C_k \right]^{-1}$

3.4.3 Scoring dan Ranking dengan VIKOR

Setelah dihitung bobot untuk setiap kriteria maka tahap selanjutnya di dalam MCDM adalah *scoring* dan *ranking*. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai tahapan *scoring* dan *ranking* menggunakan VIKOR.

Tabel 3.4 Tahapan *Scoring* dan *Ranking* dengan Metode VIKOR

Tahapan	Persamaan/Variabel
Tentukan nilai ideal dan anti ideal dari f_{ij}	$(f_{ij})_{max}$ dan $(f_{ij})_{min}$
Perhitungan nilai S_i	$S_i = \sum_{j=1}^M w_j \frac{[(f_{ij})_{max} - f_{ij}]}{[(f_{ij})_{max} - (f_{ij})_{min}]}$
Perhitungan nilai R_i	$R_i = \text{Max} \left\{ \frac{w_j [(f_{ij})_{max} - f_{ij}]}{[(f_{ij})_{max} - (f_{ij})_{min}]} \right\}$ $j = 1, 2, \dots, M$
Penentuan nilai S^- , S^* , R^- , dan R^*	$\begin{aligned} S^* &= \min_i S_i \\ S^- &= \max_i S_i \\ R^* &= \min_i R_i \\ R^- &= \max_i R_i \end{aligned}$
Penentuan nilai	v
Perhitungan nilai Q_i	$Q_i = v \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)}$
Susun <i>ranking</i> berdasarkan nilai S , R , dan Q dari yang terendah	<i>Ranking List</i>
Cek kondisi 1	$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$ $a' = \text{alternatif terbaik}$ $a'' = \text{alternatif kedua dalam ranking}$ $DQ = 1/(N - 1)$
Cek kondisi 2	Alternatif a' harus menjadi alternatif terbaik pada kedua <i>ranking</i> dari nilai S dan R
Susun <i>compromise solution</i> jika ada salah satu kondisi dilanggar	<ul style="list-style-type: none"> • Alternatif a' dan a'' jika hanya kondisi C2 yang tidak terpenuhi. • Alternatif a', a'', ..., $a^{(N)}$ jika kondisi C1 yang tidak terpenuhi dan $a^{(N)}$ didapatkan dari persamaan $Q(a^{(N)}) - Q(a') < DQ$ untuk maksimum nilai N.

3.4.4 *Scoring* dan *Ranking* dengan *Comprehensive VIKOR*

Secara umum tahapan metode *comprehensive VIKOR* sama dengan metode VIKOR yang tertelak pada Tabel 3.4. Perbedaan mendasar terdapat pada proses komputasi nilai S dan R dan dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Tahapan Scoring dan Ranking Comprehensive VIKOR

Tahapan	Persamaan/Variabel
Tentukan nilai <i>target value</i> untuk f_{ij} pada setiap kriteria	$T = \{T_1, T_2, T_j, \dots, T_m\}$
Penentuan nilai A_j	$A_j = \begin{cases} 1, & \text{jika elemen dari kriteria nilai} \\ & \text{normalisasi dari 0 sampai 1} \\ \max\{f_j^{max}, T_j\} - \min\{f_j^{min}, T_j\} & \end{cases}$
Perhitungan nilai S_i	$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \left(1 - e^{-\frac{ f_{ij}-T_j }{A_j}} \right)$
Perhitungan nilai R_i	$R_i = \max_j \left[w_j \left(1 - e^{-\frac{ f_{ij}-T_j }{A_j}} \right) \right]$
Penentuan nilai	v
Perhitungan nilai Q_i	$Q_i = \begin{cases} \left[\frac{R_i - R^-}{R^+ - R^-} \right] & \text{jika } S^+ = S^- \\ \left[\frac{S_i - S^-}{S^+ - S^-} \right] & \text{jika } R^+ = R^- \\ \left[\frac{S_i - S^-}{S^+ - S^-} \right] v + \left[\frac{R_i - R^-}{R^+ - R^-} \right] (1 - v) & \end{cases}$ $S^+ = \max S_i; S^- = \min S_i; R^+ = \max R_i;$ $R^- = \min R_i$
Susun <i>ranking</i> berdasarkan nilai $S, R,$ dan Q dari yang terendah	<i>Ranking List</i>
Cek kondisi 1	$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$ $a' = \text{alternatif terbaik}$ $a'' = \text{alternatif kedua dalam ranking}$ $DQ = 1/(N - 1)$
Cek kondisi 2	Alternatif a' harus menjadi alternatif terbaik pada kedua <i>ranking</i> dari nilai S dan R
Susun <i>compromise solution</i> jika ada salah satu kondisi dilanggar	<ul style="list-style-type: none"> • Alternatif a' dan a'' jika hanya kondisi C2 yang tidak terpenuhi. • Alternatif $a', a'', \dots, a^{(N)}$ jika kondisi C1 yang tidak terpenuhi dan $a^{(N)}$ didapatkan dari persamaan $Q(a^{(N)}) - Q(a') < DQ$ untuk maksimum nilai N.

3.4.5 Comparative Analysis

Pada bagian ini terdapat tiga analisis yang akan dilakukan. Yang pertama adalah analisis hasil dari dua metode MCDM. Yang kedua adalah analisis perbandingan hasil keputusan dari metode MCDM dan pemilihan berdasarkan

TCO saja. Kemudian analisis yang terakhir adalah analisis risiko hasil keputusan dari metode VIKOR dan *comprehensive VIKOR* menggunakan simulasi *monte carlo*.

3.5 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini penelitian telah selesai dan akan disampaikan hal-hal penting yang ditemukan selama proses penelitian berlangsung. Pada tahap akhir ini juga akan disampaikan saran untuk penelitian lebih lanjut yang relevan.

BAB 4

PENGEMBANGAN MODEL PEMILIHAN MOBILE PACKER MACHINE DENGAN MENGGUNAKAN MEREK PACKER EXISTING

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai mekanisme di dalam proses pemilihan mesin *packer* meliputi perhitungan *total cost of ownership*, skema perhitungan bobot, dan alur proses penentuan alternatif terbaik.

4.1 Permasalahan Pengambilan Keputusan

Pemilihan mesin *packer* terbaik untuk konsep *mobile* dimulai dengan mengidentifikasi alternatif yang akan dievaluasi. Proses evaluasi pemilihan dilakukan pada fase penggunaan atau *post-acquisition*. Maka dari itu alternatif yang dipertimbangkan merupakan mesin yang sedang atau pernah digunakan oleh PT X pada masa evaluasi. PT X memiliki dua jenis mesin *packer* pada Pabrik Tuban, maka alternatif yang akan dievaluasi pada penelitian adalah yang terdapat pada fasilitas tersebut, dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Model evaluasi pemilihan mesin *packer* dapat juga digunakan pada fase *procurement*. Ketika evaluasi dilakukan pada fase *procurement* jumlah alternatif yang dapat dipertimbangkan menjadi lebih banyak sesuai dengan yang tersedia di pasar. Maka dari itu akan muncul alternatif baru dimana belum pernah dioperasikan oleh perusahaan sehingga data yang dibutuhkan tidak dimiliki. Pada Bab 6 akan dijelaskan mengenai standar penerapan model evaluasi untuk mengatasi hal tersebut pada proses *procurement*.

Tabel 4.1 Alternatif Pemilihan *Mobile Packer Machine*

Spesifikasi	Alternatif 1	Alternatif 2
Merek	HB	CP
Tipe	Modular	Modular
Jumlah <i>Spout</i>	8	8
Kapasitas (@50/40 kg)	2400 sak/jam	2400 sak/jam
Tahun Akuisisi	1994	1997

Pertimbangan yang paling sering digunakan di dalam proses *procurement* mesin adalah biaya. Namun pada konsep *mobile packer machine* perlu pertimbangan lain yang bisa mewakili baik tidaknya kemampuan mesin untuk diterapkan pada konsep *mobile*. Pada penelitian ini terdapat empat kriteria yang akan dijadikan sebagai pertimbangan di dalam pemilihan mesin yang tepat, dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Tabel 3.1. Berikut merupakan penjelasan lebih lanjut dari keempat kriteria tersebut.

1. Minimum *Equivalent Uniform Annualized Cost* (EUAC)

Setiap alternatif akan dianalisis mengenai biaya kepemilikan mesin selama periode tertentu. Nilai terendah EUAC selama periode tersebut yang akan digunakan di dalam evaluasi pemilihan mesin. Mekanisme perhitungan dari kriteria ini akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

2. Umur Ekonomis

Kriteria umur ekonomis penting untuk dipertimbangkan karena sebagai indikator masa kepemilikan paling ekonomis antar alternatif. Indikator umur ekonomis dapat diketahui setelah menghitung nilai EUAC untuk setiap alternatif. Kriteria ini penting untuk melengkapi analisis dari kriteria EUAC. Nilai umur ekonomis didapatkan pada proses perhitungan *total cost of ownership* yang mekanismenya akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

3. Bobot Mesin

Faktor bobot mesin merupakan indikator penting untuk melihat kemampuan mesin untuk diterapkan pada konsep *mobile packer*. Salah satu aktivitas yang akan sering terjadi pada konsep tersebut adalah pemindahan mesin, dimana mesin yang rusak akan digantikan sementara dengan mesin cadangan. Proses pemindahan ini membutuhkan waktu dan tenaga yang ditentukan oleh bobot mesin. Semakin besar bobot mesin tersebut maka akan semakin lama dan membutuhkan tenaga atau sumber daya yang semakin besar. Maka dari itu untuk penerapan konsep *mobile packer* dibutuhkan mesin yang paling ringan.

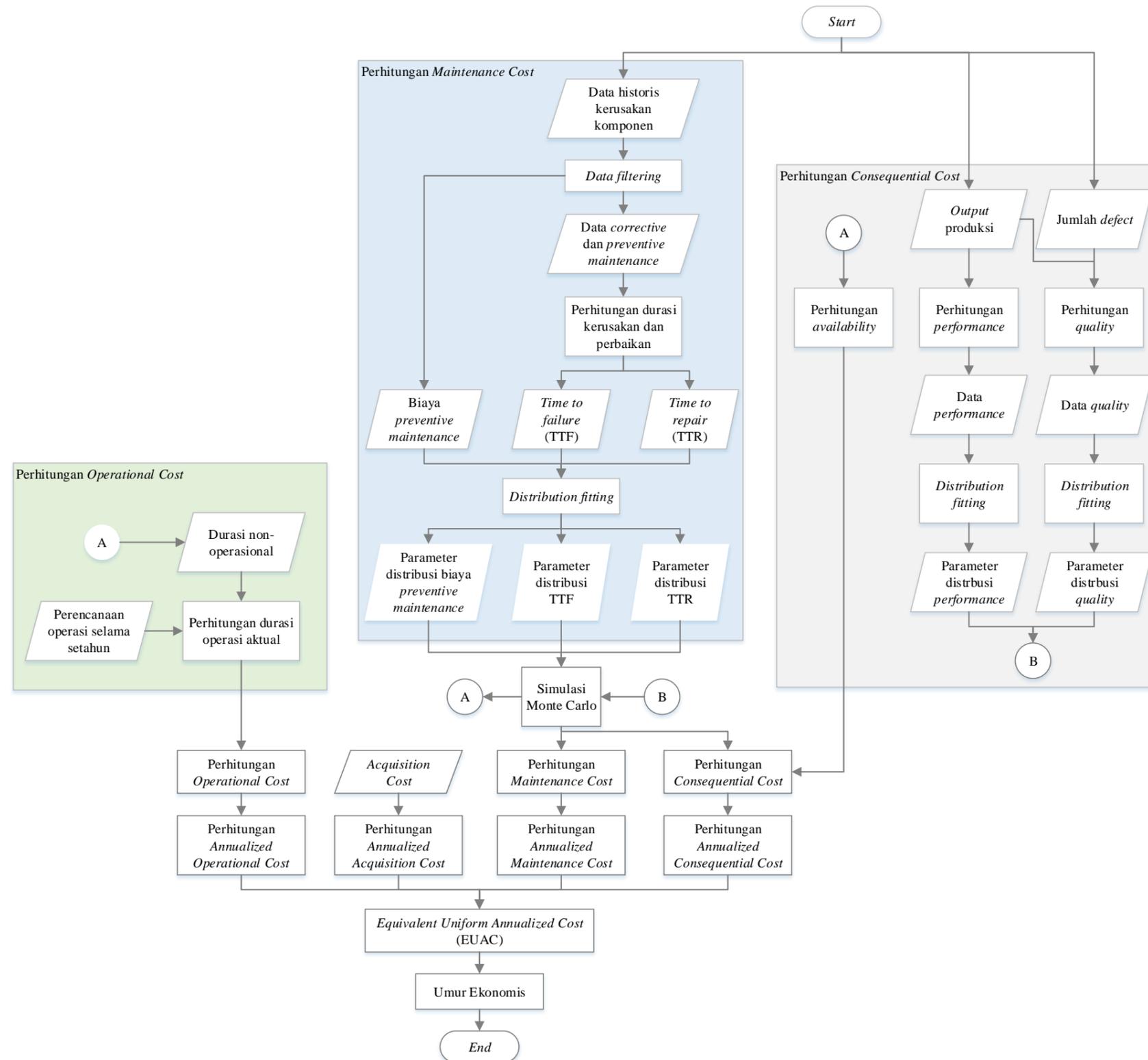
4. *Setup Time*

Proses penggantian mesin pada konsep *mobile packer* selesai ketika mesin telah siap untuk digunakan. *Setup time* merupakan indikator berikutnya yang penting untuk dipertimbangkan. Setelah mesin cadangan telah selesai dipindahkan belum tentu mesin tersebut dapat langsung difungsikan. Perlu adanya *setup* sebelum mengoperasikan mesin tersebut. Apabila *setup time* tidak diikutkan dalam pemilihan mesin *packer* maka akan ada *gap* yang tidak terlihat antara mesin selesai dipindahkan dan mesin dapat dioperasikan. Maka dari itu kriteria ini penting untuk dipertimbangkan.

4.2 Mekanisme Perhitungan Kriteria Finansial

Perhitungan kriteria finansial, yaitu *total cost of ownership*, akan dilakukan dengan menggunakan model simulasi *monte carlo*. Model konseptual untuk alur perhitungan *total cost of ownership* tertera pada Gambar 3.2. Pada gambar tersebut dapat dilihat bagaimana hubungan antar variabel dan proses dalam menghasilkan nilai EUAC. Terdapat beberapa variabel yang bersifat *uncertain* atau tidak pasti yaitu *time to failure*, *time to repair*, *preventive cost*, *output* produksi, dan jumlah *defect* yang terjadi. Pada Gambar 4.1 dapat dilihat alur perhitungan yang akan dilakukan di dalam model simulasi. Kemudian penjelasan detail mekanisme akan dijelaskan pada sub subbab berikutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Gambar 4.1 Diagram Perhitungan EUAC dan Umur Ekonomis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

4.2.1 Model Perhitungan Maintenance Cost

Maintenance cost pada perhitungan *total cost of ownership* dibagi menjadi dua sesuai dengan strategi *maintenance* yang diterapkan yaitu *corrective* dan *preventive*. Proses perhitungan dimulai dengan melakukan pemilahan data yang dibutuhkan dari *database* kerusakan mesin yang dimiliki oleh perusahaan. Proses pemisahan data diperlukan untuk melihat jenis kerusakan atau perbaikan yang dilakukan. Hal tersebut dikarenakan rekam dari *preventive maintenance* juga terdapat di *database* tersebut. Setelah dipisahkan maka dapat terlihat data biaya yang termasuk kategori *preventive maintenance*. *Entry* data yang termasuk *preventive maintenance* akan dilakukan *distribution fitting* untuk mencari parameter distribusi biaya tersebut yang kemudian akan digunakan pada proses berikutnya.

Biaya *corrective maintenance* memiliki dua komponen biaya yaitu *fixed* dan *variable cost*. *Fixed cost* adalah biaya tetap yang dikeluarkan apabila terjadi kerusakan. Sedangkan *variable cost* merupakan biaya yang muncul menyesuaikan dengan durasi perbaikan (*time to repair*). Selain itu biaya untuk penggantian komponen juga merupakan bagian dari *variable cost*.

$$CM(VC)_i = (TTR_i \times \text{Biaya Pekerja}) + \text{Biaya Komponen} \quad (22)$$

Keterangan:

$CM(VC)_i$ = *variable cost* pada kerusakan ke-i

TTR_i = *time to repair* pada kerusakan ke-i

Setelah *fixed cost* dan *variable cost* untuk *corrective maintenance* telah diidentifikasi maka total biaya *corrective maintenance* hanya berupa penjumlahan dari kedua komponen tersebut.

$$\text{Total Biaya CM} = \sum_{i=0}^t CM(FC)_i + \sum_{i=0}^t CM(VC)_i \quad (23)$$

Sebagian *database* menunjukkan waktu kerusakan mulai terjadi dan waktu kerusakan telah selesai diperbaiki pada setiap *entry* data. Dari kedua data tersebut

dapat digunakan untuk menghitung *time to failure* (TTF) dan *time to repair* (TTR). Dimana data TTF dan TTR kemudian akan digunakan untuk *distribution fitting*. Maka dari itu akan diketahui parameter distribusi untuk TTF dan TTR.

Kedua parameter distribusi tersebut akan digunakan sebagai *input* simulasi *monte carlo*. Simulasi diproyeksikan hingga tahun tertentu dan diulangi sebanyak n iterasi. Hasil simulasi untuk nilai TTF dan TTR akan digunakan untuk menghitung biaya *corrective maintenance*. Parameter distribusi biaya *preventive maintenance* juga disimulasikan. Hasil simulasi tersebut berguna untuk menghitung biaya *preventive maintenance*. Total biaya *maintenance* dapat diperoleh dengan menjumlahkan biaya *corrective maintenance* dan biaya *preventive maintenance*.

4.2.2 Model Perhitungan Operational Cost

Proses perhitungan *operational cost* dimulai dengan menggunakan *output* dari simulasi *monte carlo* yang dilakukan untuk nilai TTF dan TTR. Data yang digunakan adalah jumlah hari mesin tidak beroperasi dimana didapatkan dari TTR yang merupakan proses perbaikan mesin maka mesin mengalami *breakdown*. Dari jumlah hari tersebut maka didapatkan jumlah hari operasi mesin dalam setahun, yang akan disebut sebagai durasi operasi aktual.

$$\text{Durasi Operasi Aktual} = \text{Perencanaan Operasi} - \sum_{i=0}^t TTR_i \quad (24)$$

Operational cost terdiri dari beberapa komponen yaitu biaya listrik, bahan bakar, dan operator. Ketiga komponen tersebut menyesuaikan dengan jumlah konsumsi listrik, konsumsi bahan bakar, dan jumlah operator yang menjalankan mesin.

$$\begin{aligned} \text{Operational Variable Cost} = & \\ & (\text{Konsumsi Bensin} \times \text{Tarif Bensin}) + (\text{Konsumsi Listrik} \times \text{Tarif Listrik}) + \\ & (\text{Jumlah Operator} \times \text{Tarif Operator}) \end{aligned} \quad (25)$$

Kemudian dari total *operational cost* dikalikan dengan durasi operasi aktual. Hasil perkalian tersebut merupakan *operational cost* selama setahun pada tahun tertentu.

$$\text{Operational Cost} = \text{Durasi Operasi Aktual} \times \text{Operational Variable Cost} \quad (26)$$

4.2.3 Model Perhitungan Consequential Cost

Konsep perhitungan *consequential cost* didasari oleh indikator performa dari mesin. Konsep *overall equipment effectiveness* (OEE) digunakan untuk menilai performa dari mesin. Terdapat tiga komponen yang menyusun nilai OEE yaitu *availability*, *performance*, dan *quality*. Ketiga indikator tersebut akan diestimasi nilainya sehingga dapat menggambarkan performa mesin secara utuh.

Tahap pertama yang dilakukan adalah menghitung nilai *availability* dengan menggunakan data durasi operasi aktual yang didapatkan pada perhitungan sebelumnya. Kemudian durasi tersebut dibagi dengan perencanaan durasi operasi selama setahun. Indikator *availability* menandakan ketersediaan mesin untuk dioperasikan selama setahun.

$$\text{Availability} = \frac{\text{Durasi Operasi Aktual}}{\text{Perencanaan Durasi Operasi}} \quad (27)$$

Indikator *performance* mesin didapatkan dari data historis operasional mesin. Data tersebut menunjukkan jumlah *output* produksi dari mesin. Kemudian data tersebut dibagi dengan durasi operasi aktual untuk melihat *output* produksi mesin dalam satu hari. Kemudian dibandingkan dengan kemampuan produksi maksimal mesin dalam satu hari.

$$\text{Performance} = \frac{\frac{\text{Output Produksi}}{\text{Durasi Operasi Aktual}}}{\text{Ideal Runtime}} \quad (28)$$

Keterangan:

Output produksi = jumlah semem sak yang dihasilkan selama setahun

Ideal runtime = kapasitas mesin menghasilkan semen sak / hari

Nilai *performance* selama tahun produksi yang telah diolah akan digunakan untuk mendapatkan parameter distribusi *performance* mesin dengan menggunakan *distribution fitting*. Parameter tersebut akan digunakan untuk disimulasikan selama beberapa tahun untuk menentukan nilai OEE mesin.

Quality merupakan indikator performa mesin dari aspek kualitas *output*. Nilai indikator tersebut didapatkan dari total *output* produksi dikurangi jumlah terjadinya *reject* di dalam proses pengemasan yang kemudian dibagi dengan total *output* produksi dari mesin.

$$Quality = \frac{Output\ Produksi\ yang\ Baik}{Output\ Produksi} \quad (29)$$

Keterangan:

Output produksi yang baik = *output* produksi – jumlah *reject*

Data *quality* yang telah diolah kemudian akan dicari parameter distribusi dengan *distribution fitting*. Simulasi akan dilakukan dengan menggunakan parameter tersebut selama beberapa tahun ke depan. Kemudian nilai OEE dapat ditentukan apabila indikator *quality* telah didapatkan.

Nilai *consequential cost* dihasilkan dengan cara mengkalikan nilai performa negatif dari mesin dengan *consequential rate* tertentu. Performa negatif merupakan nilai yang menandakan seberapa besar mesin tidak beroperasi sesuai dengan fungsinya dengan baik.

$$Performa\ Negatif = 1 - OEE \quad (30)$$

$$Consequential\ Cost = Performa\ Negatif \times Consequential\ Rate \quad (31)$$

Keterangan:

OEE = *availability* x *performance* x *quality* (%)

Consequential rate = *rate* pinalti untuk 1% performa negatif

4.2.4 Perhitungan EUAC dan Umur Ekonomis

Nilai dari setiap komponen *total cost of ownership* seperti yang tertera pada Persamaan 21 didapatkan dengan mekanisme yang tertera pada sub subbab sebelumnya. Setiap komponen biaya kemudian ditransformasi menjadi bentuk *annualized* dengan menggunakan Persamaan 5 dan 6. Kemudian keseluruhan komponen biaya yang telah berubah bentuk dijumlahkan untuk menghasilkan nilai *equivalent uniform annualized cost* (EUAC) pada tahun tertentu.

Perhitungan EUAC akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menunjukkan perubahan nilai EUAC dari tiap tahun ke tahun. Jika terjadi nilai minimum EUAC pada tahun ke-n maka umur ekonomis dari mesin tersebut adalah n tahun. Nilai minimum EUAC dan umur ekonomis yang kemudian akan dijadikan sebagai kriteria di dalam model evaluasi pemilihan mesin *packer*.

4.3 Mekanisme Evaluasi Mobile Packer Machine

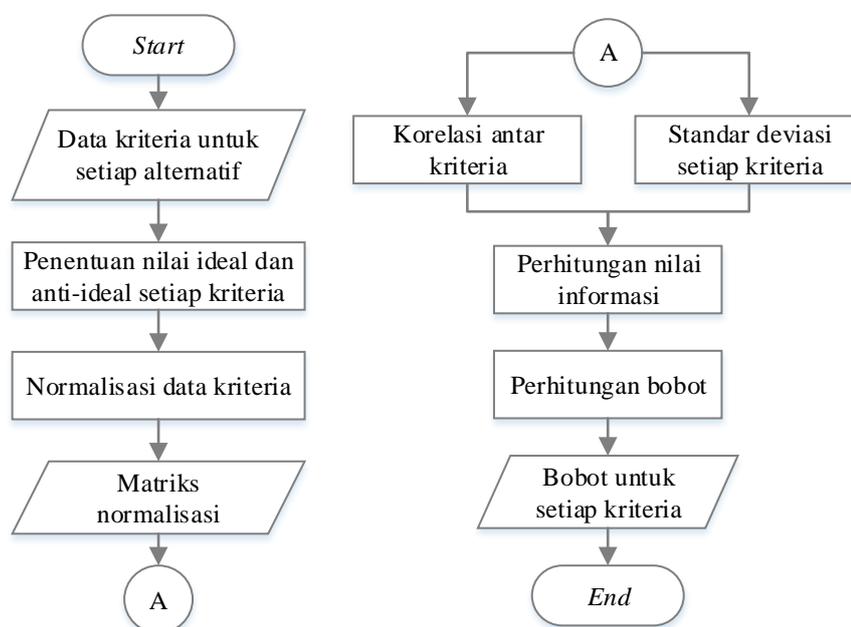
Pemilihan mesin *packer* yang sesuai berdasarkan dengan metode MCDM. Dengan beberapa kriteria setiap alternatif akan dievaluasi untuk menentukan mesin yang paling sesuai. Alur metode MCDM akan mengikuti seperti yang telah dijelaskan pada Bab 3 dan tertera pada Gambar 3.4. Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai mekanisme perhitungan dari setiap alur metode tersebut.

4.3.1 Mekanisme Pembobotan Kriteria

Setelah data untuk setiap kriteria pada setiap alternatif telah dimiliki maka proses pembobotan dapat dimulai. Data untuk kriteria finansial didapatkan dari nilai rata-rata simulasi pada proses perhitungan *total cost of ownership* yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Alur dari tahapan pembobotan dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Untuk setiap kriteria akan ditentukan nilai ideal (terbaik) dan anti ideal (terburuk). Kedua nilai tersebut bisa berada di luar nilai yang ada pada data yang dimiliki. Nilai ditentukan dengan melakukan survei kepada *expert* mesin dan ahli teknis perusahaan. Ditetapkannya kedua nilai tersebut bertujuan untuk melakukan normalisasi data. Kriteria yang bersifat *lower better* memiliki nilai ideal yang rendah dan anti ideal yang tinggi sedangkan kriteria yang bersifat *higher better*

sebaliknya. Dengan begitu proses normalisasi dengan menggunakan Persamaan 17 dapat digunakan untuk kedua jenis kriteria.



Gambar 4.2 Alur Pembobotan Menggunakan CRITIC

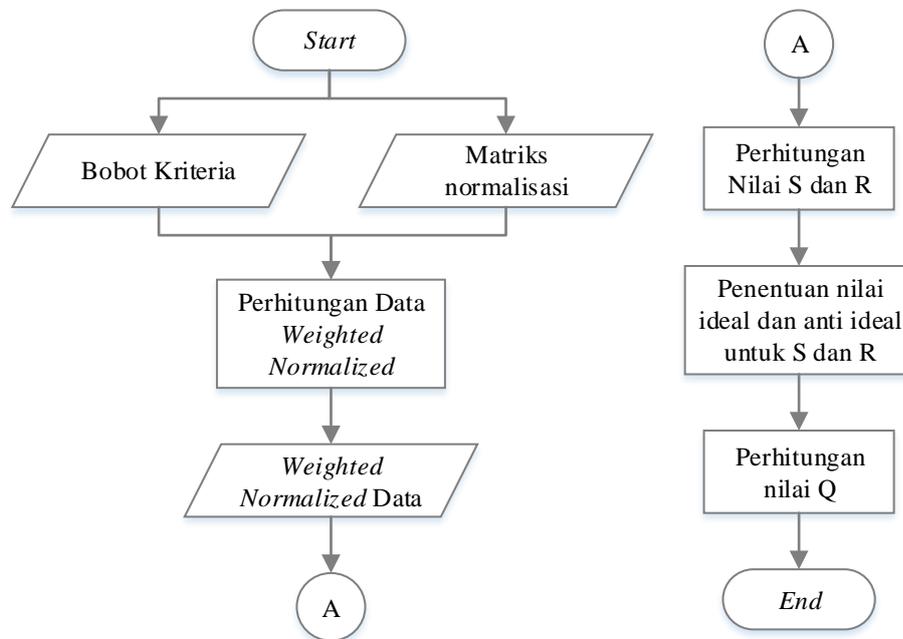
Matriks normalisasi akan digunakan untuk menentukan nilai korelasi dan standar deviasi. Nilai korelasi dicari untuk melihat hubungan antar kriteria. Kemudian akan disusun menjadi matriks korelasi. Sedangkan standar deviasi akan dicari untuk masing-masing kriteria. Kedua nilai berguna untuk menghitung nilai informasi yang dibawa oleh data kriteria. Perhitungan nilai informasi menggunakan Persamaan 19.

Bobot secara objektif didapatkan dengan melakukan perhitungan berdasarkan nilai informasi pada setiap kriteria. Masing-masing kriteria akan memiliki bobot yang didapatkan menggunakan Persamaan 20. Informasi nilai bobot untuk setiap kriteria berfungsi sebagai *input* pada perhitungan *scoring* dalam metode MCDM yang akan dijelaskan pada bagian berikutnya.

4.3.2 Mekanisme Scoring Alternatif

Penentuan alternatif berdasarkan nilai *score* yang didapatkan menggunakan metode *scoring* tertentu. Pada penelitian ini ada dua metode yang

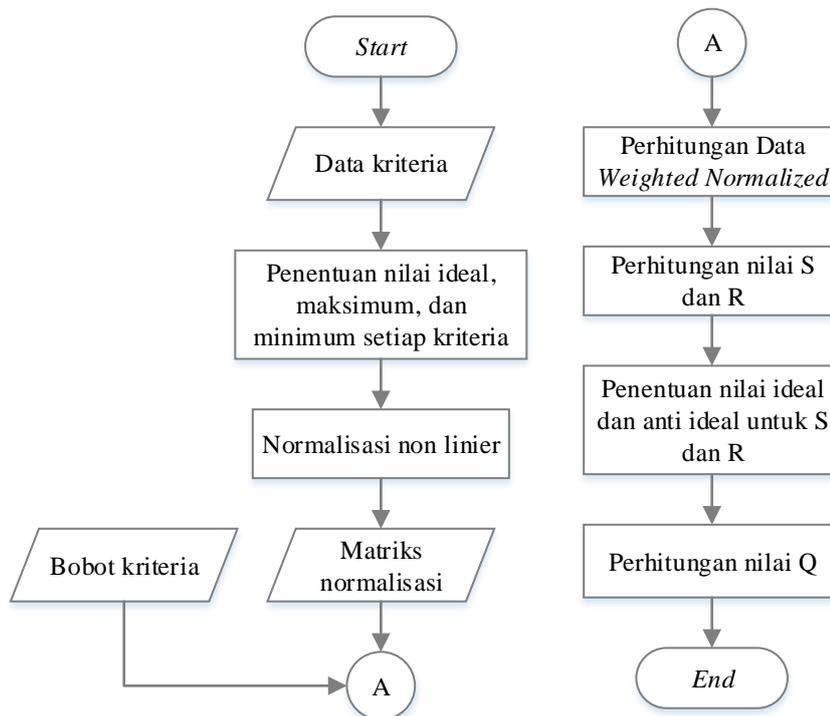
akan digunakan yaitu VIKOR dan C-VIKOR. Alur untuk metode *scoring* dapat dilihat pada Gambar 4.3. Sedangkan alur untuk metode C-VIKOR dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Alur *Scoring* Menggunakan VIKOR

Hasil pembobotan dari tahap sebelumnya digunakan untuk perhitungan *scoring* pada metode VIKOR. Di sisi lain matriks normalisasi yang digunakan untuk perhitungan juga didapatkan dari tahap pembobotan. Kemudian kedua data tersebut saling dikalikan untuk mendapatkan matriks *weighted normalized*.

Nilai S dan R dapat dihitung menggunakan data *weighted normalized* berdasarkan Persamaan 8 dan 9. Dari hasil perhitungan dicari nilai ideal dan anti ideal pada S dan R. Pada tahap ini nilai ideal adalah nilai yang terendah dari nilai S dan R yang tersedia dan sebaliknya untuk nilai anti ideal. Setelah itu dapat ditemukan nilai Q dengan menggunakan Persamaan 7. Nilai Q merupakan *scoring* akhir pada metode VIKOR yang dimiliki oleh setiap kriteria. Pemilihan alternatif terbaik akan dijelaskan pada sub subbab berikutnya berikutnya.



Gambar 4.4 Alur *Scoring* Menggunakan C-VIKOR

Metode C-VIKOR tidak menggunakan *input* data yang telah dinormalisasi seperti pada metode VIKOR melainkan menggunakan data kriteria awal. Proses normalisasi pada C-VIKOR menggunakan konsep non linier. Hal tersebut merupakan perbedaan antara metode VIKOR dan C-VIKOR. Sebelum dilakukan proses normalisasi nilai ideal, maksimum, dan minimum untuk setiap kriteria perlu ditetapkan terlebih dahulu. Kemudian perhitungan normalisasi dapat dilakukan menggunakan Persamaan 32.

$$n_{ij} = 1 - e^{-\frac{|f_{ij}-T_j|}{A_j}} \quad (32)$$

Keterangan:

- n_{ij} = nilai normalisasi pada alternatif i kriteria j
- f_{ij} = nilai kriteria awal pada alternatif i kriteria j
- T_j = nilai ideal untuk kriteria j

$$A_j = \begin{cases} 1, & \text{jika elemen dari kriteria nilai} \\ & \text{normalisasi dari 0 sampai 1} \\ \max\{f_j^{max}, T_j\} - \min\{f_j^{min}, T_j\} \end{cases}$$

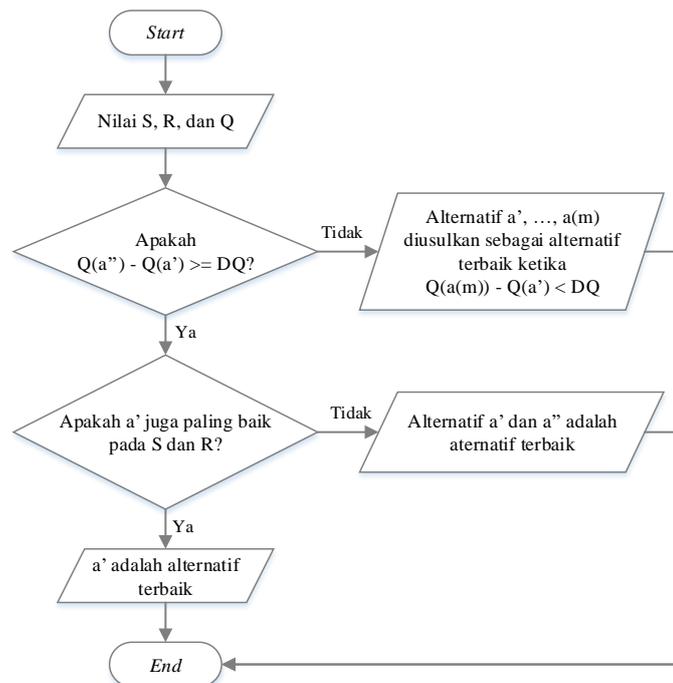
f_j^{max} = nilai maksimal kriteria awal pada kriteria j

f_j^{min} = nilai minimal kriteria awal pada kriteria j

Data bobot kriteria kemudian dilibatkan untuk menentukan nilai *weighted normalized*. Data normalisasi yang telah dihitung akan dikalikan dengan data bobot setiap kriteria. Tahapan berikutnya sama dengan yang dilakukan pada metode VIKOR.

4.3.3 Mekanisme Penentuan Alternatif Terbaik

Hasil *scoring* pada tahap sebelumnya akan digunakan untuk menentukan alternatif terbaik. Pada metode VIKOR dan C-VIKOR proses penentuan bukan hanya berdasarkan nilai saja namun ada dua kondisi yang perlu diperiksa. Kesimpulan alternatif yang terbaik akan diketahui setelah dua kondisi tersebut telah diperiksa. Alur penentuan alternatif terbaik pada metode VIKOR dan C-VIKOR dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Alur Pemilihan Alternatif Terbaik

Keterangan:

a'	= alternatif terbaik berdasarkan nilai Q (nilai terendah)
a''	= alternatif terbaik kedua
$a(m)$	= alternatif ke- m terbaik
$Q(a')$	= nilai Q untuk a'
$Q(a'')$	= nilai Q untuk a''
DQ	= $1/(M-1)$
M	= jumlah alternatif

Nilai S, R, dan Q akan digunakan untuk menentukan alternatif terbaik pada metode VIKOR dan C-VIKOR. Kondisi pertama yang perlu dicek adalah apakah persamaan yang tertera pada Gambar 4.5 terpenuhi. Nilai yang digunakan untuk memeriksa kondisi pertama adalah nilai Q. Nilai tersebut digunakan untuk menyusun *ranking*. Apabila kondisi pertama terpenuhi maka perlu diperiksa untuk kondisi kedua yaitu kondisi *ranking* yang dihasilkan oleh nilai S dan R. Apabila alternatif pertama berdasarkan pada *ranking* Q juga merupakan alternatif pertama pada *ranking* S dan R maka kondisi terpenuhi sehingga alternatif tersebut merupakan alternatif terbaik. Jika kondisi pertama tidak terpenuhi maka akan dicari beberapa alternatif sebagai alternatif terbaik. Hal tersebut menandakan bahwa alternatif terbaik merupakan kumpulan dari beberapa alternatif. Kemudian jika kondisi kedua yang tidak terpenuhi maka alternatif terbaik dari permasalahan adalah alternatif pertama dan kedua berdasarkan *ranking* dari nilai Q.

BAB 5

EVALUASI PEMILIHAN MOBILE PACKER MACHINE DENGAN MENGGUNAKAN MEREK PACKER EXISTING

Pada bab ini akan dijelaskan proses evaluasi pemilihan alternatif terbaik, analisis hasil perhitungan TCO, analisis hasil keputusan metode MCDM, dan analisis risiko keputusan.

5.1 Perhitungan Kriteria Finansial

Total cost of ownership terdiri dari *acquisition cost*, *maintenance cost*, *operational cost*, dan *consequential cost*. Proses perhitungan untuk setiap komponen biaya akan melibatkan model simulasi. Model tersebut perlu divalidasi sebelum dilakukan perhitungan akhir dari TCO. Maka dari itu pada subbab ini akan dijelaskan mengenai proses validasi model simulasi. Selain itu juga terdapat penjelasan mengenai pengumpulan data dan hasil perhitungan TCO dari model simulasi yang telah disusun dan divalidasi.

5.1.1 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan di dalam perhitungan didapatkan dari data historis operasi dan *maintenance* Pabrik Tuban. Data historis *maintenance* menampilkan jenis *maintenance action*, kegiatan perbaikan, biaya perbaikan, durasi perbaikan. Pada Tabel 5.1 terdapat kode untuk jenis *maintenance action* yang digunakan pada sistem informasi perusahaan.

Tabel 5.1 Kode untuk *Maintenance Action* pada Sistem Informasi Perusahaan

Kode	<i>Maintenance Action</i>
PM01	<i>Breakdown Maintenance</i>
PM02	<i>Corrective Maintenance</i>
PM03	<i>Preventive Maintenance</i>
PM04	<i>Predictive Maintenance</i>
PM06	<i>Refurbishment</i>
PM11	<i>Service</i>
PM19	<i>Planned Maintenance</i>

Pada proses pengolahan data kerusakan yang termasuk dalam kode PM01 dan PM02 akan digolongkan ke dalam *corrective maintenance* yang kemudian akan digunakan untuk menghitung *corrective maintenance cost*. Sedangkan data kerusakan dengan kode selain itu akan digolongkan menjadi *preventive maintenance*. Hal ini dikarenakan PM03 hingga PM19 merupakan kegiatan perbaikan yang telah dijadwalkan dan tidak dijadwalkan untuk beroperasi. Maka dari itu ketika kegiatan perbaikan berlangsung tidak mengganggu proses produksi.

Kerusakan yang termasuk dalam *breakdown* dan *corrective* kemudian juga akan diklasifikasi menjadi beberapa jenis kerusakan. Proses klasifikasi bertujuan untuk melihat probabilitas terjadinya jenis kerusakan masing-masing. Klasifikasi kerusakan dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Klasifikasi Jenis Kerusakan pada *Breakdown* dan *Corrective Maintenance*

Kode	Jenis Kerusakan
1	Persiapan dan proses <i>overhaul</i> untuk mesin <i>packer</i>
2	Kerusakan pada komponen dari mesin <i>packer</i>
3	Kerusakan pada komponen listrik dari mesin <i>packer</i>

Pada sistem informasi perusahaan terdapat berbagai macam kerusakan dan perbaikan yang dilakukan. Apabila semua jenis kerusakan dimodelkan maka *input* jenis kerusakan akan banyak sehingga menyebabkan model menjadi terlalu kompleks. Klasifikasi jenis kerusakan merupakan langkah yang bisa dilakukan untuk menyederhanakan *input* yang ada. Proses klasifikasi didasari oleh perbaikan atau kerusakan mesin pada komponen bagian apa. Kegiatan *overhaul* dan juga persiapannya termasuk di dalam kerusakan yang pertama. Kerusakan pada komponen mekanis mesin akan digolongkan menjadi kelompok dua. Seperti contoh apabila *spout* mengalami kerusakan dan diperbaiki maka kerusakan tersebut termasuk dalam jenis kerusakan yang kedua. Lalu apabila terdapat komponen listrik dari mesin yang mengalami kerusakan maka akan digolongkan menjadi jenis kerusakan ketiga.

Input data yang diperlukan untuk model perhitungan akan ditampilkan pada Tabel 5.3. Sedangkan data keseluruhan yang didapatkan dari sistem informasi perusahaan akan disajikan pada lampiran.

Tabel 5.3 *Input Data* untuk Model Simulasi

<i>Input</i>	<i>Alternatif HB</i>	<i>Alternatif CP</i>	<i>Keterangan</i>
<i>Acquisition Cost</i>	Rp 951.159.774	Rp 889.595.696	Harga sudah termasuk pajak, <i>delivery</i> , dan pemasangan
Konsumsi Listrik	139.714,56 kWh/tahun	172.800 kWh/tahun	Didapatkan dari kapasitas produksi per tahun dan durasi operasi
Perencanaan Durasi Operasi	320 hari/tahun	320 hari/tahun	Durasi operasi dalam satu tahun yang telah direncanakan sebelumnya

Acquisition cost merupakan nilai biaya yang harus dikeluarkan perusahaan apabila ingin mengakuisisi mesin tersebut. *Acquisition cost* yang tertera pada Tabel 5.3 merupakan total biaya di dalam proses akuisisi yang terdiri dari biaya pembelian, pajak, administrasi, *delivery*, dan proses instalasi. Konsumsi listrik berguna untuk melakukan perhitungan *operational cost* per tahun. Perhitungan dilakukan sesuai dengan yang telah dijelaskan pada Bab 4. Perencanaan durasi operasi berguna untuk menentukan nilai *availability* dari setiap alternatif.

5.1.2 *Distribution Fitting*

Terdapat beberapa data yang perlu diolah sebelum dijadikan *input* model. Proses pengolahan tersebut adalah *distribution fitting*. Informasi yang dicari pada data diolah adalah parameter distribusi. Selain itu juga diperlukan probabilitas distribusi untuk jenis kerusakan pada *breakdown* dan *corrective maintenance*. Proses *distribution fitting* dilakukan menggunakan *software @RISK* dan *ARENA*. Pada Tabel 5.4 merupakan hasil *distribution fitting* dari keseluruhan data yang diperlukan.

Tabel 5.4 Data Parameter Distribusi untuk Kedua Alternatif

Data	Alternatif HB	Alternatif CP
<i>Preventive maintenance cost</i> (Rp)	Triangular(0;0;835100000)	Triangular(0;0;688346357)
<i>Time to failure</i> (hari)	13+WEIB(0,891;739)	5+WEIB(1,87;482)
<i>Performance</i> (%)	Triangular(98,47;100;100)	Normal(98,66;0,8)
<i>Reject Rate</i> (%)	Exponential(0,17%)	Exponential(0,23%)

Data yang telah ditemukan parameter distribusinya berguna untuk menjadi *input* pada model simulasi yang telah disusun. Pemilihan parameter distribusi berdasarkan nilai *chi-square* yang paling rendah dan yang sesuai dengan karakteristik data. Seperti pada *time to failure* digunakan distribusi *weibull* karena distribusi tersebut yang memiliki karakteristik kerusakan mesin. *Preventive maintenance cost* pada kedua alternatif memiliki parameter distribusi *triangular* karena dengan nilai *chi-square* rendah juga yang memiliki pola serupa dengan data.

Nilai *performance* dan *reject rate* digunakan untuk menghitung nilai *consequential cost* pada model. Parameter distribusi yang digunakan untuk *performance* berbeda karena menyesuaikan nilai *chi-square* dan pola dari data. Untuk *reject rate* masing-masing alternatif memiliki parameter *exponential*.

Data yang diperlukan untuk *input* model adalah kerusakan pada *breakdown* dan *corrective maintenance*. Data tersebut nantinya akan berguna di dalam perhitungan *corrective maintenance cost*. Pada Tabel 5.5 dan 5.6 dapat dilihat data-data yang telah diolah untuk masing-masing alternatif.

Tabel 5.5 Data Probabilitas Kerusakan dan Parameter Distribusi Alternatif HB

Kode	Parameter <i>Corrective Cost</i>	Probabilitas	Parameter TTR
1	-	-	-
2	-	-	-
3	Uniform(1528147;3200000)	100%	Uniform(2;3)

Data kerusakan yang ada untuk alternatif HB menunjukkan bahwa keseluruhan merupakan jenis kerusakan ketiga. Hal ini menandakan bahwa segala perbaikan yang dilakukan mulai dari tahun 2012 hingga 2019 dimaksudkan untuk memperbaiki kerusakan pada komponen mekanis mesin. Dikarenakan hanya ada satu jenis kerusakan yang terjadi maka probabilitas jenis kerusakan ketiga sebesar 100% dengan parameter biaya dan *time to repair* seperti yang tertera pada Tabel 5.5.

Tabel 5.6 Data Probabilitas Kerusakan dan Parameter Distribusi Alternatif CP

Kode	Parameter <i>Corrective Cost</i>	Probabilitas	Parameter TTR
1	-	-	-
2	Normal(10462733;131029)	71%	Uniform(1;2)
3	Triangular(0;0;10982169)	29%	Uniform(1;2)

Pada Tabel 5.6 dapat dilihat data kerusakan yang termasuk *breakdown* dan *corrective maintenance* pada alternatif CP. Hanya terdapat dua jenis kerusakan yang memiliki parameter distribusi dan probabilitas terjadi yaitu jenis kerusakan kedua dan ketiga. Interpretasi dari probabilitas pada tabel tersebut adalah terdapat kemungkinan 71% kerusakan pada komponen mekanis (jenis 2) terjadi jika dilakukan simulasi kerusakan. Begitu pun untuk jenis kerusakan ketiga dengan probabilitas sebesar 29%. Parameter untuk biaya dan *time to repair* juga tertera pada tabel tersebut

5.1.3 Validasi Model Simulasi

Model simulasi yang akan digunakan untuk menghitung nilai TCO perlu diuji kecukupan jumlah replikasi dan validasi terlebih dahulu sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Uji jumlah replikasi bertujuan untuk mengevaluasi nilai *error* dan jumlah replikasi yang diperlukan untuk model. Proses validasi berguna untuk memastikan model simulasi mampu merepresentasikan kondisi aktual dengan cara melakukan uji statistik antara *output* simulasi dengan *output* aktual.

5.1.3.1 Jumlah Replikasi

Data yang akan dijadikan sebagai dasar perhitungan jumlah replikasi adalah realisasi durasi operasi mesin per tahun. Pada tahap ini model untuk setiap alternatif disimulasikan sebanyak 1000 replikasi. Kemudian hasil dari simulasi direkap dan disajikan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Data Simulasi Durasi Operasi Alternatif HB

Statistik	Data
Rata-rata	319,12 hari
Standar deviasi	1,51 hari
N	1000

Proses perhitungan jumlah replikasi akan menggunakan persamaan *half width* (hw). Nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai *relative error* sebesar 5%. Apabila nilai hw lebih besar dari *relative error* maka jumlah replikasi yang telah dilakukan kurang. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung nilai hw .

$$hw = \frac{(t_{n-1, \frac{\alpha}{2}})s}{\sqrt{n}} \quad (33)$$

Pada alternatif HB standar deviasi sampel durasi operasi mesin dalam setahun dan disimulasikan sebanyak 1000 kali adalah 319,12 hari. Angka tersebut kemudian akan dikalikan dengan nilai t-tabel yang perlu dicari dengan nilai $\alpha = 5\%$ dan *degree of freedom* sebesar $N - 1 = 999$. Maka nilai *half width* untuk alternatif HB adalah sebagai berikut.

$$hw = \frac{\left(t_{999, \frac{0,05}{2}}\right)1,51}{\sqrt{1000}}$$

$$hw = 0,0934$$

Kemudian nilai hw dibandingkan dengan nilai *relative error* (y) yang telah ditetapkan dan harus memenuhi pertidaksamaan sebagai berikut.

$$\frac{hw}{|\bar{x}|} \leq y \quad (34)$$

$$\frac{0,0934}{|319,12|} \leq 5\%$$

$$0,029\% \leq 5\%$$

Pertidaksamaan 34 telah dipenuhi oleh model. Maka dari itu dengan jumlah replikasi sebesar 1000 kali untuk model dari alternatif HB dapat dikatakan telah cukup untuk dilakukan analisis lebih lanjut. Berikutnya model alternatif CP juga dilakukan perhitungan jumlah

replikasi. Pada Tabel 5.8 dapat dilihat hasil perhitungan jumlah replikasi untuk alternatif CP.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Jumlah Replikasi Alternatif CP

Statistik	Data
Rata-rata	314,43 hari
Standar deviasi	1,28 hari
N	1000
$t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$	1,96234
Half width	0,0797
$\frac{hw}{ \bar{x} }$	0,025%

Pada Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa nilai hw/\bar{x} sebesar 0,025%. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai y sebesar 5%. Berdasarkan Persamaan 34 maka nilai hw/\bar{x} lebih kecil dari y sehingga persamaan tersebut terpenuhi. Jumlah replikasi sebesar 1000 untuk model alternatif CP dikatakan sudah cukup.

5.1.3.2 Validasi

Proses validasi dilakukan dengan menggunakan data yang sama seperti pada perhitungan jumlah replikasi yaitu durasi operasi mesin selama setahun. Pada Tabel 5.9 dapat dilihat data yang dibutuhkan untuk melakukan validasi model untuk alternatif HB.

Tabel 5.9 Data Durasi Operasi HB untuk Validasi Model Simulasi

Statistik	Durasi Operasi pada Simulasi	Durasi Operasi Historis
Rata-rata	319,12 hari	318,38 hari
Standar deviasi	1,51 hari	1,69 hari
N	1000	8
<i>t-critical</i>	1,96232	

Validasi dilakukan dengan melakukan uji statistik menggunakan *t-test*. Uji hipotesis akan dilakukan untuk menguji apakah nilai rata-rata durasi operasi mesin pada simulai (μ_1) dan rata-rata durasi operasi historis

(μ_2) dapat dikatakan. Terdapat hipotesis yang digunakan sebelum melakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 &= \mu_2 \\ H_a: \mu_1 &\neq \mu_2 \end{aligned} \quad (35)$$

Hipotesis nul menyatakan bahwa rata-rata durasi operasi mesin pada simulasi (μ_1) sama dengan rata-rata durasi operasi historis (μ_2). Hipotesis alternatif menyatakan bahwa kedua rata-rata dapat dikatakan memiliki nilai yang berbeda. Kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$Sp = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-1}} \quad (36)$$

$$Sp = \sqrt{\frac{(999)1,51^2 + (7)1,69^2}{1000+8-1}}$$

$$Sp = 1,5059$$

Apabila nilai Sp telah dihitung maka langkah berikutnya adalah menghitung nilai t-statistik dari data dan nilai Sp. Berikut merupakan persamaan yang digunakan dan juga proses perhitungan nilai t-statistik.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (37)$$

$$t = \frac{(319,12 - 318,38) - (0)}{1,5059 \sqrt{\frac{1}{1000} + \frac{1}{8}}}$$

$$t = 1,3894$$

Jika nilai t-statistik terletak pada antara *acceptance range*, yaitu $-t\text{-critical} \leq t\text{-statistik} \leq t\text{-critical}$, maka tidak ada bukti yang cukup untuk menolak H_0 . Jika melihat dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka nilai t-statistik berada pada *acceptance range* karena $-1,96232 \leq 1,3894 \leq 1,96232$. Maka dari itu di dalam uji hipotesis yang dilakukan

tidak ada cukup bukti untuk menolak H_0 sehingga dapat dikatakan bahwa rata-rata data simulasi sama dengan rata-rata data historis. Dengan kata lain model simulasi alternatif HB dapat dikatakan valid sehingga proses analisis hasil model simulasi dapat dilakukan.

Model simulasi untuk alternatif CP juga perlu divalidasi. Pada Tabel 5.10 disajikan rekapitulasi perhitungan untuk validasi model alternatif CP.

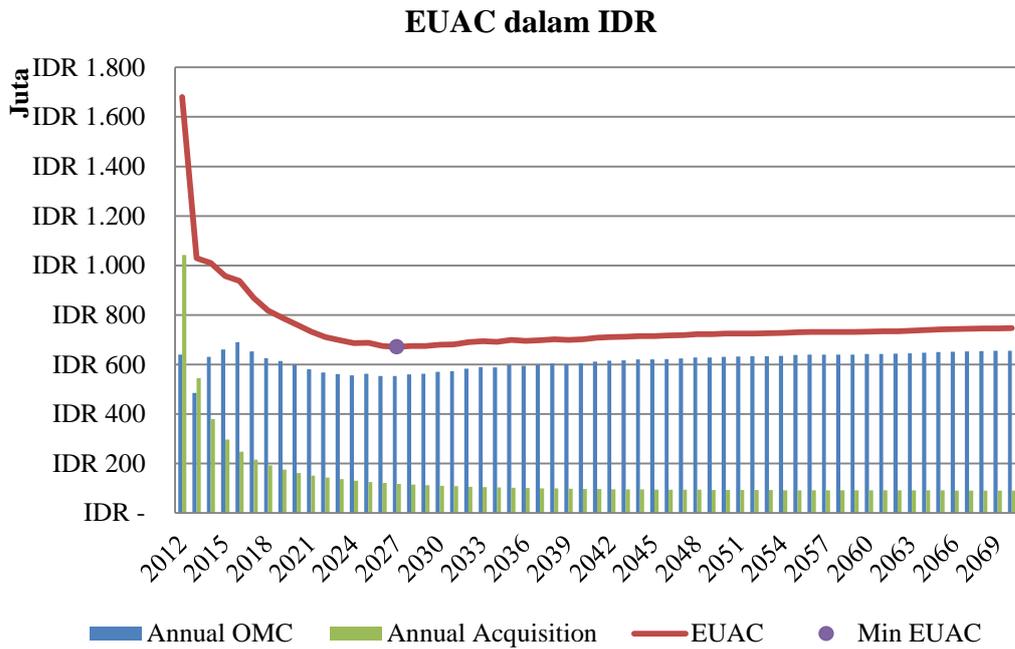
Tabel 5.10 Rekapitulasi Perhitungan untuk Validasi Model Alternatif CP

Statistik	Durasi Operasi pada Simulasi	Durasi Operasi Historis
Rata-rata	314,43 hari	314,38 hari
Standar deviasi	1,28 hari	2,39 hari
N	1000	8
<i>t-critical</i>	1,96232	
<i>Sp</i>	1,2949	
<i>t-statistik</i>	0,1226	

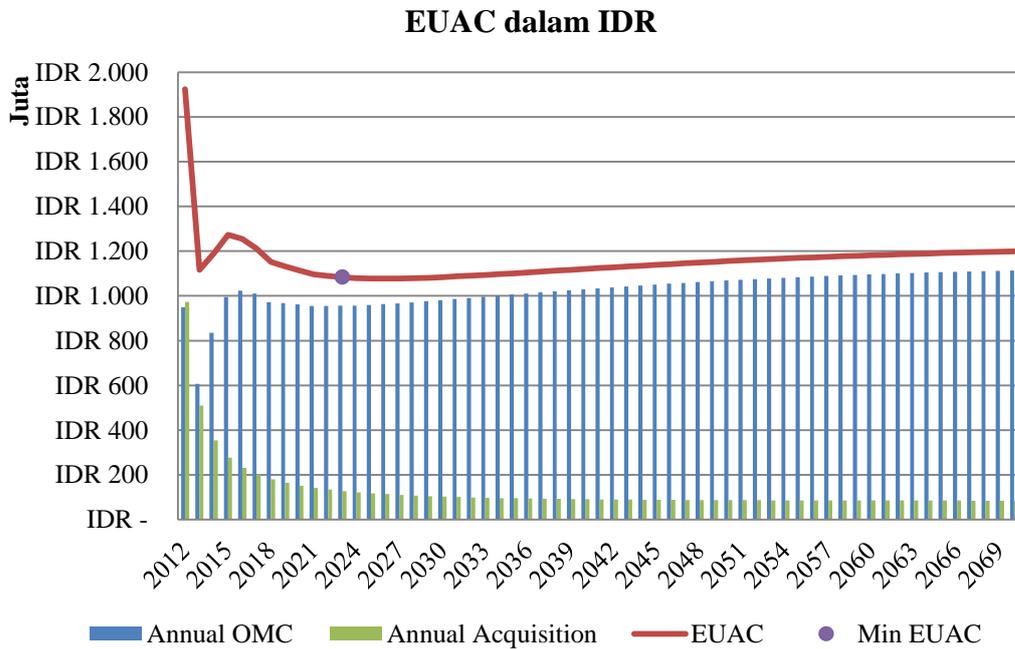
Untuk validasi model langkah awal adalah mengidentifikasi hipotesis awal. Pada validasi model alternatif CP hipotesis yang digunakan sama dengan yang tertera pada Persamaan 35. Kemudian untuk menentukan kesimpulan perlu dilihat nilai *t-statistik* untuk dilihat apakah masih berada dalam *acceptance range*. Nilai *t-statistik* untuk model alternatif CP, dapat dilihat pada Tabel 5.10, sebesar 0,1226. Nilai tersebut terletak di antara -1,96232 dan 1,96232. Maka dari itu tidak ada bukti yang cukup untuk menolak H_0 . Sehingga dapat dikatakan bahwa model simulasi untuk alternatif CP adalah valid.

5.1.4 Hasil Simulasi: Nilai EUAC dan Umur Ekonomis

Pada Gambar 5.1 dan 5.2 tertera grafik pergerakan nilai EUAC untuk satu sampel replikasi.



Gambar 5.1 Grafik Pergerakan EUAC pada Satu Sampel Simulasi (Alternatif HB)



Gambar 5.2 Grafik Pergerakan EUAC pada Satu Sampel Simulasi (Alternatif CP)

Pada Gambar 5.1 dan 5.2 dapat dilihat pergerakan dari nilai *annual acquisition* dan *annual OMC (operational, maintenance, dan consequential)*. Nilai EUAC merupakan total dari keseluruhan nilai *annual* tersebut. Jika dilihat

pada grafik nilai EUAC semakin lama semakin menurun. Hanya saja pada satu waktu atau periode tertentu nilai EUAC akan mencapai titik terendah dan pada periode berikutnya akan bernilai lebih tinggi. Hal ini dikarenakan pada periode berikutnya nilai *annual OMC* lebih tinggi dari tahun sebelumnya sedangkan nilai *annual acquisition* tidak mengalami penurunan yang signifikan. Hal tersebut mengimplikasikan bahwa semakin lama mesin dioperasikan maka nilai tahunan dari *operational*, *maintenance*, dan *consequential* akan mengalami peningkatan.

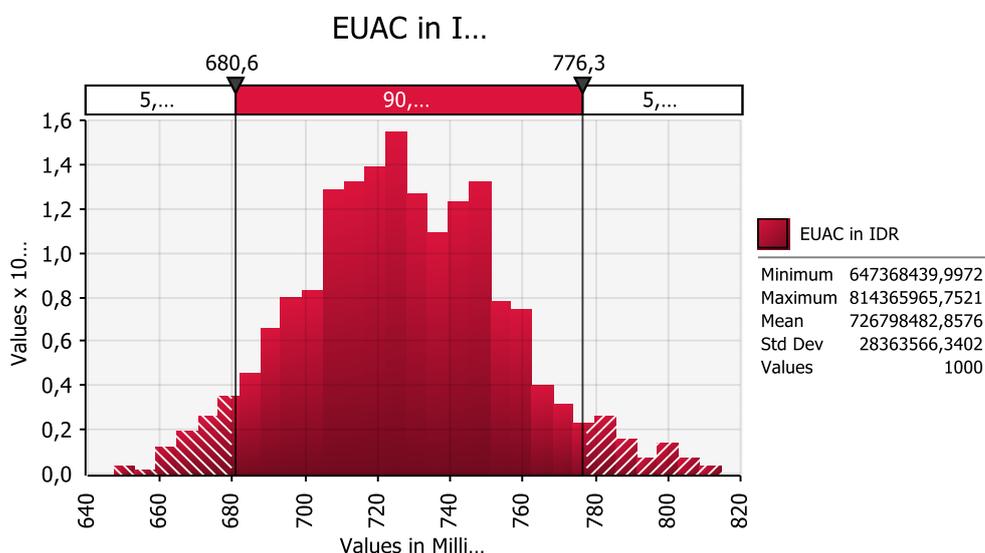
Dari Gambar 5.1 dan 5.2 dapat dilihat perbedaan pergerakan EUAC pada kedua alternatif. Jika melihat dalam skala besar maka dapat terlihat pergerakan nilai EUAC pada satu sampel simulasi alternatif HB terletak lebih rendah dibandingkan dengan alternatif CP. Mulai dari 2020 hingga seterusnya nilai EUAC pada alternatif HB terletak dalam *range* Rp 600 juta hingga Rp 800 juta. Sedangkan pada alternatif CP terletak dalam *range* Rp 1.000 juta hingga Rp 1.200 juta. Ini menandakan jika dilihat pada salah satu sampel nilai EUAC dari alternatif HB lebih rendah dari alternatif CP. Dengan kata lain secara biaya alternatif HB lebih ekonomis dibandingkan alternatif CP. Jika melihat hanya dari nilai *annual acquisition* maka alternatif HB sedikit lebih tinggi dengan kata lain lebih ekonomis alternatif CP. Namun dari aspek *annual OMC* alternatif CP jauh lebih besar pengeluarannya dibandingkan alternatif HB. Hal tersebut yang menyebabkan nilai EUAC atau biaya keseluruhannya alternatif CP sangat tinggi.

Nilai terendah pada keseluruhan pergerakan EUAC disebut sebagai minimum EUAC. Pada Gambar 5.1 dan 5.2 dapat dilihat masing-masing nilai minimum EUAC untuk setiap alternatif. Pada satu sampel replikasi alternatif HB pasti memiliki nilai minimum EUAC yang lebih rendah dari alternatif CP. Kondisi tersebut dikarenakan pergerakan nilai EUAC dari alternatif HB lebih rendah seperti yang telah dibahas sebelumnya.

Periode dimana terjadinya minimum EUAC merupakan indikator umur ekonomis. Nilai umur ekonomis sendiri didapatkan dengan cara mengurangi periode tersebut dengan periode akuisisi mesin. Alternatif HB diakuisisi pada tahun 1994. Pada sampel simulasi yang tertera pada Gambar 5.1 nilai minimum EUAC terjadi pada tahun 2027. Maka umur ekonomis alternatif HB adalah 33 tahun. Sedangkan alternatif CP minimum EUAC terjadi pada tahun 2023, dapat

dilihat pada Gambar 5.2. Maka dari itu umur ekonomis alternatif CP adalah 26 tahun. Jika dibandingkan maka secara umur ekonomis alternatif HB lebih baik karena memiliki umur ekonomis yang lebih lama.

Nilai minimum EUAC dan umur ekonomis dari alternatif HB lebih baik dibandingkan dengan alternatif CP, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Namun dengan catatan bahwa perbandingan yang telah dilakukan berdasarkan salah satu sampel simulasi, atau satu replikasi. Maka dari itu untuk melihat apakah kondisi tersebut konsisten apabila *uncertainty* dilibatkan maka perlu dilakukan simulasi model yang telah disusun sebelumnya.

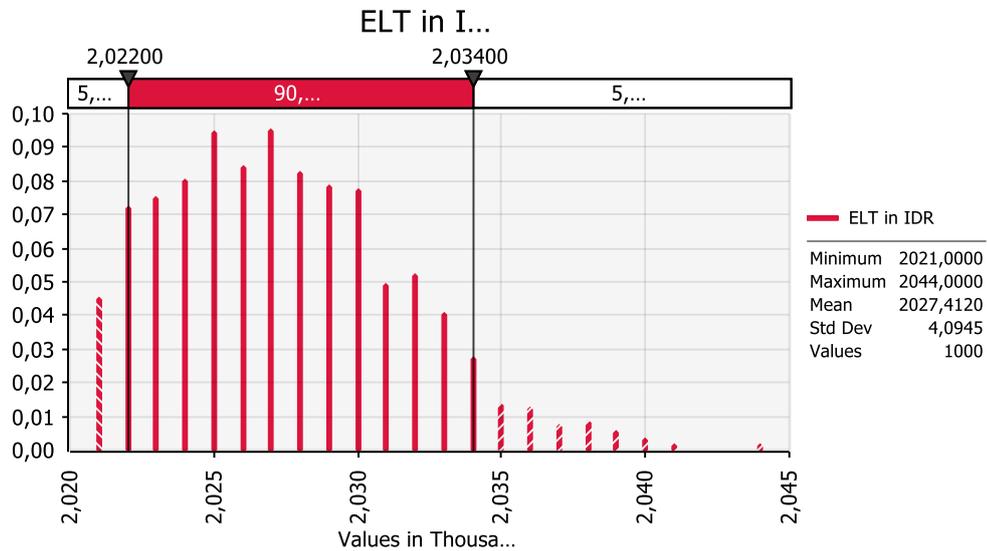


Gambar 5.3 Profil Distribusi Minimum EUAC untuk Alternatif HB

Pada Gambar 5.3 dapat dilihat nilai terendah dari minimum UEAC sebesar Rp 647.368.439 dan nilai terbesar minimum EUAC adalah Rp 814.365.965. Hal tersebut menandakan bahwa nilai minimum EUAC untuk alternatif HB bersifat *uncertain* dalam rentang tersebut.

Jika melihat dari grafik keseluruhan persebaran data cenderung membentuk distribusi normal. Minimum EUAC yang sering muncul berada dalam rentang 90% di tengah persebaran data. Nilai rata-rata minimum EUAC untuk hasil simulasi model alternatif HB adalah Rp 726.798.482. Nilai rata-rata berada

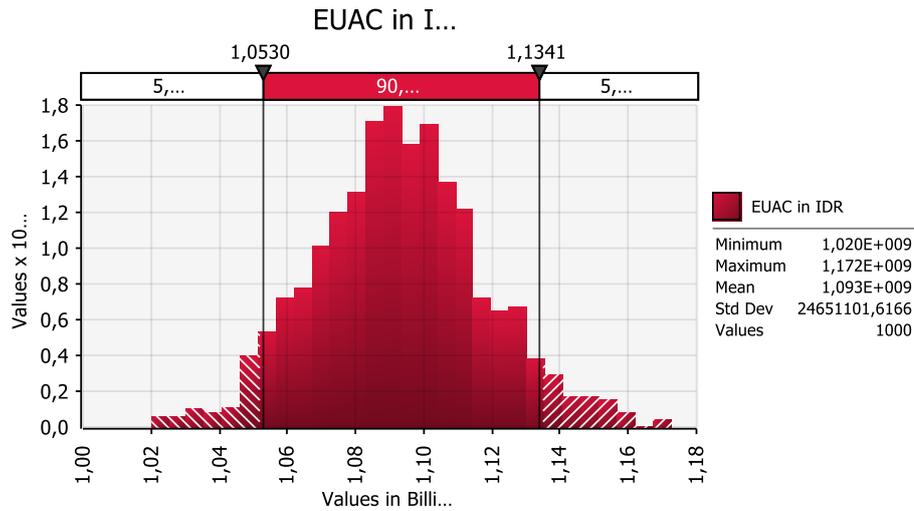
di sekitar pertengahan area 90% persebaran data dengan nilai standar deviasi sebesar Rp 28.363.566.



Gambar 5.4 Profil Distribusi Umur Ekonomis untuk Alternatif HB

Pada Gambar 5.4 dapat dilihat persebaran tahun dimana minimum EUAC terjadi dari hasil simulasi alternatif HB. Data tersebut dapat diubah dalam bentuk umur ekonomis dengan cara dikurangi dengan tahun akuisisi mesin, maka dikurangi dengan 1994.

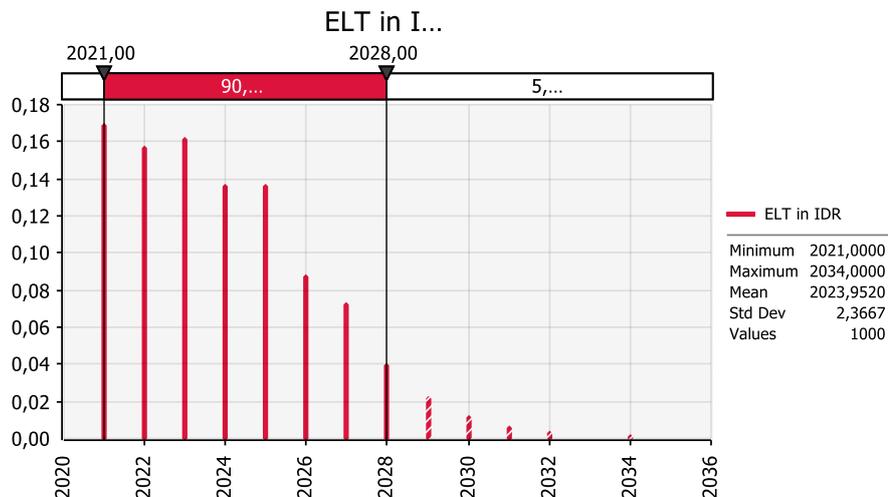
Nilai umur ekonomis terletak antara nilai minimum sebesar 27 tahun, pada tahun 2021 dan nilai maksimum sebesar 50 tahun, pada tahun 2044. Data umur ekonomis sebesar 90% tersebar di antara 28 sampai 40 tahun, mulai dari tahun 2022 hingga 2034. Maka dari itu untuk umur ekonomis kurang dari 28 tahun dan lebih dari 40 tahun hanya sebesar 10% kejadian. Sedangkan untuk rata-rata umur ekonomis pada hasil simulasi sebesar 33 tahun, pada tahun 2027, dengan standar deviasi sebesar 4,09 tahun. Nilai modus terletak pada tahun 2026, umur ekonomis sebesar 32 tahun operasi mesin.



Gambar 5.5 Profil Distribusi Minimum EUAC untuk Alternatif CP

Nilai terendah dari minimum UEAC untuk alternatif CP sebesar Rp 1.020 juta dan nilai terbesar minimum EUAC adalah Rp 1.172 juta, dapat dilihat pada Gambar 5.5. Hal tersebut menandakan bahwa nilai minimum EUAC untuk alternatif HB bersifat *uncertain* dalam rentang tersebut.

Data cenderung membentuk distribusi normal dengan data muncul berada dalam rentang 90% di tengah persebaran data. Nilai rata-rata minimum EUAC untuk hasil simulasi model alternatif CP adalah Rp 1.093 juta. Nilai rata-rata berada di sekitar pertengahan area 90% persebaran data dengan nilai standar deviasi sebesar Rp 24.651.101.



Gambar 5.6 Profil Distribusi Umur Ekonomis untuk Alternatif CP

Persebaran tahun dimana minimum EUAC terjadi dari hasil simulasi alternatif HB dapat dilihat pada Gambar 5.6. Data tersebut dapat diubah dalam bentuk umur ekonomis dengan cara dikurangi dengan tahun akuisisi mesin yaitu tahun 1997.

Nilai umur ekonomis terletak antara nilai minimum sebesar 24 tahun, pada tahun 2021 dan nilai maksimum sebesar 37 tahun, pada tahun 2034. Data umur ekonomis sebesar 90% tersebar di antara 24 sampai 31 tahun, mulai dari tahun 2021 hingga 2028. Maka dari itu untuk umur ekonomis lebih dari 31 tahun hanya sebesar 10% kejadian. Sedangkan untuk rata-rata umur ekonomis pada hasil simulasi sebesar 26 tahun, pada tahun 2023, dengan standar deviasi sebesar 2,36 tahun. Nilai modus terletak pada tahun 2021, umur ekonomis sebesar 24 tahun operasi mesin.

Rekapitulasi data simulasi untuk kedua alternatif dapat dilihat pada Tabel 5.11. Dengan data tersebut dapat dilihat perbandingan antara kedua alternatif.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Simulasi Minimum EUAC dan Umur Ekonomis

	Statistik	Alternatif HB	Alternatif CP
Minimum EUAC (Rp)	Rata-rata	726.798.482	1.092.940.000
	S.deviasi	28.363.566	24.651.101
	Maksimum	814.365.965	1.020.000.000
	Minimum	647.368.439	1.172.000.000
Umur Ekonomis (tahun)	Rata-rata	33	26
	S.deviasi	4,09	2,36
	Maksimum	50	37
	Minimum	27	24

Berdasarkan hasil simulasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 nilai minimum EUAC yang dimiliki alternatif HB secara umum lebih baik dibandingkan dengan alternatif CP. Dengan nilai maksimum pada alternatif HB lebih kecil dari nilai minimum pada alternatif CP maka nilai minimum EUAC alternatif HB menang mutlak atau lebih baik. Hal ini sejalan dengan analisis pada hasil satu sampel replikasi simulasi yang telah dijelaskan sebelumnya. Sehingga jika ditinjau berdasarkan minimum EUAC alternatif HB lebih baik dibandingkan alternatif CP.

Dari kedua alternatif apabila ditinjau dari rata-rata umur ekonomis maka alternatif HB adalah yang lebih baik. Dengan umur ekonomis yang lebih panjang sebesar 33 tahun lebih besar dibandingkan 26 tahun. Namun demikian umur ekonomis dari alternatif CP masih memiliki kemungkinan lebih baik dari alternatif HB. Hal ini didasari oleh nilai maksimum dan minimum umur ekonomis dari masing-masing alternatif. Hal ini perlu dianalisis lebih lanjut jika ingin mengetahui secara probabilitas umur ekonomis alternatif HB lebih baik dari alternatif CP begitu pun sebaliknya. Analisis tersebut akan dilakukan di dalam evaluasi pemilihan pada subbab berikutnya.

5.2 Evaluasi Pemilihan Alternatif Terbaik

Proses evaluasi diawali dengan menghitung bobot setiap kriteria dari data yang ada menggunakan CRITIC. Kemudian dilanjutkan dengan penilaian alternatif dan penyusunan *ranking* menggunakan VIKOR dan C-VIKOR. Pada Tabel 5.12 dapat dilihat data yang dibutuhkan untuk melakukan evaluasi mesin *packer*.

Tabel 5.12 *Input Data* untuk Model Evaluasi

Kriteria	Alternatif	
	HB	CP
Umur Ekonomis	33	26
Minimum EUAC	726.798.482	1.092.940.000
Bobot Mesin	320	305
<i>Set-up time</i>	330	300

Umur ekonomis dan minimum EUAC yang digunakan di dalam model evaluasi merupakan nilai rata-rata dari simulasi yang telah dilakukan dan dijelaskan pada bagian sebelumnya. Sedangkan bobot mesin masing-masing alternatif memiliki satuan ton. *Set-up time* merupakan waktu mesin dipersiapkan setelah dipasang hingga dapat dioperasikan, dalam satuan detik. Bobot mesin dan *set-up time* merupakan nilai deterministik.

5.2.1 Pembobotan Kriteria

Sebelum dilakukan pembobotan data yang tertera pada Tabel 5.12 dinormalisasi. Proses normalisasi bertujuan untuk mengeliminasi satuan dari

semua kriteria sehingga dapat dilakukan perhitungan selanjutnya. Untuk melakukan perhitungan diperlukan nilai ideal dan anti-ideal untuk masing-masing kriteria. Nilai ideal merupakan nilai yang paling baik sedangkan nilai anti-ideal adalah nilai terburuk yang mungkin dimiliki oleh sebuah mesin pada kriteria tersebut. Pada Tabel 5.13 dapat dilihat nilai ideal dan anti-ideal untuk setiap kriteria.

Tabel 5.13 Nilai Ideal dan Anti-Ideal untuk Setiap Kriteria

Kriteria	Jenis Kriteria	Nilai Ideal	Nilai Anti-Ideal
Umur Ekonomis (tahun)	<i>Higher better</i>	50	20
Minimum EUAC (Rp)	<i>Lower better</i>	650.000.000	1.200.000.000
Bobot Mesin (ton)	<i>Lower better</i>	250	350
<i>Set-up time</i> (detik)	<i>Lower better</i>	300	600

Nilai ideal dan anti-ideal didapatkan dari pendapat *expert* mengenai setiap kriteria dan kemungkinan nilai pada setiap kriteria. Untuk umur ekonomis nilai ideal adalah nilai maksimum dari umur ekonomis pada simulasi salah satu. Untuk nilai minimumnya berasal dari pendapat *expert* begitu pun nilai yang lainnya.

Nilai ideal bukan selalu nilai yang lebih besar. Nilai ideal dan anti-ideal mengikuti jenis setiap kriteria, *lower better* atau *higher better*. Pada Tabel 5.13 dapat dilihat jenis dari masing-masing kriteria. Nilai ideal untuk kriteria *higher better*, seperti umur ekonomis, akan bernilai lebih besar dari anti-ideal. Sedangkan untuk kriteria *lower better*, seperti minimum EUAC, nilai ideal bernilai lebih kecil dibandingkan dengan anti-ideal.

Dengan nilai ideal dan anti-ideal yang telah diidentifikasi maka proses normalisasi data dapat dilakukan. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk normalisasi kriteria umur ekonomis pada alternatif HB berdasarkan Persamaan 17.

$$x_{HB1} = \frac{f_{HB1} - f_1^-}{f_1^+ - f_1^-}$$

Keterangan:

f_{HB1} = 33 (data pada alternatif HB untuk kriteria umur ekonomis)

f_1^+ = 50 (nilai ideal pada kriteria umur ekonomis)

$f_1^- = 20$ (nilai anti-ideal pada kriteria umur ekonomis)

$$x_{HB1} = \frac{33-20}{50-20}$$

$$x_{HB1} = 0,433$$

Sehingga nilai normalisasi untuk kriteria umur ekonomis pada alternatif HB adalah 0,433. Nilai normalisasi yang semakin tinggi menandakan bahwa semakin baik karena semakin dekat dengan *ideal point*, bernilai 1. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk kriteria dengan jenis *lower better*, kriteria minimum EUAC pada alternatif HB.

$$x_{HB2} = \frac{f_{HB2} - f_2^-}{f_2^+ - f_2^-}$$

$$x_{HB2} = \frac{726,78e6 - 1.200e6}{650e6 - 1.200e6}$$

$$x_{HB2} = 0,86$$

Semua perhitungan dilakukan untuk keseluruhan kriteria pada setiap alternatif dan disajikan pada Tabel 5.14. Perhitungan dilakukan menyesuaikan dengan jenis kriteria.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Normalisasi

Kriteria	Alternatif HB	Alternatif CP
Umur Ekonomis	0,433	0,200
Minimum EUAC	0,860	0,195
Bobot Mesin	0,300	0,450
Set-up time	0,900	1,000

Untuk melakukan konfirmasi apakah perhitungan sesuai dapat dibandingkan dengan data awal pada Tabel 5.12. Pada kriteria umur ekonomis nilai alternatif HB lebih baik sebesar 33 jika dibandingkan dengan 26. Hal ini dikarenakan kriteria merupakan *higher better*. Jika dinormalisasi yang terjadi adalah nilai pada alternatif HB lebih tinggi dibandingkan dengan alternatif CP karena nilai normalisasi berdasarkan konsep jarak dengan *ideal point*. Nilai

normalisasi merepresentasikan nilai jarak dengan *ideal point* atau disebut dengan nilai ideal. Nilai ideal pada kriteria umur ekonomis adalah 50. Nilai 33 lebih dekat dengan nilai 50 jika dibandingkan dengan jarak nilai 26 dengan 50. Maka dari itu nilai normalisasi pada alternatif HB lebih tinggi jika dibandingkan dengan alternatif CP.

Tahap berikutnya adalah menghitung standar deviasi untuk setiap kriteria. Berikut merupakan rekapitulasi standar deviasi dari setiap kriteria.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Perhitungan Standar Deviasi Kriteria

Kriteria	Standar Deviasi
Umur Ekonomis	0,117
Minimum EUAC	0,333
Bobot Mesin	0,075
<i>Set-up time</i>	0,050

Pada pembobotan menggunakan CRITIC perlu dicari nilai korelasi antar kriteria. Maka dari itu berikut merupakan rekapitulasi nilai korelasi antar kriteria berupa matriks.

Tabel 5.16 Matriks Korelasi antar Kriteria

Korelasi	Umur Ekonomis	Minimum EUAC	Bobot Mesin	<i>Set-up time</i>
Umur Ekonomis	1	1	-1	-1
Minimum EUAC	1	1	-1	-1
Bobot Mesin	-1	-1	1	1
<i>Set-up time</i>	-1	-1	1	1

Korelasi antar kriteria yang tertera pada Tabel 5.16 berguna untuk menghitung nilai konflik. Dimana nilai konflik akan dihitung dengan menjumlahkan nilai 1-korelasi sesuai dengan Persamaan 18. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai konflik untuk kriteria umur ekonomis.

$$\text{Nilai konflik} = \sum_{k=1}^m r_{jk}$$

$$\text{Nilai konflik} = (1 - 1) + (1 - 1) + (1 - (-1)) + (1 - (-1))$$

$$\text{Nilai konflik} = 4$$

Rekapitulasi perhitungan nilai konflik yang ada pada setiap kriteria dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Nilai Konflik pada Setiap Kriteria

Kriteria	Nilai Konflik
Umur Ekonomis	4
Minimum EUAC	4
Bobot Mesin	4
<i>Set-up time</i>	4

Nilai standar deviasi dan konflik digunakan untuk menghitung nilai informasi yang dibawa oleh setiap kriteria. Nilai informasi yang kemudian akan menentukan bobot dari setiap kriteria. Perhitungan nilai informasi dilakukan dengan cara mengkalikan nilai standar deviasi dengan nilai konflik yang dimiliki oleh setiap kriteria sesuai dengan Persamaan 19. Kemudian nilai informasi dari setiap kriteria dibagi dengan keseluruhan nilai informasi yang ada untuk menemukan bobot kriteria, tertera pada Persamaan 20. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk mencari bobot kriteria umur ekonomis.

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk})$$

$$C_1 = \sigma_1 \sum_{k=1}^4 (1 - r_{1k})$$

$$C_1 = 0,117 \times 4$$

$$C_1 = 0,467$$

$$w_j = C_j [\sum_{k=1}^m C_k]^{-1}$$

$$w_1 = C_1 [\sum_{k=1}^4 C_k]^{-1}$$

$$w_1 = 0,467 [2,298]^{-1}$$

$$w_1 = 0,203$$

Perhitungan nilai informasi dan bobot kemudian dilakukan kepada semua kriteria. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Informasi dan Bobot

Kriteria	Nilai Informasi	Bobot
Umur Ekonomis	0,467	0,203
Minimum EUAC	1,331	0,579
Bobot Mesin	0,300	0,131
<i>Set-up time</i>	0,200	0,087

Pada Tabel 5.18 dapat dilihat bobot dari setiap kriteria. Bobot tertinggi di antara yang lain adalah 0,579 yang dimiliki oleh kriteria minimum EUAC. Nilai bobot bernilai paling besar dikarenakan nilai informasi yang dibawa paling besar. Dimana jika melihat asal nilai informasi maka dapat dikatakan bahwa kriteria EUAC memiliki standar deviasi dan nilai konflik paling besar. Hal ini bisa dilihat pada Tabel 5.15 dan 5.17. Karena nilai konflik pada keseluruhan kriteria sama maka yang paling berpengaruh adalah standar deviasi. Kriteria yang memiliki bobot terbesar kedua adalah umur ekonomis sebesar 0,203 diikuti oleh bobot mesin dengan bobot 0,131 dan *set-up time* dengan bobot 0,087.

Perhitungan bobot menggunakan CRITIC bergantung dengan informasi yang dimiliki oleh data. Dalam proses perhitungan tidak ada tahapan yang melibatkan unsur subjektivitas, kecuali pada penentuan nilai ideal dan anti-ideal.

5.2.2 *Scoring dan Pemilihan Alternatif*

Proses *scoring* dan pemilihan akan dilakukan dengan dua metode yaitu VIKOR dan C-VIKOR. Proses *scoring* dan pemilihan pada masing-masing metode akan disajikan pada bagian berikut ini.

5.2.2.1 VIKOR

Input data yang diperlukan untuk metode VIKOR adalah bobot kriteria dan data yang telah dinormalisasi. Bobot kriteria yang tertera pada Tabel 5.18 akan digunakan di dalam perhitungan. Sedangkan data yang telah dinormalisasi pada tahap pembobotan akan dilakukan penyesuaian dengan membalik nilai pada data. Nilai yang ada pada data normalisasi yang tertera pada Tabel 5.14 akan dikalikan dengan -1 dan kemudian dijumlahkan dengan 1. Hal ini bertujuan untuk mengubah nilai 0 pada data

menjadi nilai terbaik sedangkan nilai 1 merupakan nilai terburuk. Untuk contoh perhitungan sebagai berikut.

$$HB_1 \text{ normalisasi} = 1 - HB_1 \text{ awal}$$

$$HB_1 \text{ normalisasi} = 1 - 0,433$$

$$HB_1 \text{ normalisasi} = 0,567$$

Langkah perhitungan di atas juga dilakukan untuk semua data. Berikut merupakan rekapitulasi normalisasi untuk metode VIKOR.

Tabel 5.19 Data Normalisasi untuk Metode VIKOR

Kriteria	Alternatif HB	Alternatif CP
Umur Ekonomis	0,567	0,800
Minimum EUAC	0,140	0,805
Bobot Mesin	0,700	0,550
Set-up time	0,100	0,000

Tahap berikutnya adalah mengkalikan nilai bobot setiap kriteria dengan data normalisasi untuk metode VIKOR. Tahap tersebut berguna untuk menyusun data *weighed normalized*. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk data kriteria umur ekonomis pada alternatif HB.

$$HB_1(w_n) = w_1 \times HB_1 \text{ normalisasi}$$

$$HB_1(w_n) = 0,203 \times 0,567$$

$$HB_1(w_n) = 0,115$$

Perhitungan di atas juga dilakukan untuk semua data. Berikut merupakan rekapitulasi *weighed normalized* untuk setiap kriteria pada setiap alternatif.

Tabel 5.20 Matriks *Weighed Normalized* Metode VIKOR

Kriteria	Alternatif HB	Alternatif CP
Umur Ekonomis	0,115	0,162
Minimum EUAC	0,081	0,467
Bobot Mesin	0,091	0,072
Set-up time	0,009	0,000

Nilai yang tertera pada Tabel 5.20 akan digunakan untuk menghitung nilai S dan R dengan rumus sesuai pada Persamaan 8 dan 9. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai S dan R untuk alternatif HB.

$$S_i = \sum_{j=1}^M w_j \frac{[(f_{ij})_{max} - f_{ij}]}{[(f_{ij})_{max} - (f_{ij})_{min}]}$$

$$S_{HB} = \sum_{j=1}^4 (HB_j(w_n))$$

$$S_{HB} = 0,115 + 0,081 + 0,091 + 0,009$$

$$S_{HB} = 0,296$$

$$R_i = \text{Max}\{w_j[(f_{ij})_{max} - f_{ij}]/[(f_{ij})_{max} - (f_{ij})_{min}]\}$$

$$R_{HB} = \text{Max}\{HB_j(w_n)\}$$

$$R_{HB} = \text{Max}\{0,115; 0,081; 0,091; 0,009\}$$

$$R_{HB} = 0,115$$

Perhitungan nilai S dan R untuk alternatif CP juga menggunakan persamaan di atas. Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan nilai S dan R untuk kedua alternatif.

Tabel 5.21 Nilai S dan R untuk setiap Alternatif

Alternatif	Nilai S	Nilai R
HB	0,296	0,115
CP	0,701	0,467

Nilai S dan R yang semakin kecil adalah semakin baik. Nilai S sendiri merupakan nilai yang menggambarkan *maximum utility group* karena fungsi persamaannya adalah penjumlahan nilai. Sedangkan nilai R mewakili *individual regret*. Hal tersebut dikarenakan fungsi dari perhitungan nilai R adalah *max* atau mencari nilai terbesar. Dengan nilai yang besar menandakan bahwa alternatif tersebut buruk maka nilai R mencari penyesalan terbesar apabila memilih alternatif tersebut.

Metode VIKOR merupakan metode yang mampu mengakomodasi solusi kompromi atau dengan kata lain mampu mengakomodasi nilai *maximum utility group* dan *individual regret*. Pada perhitungan solusi kompromi (Nilai Q) diperlukan nilai v atau bobot strategi untuk *maximum utility group*. Nilai v yang biasa digunakan adalah 0,5 atau strategi menyeimbangkan dua nilai utilitas (Nilai S dan R). Maka dari itu nilai v yang akan digunakan adalah 0,5. Perhitungan nilai Q berdasarkan Persamaan 7. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai Q untuk alternatif HB.

$$Q_i = v \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)}$$

$$Q_{HB} = v \frac{(S_{HB} - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_{HB} - R^*)}{(R^- - R^*)}$$

Keterangan:

- S^* = 0,269 (nilai ideal pada nilai S)
- S^- = 0,701 (nilai anti-ideal pada nilai S)
- R^* = 0,115 (nilai ideal pada nilai R)
- R^- = 0,467 (nilai anti-ideal pada nilai R)

$$Q_{HB} = 0,5 \frac{(0,269 - 0,269)}{(0,701 - 0,269)} + (1 - 0,5) \frac{(0,115 - 0,115)}{(0,467 - 0,115)}$$

$$Q_{HB} = 0$$

Dengan proses perhitungan yang sama nilai Q untuk alternatif CP juga dicari. Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan nilai Q.

Tabel 5.22 Nilai Q untuk Setiap Alternatif

Alternatif	Nilai Q
HB	0
CP	1

Berdasarkan nilai Q maka alternatif yang terbaik adalah HB karena memiliki nilai Q yang paling rendah. Keputusan alternatif yang terbaik tidak hanya dilihat pada *ranking* yang disusun berdasarkan nilai Q namun juga perlu dilakukan pengecekan terhadap dua kondisi. Proses penentuan alternatif dijelaskan secara detail pada Sub Subbab 4.3.3 serta langkah-langkahnya tertera pada Gambar 4.5.

Ada dua kondisi yang perlu dipenuhi sebelum memutuskan alternatif yang terbaik. Pada kondisi pertama hasil keputusan harus memenuhi pertidaksamaan yang ada pada Persamaan 11.

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$$

Keterangan:

a' = alternatif terbaik pertama berdasarkan nilai Q (alternatif HB)

a'' = alternatif terbaik kedua berdasarkan nilai Q (alternatif CP)

N = jumlah alternatif

$$DQ = 1/(N - 1)$$

$$= 1/(2 - 1)$$

$$= 1$$

$$Q(CP) - Q(HB) \geq 1$$

$$1 - 0 \geq 1$$

$$1 \geq 1 \text{ (benar)}$$

Dengan terpenuhinya pertidaksamaan di atas maka kondisi pertama terpenuhi. Berikutnya perlu diperiksa untuk kondisi kedua yaitu *stability in decision making*. Pada bagian ini perlu dilihat apakah alternatif a' merupakan alternatif terbaik berdasarkan nilai S dan R. Untuk mempermudah proses perbandingan maka berikut adalah rekapitulasi nilai S, R, dan Q untuk setiap alternatif.

Tabel 5.23 Nilai S, R, dan Q pada Setiap Alternatif

Alternatif	Nilai S	Nilai R	Nilai Q
HB	0,296	0,115	0
CP	0,701	0,467	1

Dari Tabel 5.23 dapat dilihat bahwa alternatif HB memiliki nilai S, R, dan Q yang lebih rendah dibandingkan dengan alternatif CP. Maka dari itu kondisi kedua terpenuhi sehingga dapat dikatakan bahwa alternatif HB merupakan *compromise solution* berdasarkan metode VIKOR.

5.2.2.2 C-VIKOR

Perbedaan mendasar metode VIKOR dengan C-VIKOR adalah perhitungan di dalam proses normalisasi. Pada metode VIKOR perhitungan berdasarkan fungsi linier sedangkan pada C-VIKOR menggunakan fungsi non linier. Persamaan non linier tersebut dapat dilihat pada Persamaan 14.

Langkah pertama di dalam metode C-VIKOR adalah menentukan nilai ideal dari setiap kriteria dimana telah dilakukan sebelumnya, dapat dilihat hasilnya pada Tabel 5.13. Nilai ideal pada setiap kriteria akan disebut dengan T . Kemudian pada setiap kriteria, yang berjenis *higher better* mau pun *lower better*, dicari nilai maksimum dan minimumnya. Kemudian dihitung nilai A sesuai dengan persamaan berikut.

$$A_j = \max\{f_j^{max}, T_j\} - \min\{f_j^{min}, T_j\}$$

Keterangan:

T_j = nilai ideal pada kriteria j

f_j^{max} = nilai maksimum elemen pada kriteria j

f_j^{min} = nilai minimum elemen pada kriteria j

Setelah nilai A untuk setiap kriteria dihitung maka proses perhitungan selanjutnya adalah nilai *weighed normalized* dengan contoh

perhitungan untuk kriteria umur ekonomis pada alternatif HB sebagai berikut.

$$A_j = \max\{f_j^{max}, T_j\} - \min\{f_j^{min}, T_j\}$$

$$A_1 = \max\{f_1^{max}, T_1\} - \min\{f_1^{min}, T_1\}$$

$$A_1 = \max\{33,50\} - \min\{26,50\}$$

$$A_1 = 24$$

$$i_j(w_n) = w_j \left(1 - e^{-\frac{|f_{ij}-T_j|}{A_j}} \right)$$

$$HB_1(w_n) = w_1 \left(1 - e^{-\frac{|f_{HB1}-T_1|}{A_1}} \right)$$

$$HB_1(w_n) = 0,203 \left(1 - e^{-\frac{|33-50|}{24}} \right)$$

$$HB_1(w_n) = 0,203(0,508)$$

$$HB_1(w_n) = 0,103$$

Berdasarkan langkah dan perhitungan yang sama maka nilai *weighed normalized* untuk seluruh nilai adalah sebagai berikut.

Tabel 5.24 Nilai *Weighed Normalized* pada Metode C-VIKOR

Kriteria	Alternatif HB	Alternatif CP
Umur Ekonomis	0,103	0,128
Minimum EUAC	0,092	0,366
Bobot Mesin	0,083	0,071
<i>Set-up time</i>	0,055	0,000

Tahapan berikutnya pada metode C-VIKOR adalah menghitung nilai S, R, dan Q. Perhitungan untuk ketiga nilai tersebut sama dengan yang dilakukan pada metode VIKOR. Berikut merupakan perhitungan ketiga nilai tersebut untuk alternatif HB.

$$S_i = \sum_{j=1}^M w_j \left(1 - e^{-\frac{|f_{ij}-T_j|}{A_j}} \right)$$

$$S_{HB} = \sum_{j=1}^4 (HB_j(w_n))$$

$$S_{HB} = 0,103 + 0,092 + 0,083 + 0,055$$

$$S_{HB} = 0,333$$

$$R_j = \text{Max} \left\{ w_j \left(1 - e^{-\frac{|f_{ij}-T_j|}{A_j}} \right) \right\}$$

$$R_{HB} = \text{Max}\{HB_j(w_n)\}$$

$$R_{HB} = \text{Max}\{0,103; 0,092; 0,083; 0,055\}$$

$$R_{HB} = 0,103$$

$$Q_i = v \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)}$$

$$Q_{HB} = v \frac{(S_{HB} - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_{HB} - R^*)}{(R^- - R^*)}$$

Keterangan:

$$S^* = 0,333 \text{ (nilai ideal pada nilai S)}$$

$$S^- = 0,566 \text{ (nilai anti-ideal pada nilai S)}$$

$$R^* = 0,103 \text{ (nilai ideal pada nilai R)}$$

$$R^- = 0,366 \text{ (nilai anti-ideal pada nilai R)}$$

$$Q_{HB} = 0,5 \frac{(0,333 - 0,333)}{(0,566 - 0,333)} + (1 - 0,5) \frac{(0,103 - 0,103)}{(0,366 - 0,103)}$$

$$Q_{HB} = 0$$

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan nilai S, R, dan Q dengan menggunakan tahapan perhitungan yang telah dijelaskan.

Tabel 5.25 Nilai S, R, dan Q pada Metode C-VIKOR

Alternatif	Nilai S	Nilai R	Nilai Q
HB	0,333	0,103	0
CP	0,566	0,366	1

Pada metode C-VIKOR proses penentuan alternatif terbaik sama seperti yang ada pada metode VIKOR. Perlu dilakukan pengecekan dua kondisi untuk memastikan bahwa alternatif terbaik berdasarkan *ranking* nilai Q adalah yang terbaik. Pada kondisi pertama hasil keputusan harus memenuhi pertidaksamaan yang ada pada Persamaan 11.

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$$

Keterangan:

a' = alternatif terbaik pertama berdasarkan nilai Q (alternatif HB)

a'' = alternatif terbaik kedua berdasarkan nilai Q (alternatif CP)

N = jumlah alternatif

$$DQ = 1/(N - 1)$$

$$= 1/(2 - 1)$$

$$= 1$$

$$Q(CP) - Q(HB) \geq 1$$

$$1 - 0 \geq 1$$

$$1 \geq 1 \text{ (benar)}$$

Kondisi pertama terpenuhi karena pertidaksamaan benar. Kemudian apabila melihat pada Tabel 5.25 maka dapat disimpulkan bahwa kondisi kedua juga terpenuhi. Hal tersebut dikarenakan alternatif HB memiliki nilai S, R, dan Q terendah sehingga merupakan alternatif terbaik berdasarkan ketiga nilai tersebut. Karena kedua kondisi yang perlu diperiksa telah terpenuhi maka dari itu pada metode C-VIKOR alternatif yang terbaik adalah alternatif HB.

5.3 Comparative Analysis

Proses evaluasi telah dilakukan dan dijelaskan pada bagian sebelumnya. Terdapat beberapa hal yang perlu dianalisis lebih lanjut mengenai hasil dari

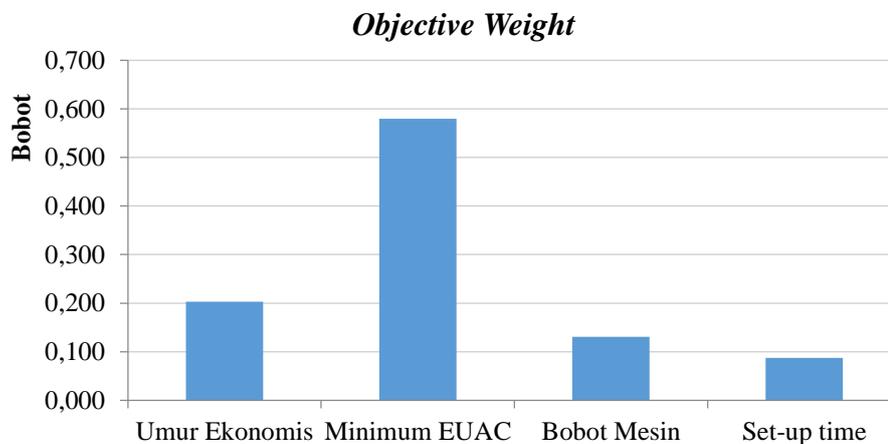
perhitungan sebelumnya. Pada bagian berikutnya akan dijelaskan mengenai beberapa perbandingan hasil dari metode yang dijalankan.

5.3.1 Hasil TCO dan MCDM

Pada bagian ini akan dianalisis mengenai hasil keputusan pada model evaluasi yang akan dibandingkan dengan hasil apabila keputusan didasari oleh kriteria finansial saja. Hasil pada kedua metode MCDM adalah sama yaitu alternatif HB merupakan *compromise solution* dari permasalahan. Maka dari pada bagian ini hasil dari kedua metode MCDM akan dianggap sebagai satu hasil untuk dibandingkan dengan keputusan apabila berdasarkan kriteria finansial saja.

Hasil perhitungan TCO menunjukkan bahwa alternatif HB lebih unggul secara minimum EUAC dan umur ekonomis. Hal tersebut juga berlaku pada hasil simulasi. Jika ditinjau dari statistik nilai rata-rata minimum EUAC dan umur ekonomis maka alternatif HB merupakan alternatif terbaik.

Untuk nilai minimum EUAC alternatif HB mutlak lebih baik jika dibandingkan dengan alternatif CP. Hal tersebut dikarenakan nilai persebaran data *output* simulasi antara kedua alternatif tidak pernah bersinggungan. Nilai minimum EUAC alternatif HB lebih rendah dibandingkan dengan alternatif CP. Sedangkan untuk nilai umur ekonomis alternatif CP masih mungkin unggul namun jika melihat persebaran data *output* simulasi probabilitas alternatif CP unggul pada umur ekonomis cukup rendah.



Gambar 5.7 Visualisasi Nilai Bobot Kriteria

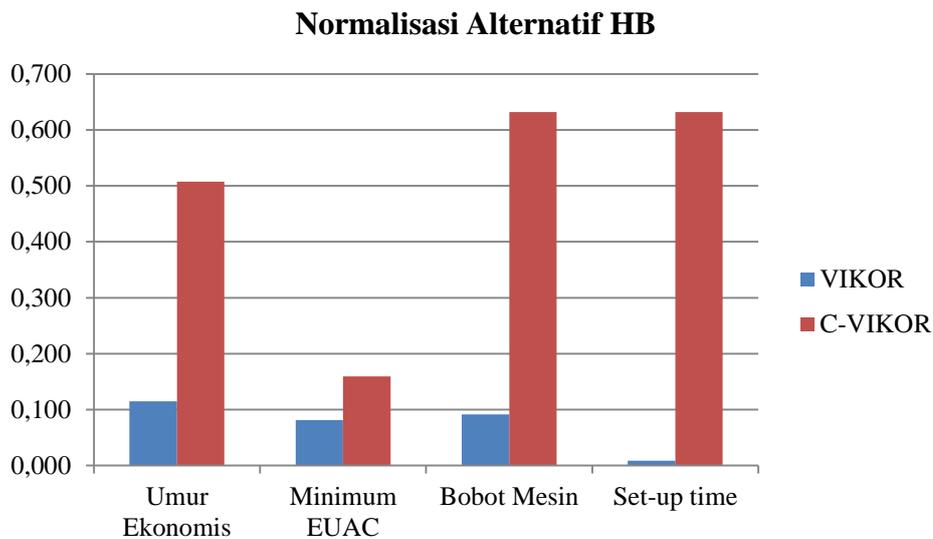
Apabila keputusan didasari hanya dengan kriteria finansial saja maka alternatif yang paling baik adalah alternatif HB. Begitu pun juga evaluasi mesin dengan model multi kriteria. Dengan penambahan kriteria non finansial ternyata tidak mengubah hasil keputusan alternatif terbaik. Hal ini disebabkan oleh dua hal. Jika melihat dari aspek finansial maka alternatif HB adalah yang paling baik. Sedangkan apabila melihat pada aspek non finansial saja maka alternatif CP adalah yang paling baik. Namun perbedaan yang cukup jauh terjadi pada kriteria finansial dan juga perbedaan yang tidak terlalu signifikan pada kriteria non finansial menyebabkan keunggulan alternatif CP tidak dapat menutupi kekurangannya.

Bobot kriteria merupakan hal yang juga mempengaruhi hasil keputusan pada model evaluasi. Jika dilihat pada Gambar 5.7 kriteria finansial yaitu umur ekonomis dan minimum EUAC merupakan dua kriteria dengan bobot tertinggi pada model. Bobot untuk umur ekonomis sebesar 0,203 sedangkan untuk minimum EUAC sebesar 0,579. Maka dari itu perbedaan nilai alternatif yang terjadi pada kedua kriteria tersebut memiliki dampak yang diperbesar oleh bobot di dalam pengambilan keputusan.

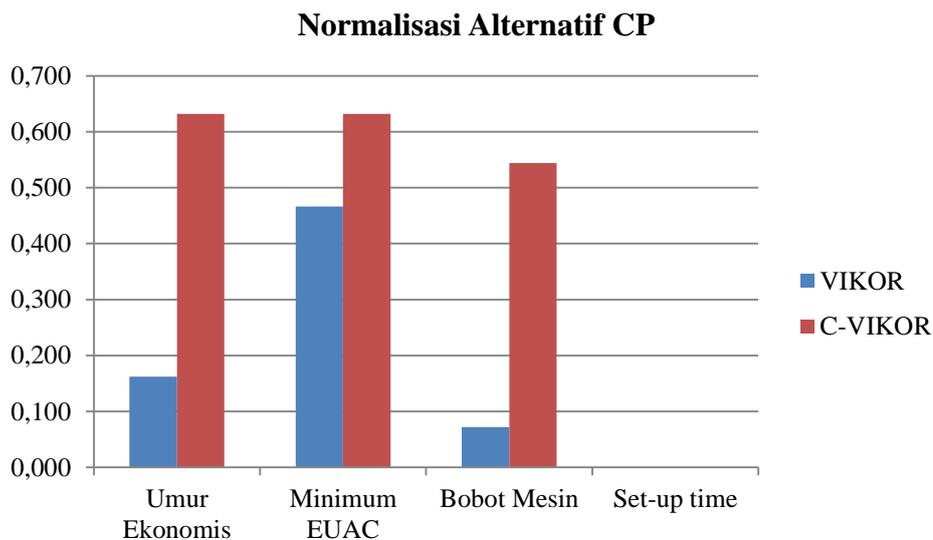
Hasil keputusan pada model TCO dan MCDM adalah sama. Hal tersebut bukan merupakan indikator bahwa model evaluasi dengan multi kriteria tidak dibutuhkan. Dengan penggunaan model multi kriteria memberikan informasi untuk pengambil keputusan agar mempertimbangkan segala aspek. Pada kasus permasalahan yang dibahas hanya terdapat dua alternatif yang dievaluasi. Pada penerapan di dunia praktik model evaluasi dapat digunakan untuk mengevaluasi berbagai macam alternatif yang bahkan belum pernah dimiliki oleh pengambil keputusan. Model tersebut akan dibahas pada Bab 6.

5.3.2 Hasil Dua Metode MCDM

Pada penelitian ini proses *scoring* menggunakan dua metode MCDM yang berbeda, yaitu VIKOR dan C-VIKOR. Hasil alternatif terbaik berupa *compromise solution* dari kedua metode adalah sama. Alternatif terbaik tersebut adalah alternatif HB. Perbedaan yang terdapat pada kedua metode terletak pada proses normalisasi dan hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan 5.9.



Gambar 5.8 Perbedaan Normalisasi pada VIKOR dan C-VIKOR (Alternatif HB)



Gambar 5.9 Perbedaan Normalisasi pada VIKOR dan C-VIKOR (Alternatif CP)

Dari grafik yang tertera pada Gambar 5.8 dan 5.9 dapat dilihat bahwa normalisasi yang dilakukan oleh C-VIKOR memiliki angka yang lebih besar. Dikarenakan pada konsep VIKOR dan C-VIKOR nilai yang terendah adalah yang paling baik maka pada C-VIKOR terlihat efek perbedaan nilai. Nilai normalisasi pada C-VIKOR menjadi jauh lebih besar karena perhitungan nilai yang bersifat non linier. Penambahan jarak dari solusi ideal akan diperbesar sehingga berefek pada nilai yang lebih besar. Penambahan nilai antar kriteria pun tidak linier. Jika

melihat pada Gambar 5.8 untuk kriteria *set-up time* nilai yang kecil pada VIKOR sebesar 0,009 diubah menjadi nilai yang sangat besar pada C-VIKOR sebesar 0,632. Hal ini disebabkan karena pada alternatif lain atau CP nilai *set-up time*-nya sama dengan 0 atau ideal. Sehingga alternatif lain akan terkena dampak yang signifikan untuk memperlebar *gap* antar alternatif. Begitu pun untuk kriteria lain pada setiap alternatif. Dari kondisi tersebut dapat dilihat bahwa salah satu kelebihan metode C-VIKOR adalah kemampuan untuk memutuskan alternatif terbaik ketika jarak nilai antar alternatif kurang signifikan. Dikarenakan alternatif yang dievaluasi hanya ada dua maka dampak perbedaan normalisasi kurang bisa dianalisis lebih lanjut lagi karena variabel yang terlibat cukup sedikit.

5.3.3 Analisis Risiko Hasil Keputusan Model

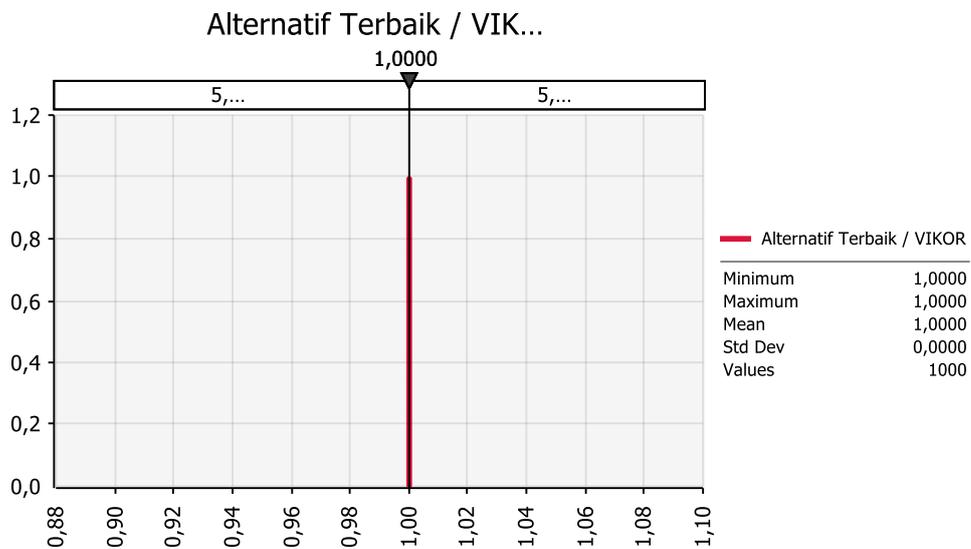
Di dalam pengambilan keputusan akan ada selalu risiko yang harus dipertimbangkan. Pada model evaluasi terdapat nilai yang kemungkinan berubah-ubah pada saat setelah proses pengambilan keputusan telah dilakukan. Maka dari itu perlu keputusan yang dihasilkan oleh model bisa saja tidak tepat. Sehingga perlu dianalisis bagaimana probabilitas kemungkinan itu terjadi.

Nilai di dalam model evaluasi yang memiliki kemungkinan berubah-ubah adalah nilai minimum EUAC dan umur ekonomis. Pada evaluasi yang telah dilakukan kedua nilai tersebut yang dimasukkan ke dalam model adalah nilai rata-rata. Ada kemungkinan nilai tersebut berubah karena dihasilkan dari model simulasi. Dimana *output* pada model simulasi bersifat *uncertain*. Maka dari itu perlu dilakukan *distribution fitting* terlebih dahulu untuk hasil simulasi agar didapatkan parameter distribusi. Kemudian parameter distribusi tersebut akan dijadikan acuan analisis risiko keputusan pada model evaluasi multi kriteria.

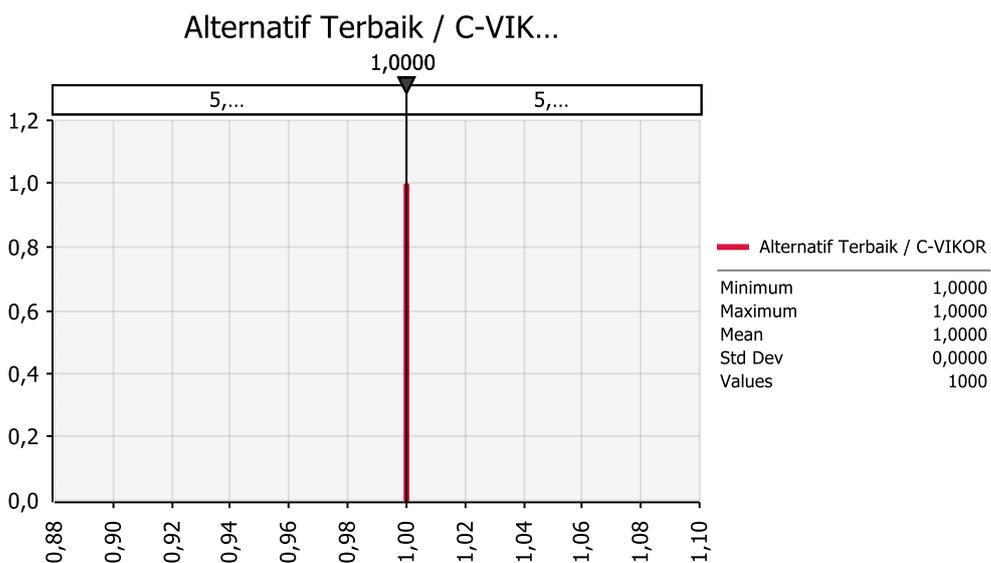
Tabel 5.26 Parameter Distribusi dari Hasil Simulasi

Kriteria	Model Alternatif HB	Model Alternatif CP
Umur Ekonomis	Triangular (2020,353;2022;2044,045)	Triangular (2019,995;2021,74;2034,022)
Minimum EUAC	Normal (726.798.482;28.363.566)	Normal (1.092.940.000;24.651.101)

Setelah parameter distribusi untuk kriteria finansial pada setiap kriteria ditentukan maka dilakukan simulasi *monte carlo* pada model multi kriteria. Simulasi bertujuan untuk menghasilkan bilangan *random* dari data yang tertera pada Tabel 5.26. Kemudian bilangan tersebut akan menjadi *input* pada model evaluasi multi kriteria. Setelah simulasi dilakukan sebanyak 1000 kali maka hasil keputusan model dapat dilihat pada Gambar 5.10 dan 5.11.

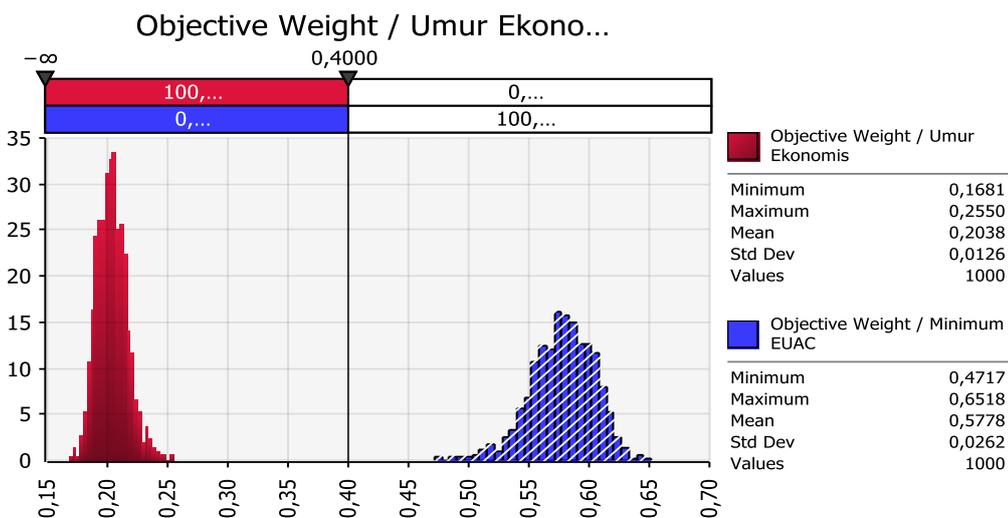


Gambar 5.10 Hasil Simulasi Analisis Risiko Keputusan Metode VIKOR



Gambar 5.11 Hasil Simulasi Analisis Risiko Keputusan Metode C-VIKOR

Pada Gambar 5.10 dan 5.11 dapat dilihat hasil keputusan apabila faktor *uncertainty* dilibatkan. Gambar 5.10 merupakan hasil analisis untuk metode VIKOR sedangkan Gambar 5.11 adalah analisis untuk metode C-VIKOR. Dari kedua gambar dapat dilihat bahwa keputusan model evaluasi 100% berada pada alternatif satu pada 1000 kali simulasi. Hal ini menandakan bahwa keputusan yang akan dibuat, yaitu alternatif HB adalah alternatif terbaik, tidak akan terpengaruh oleh sifat *uncertainty* yang ada pada nilai minimum EUAC dan umur ekonomis. Hal ini dikarenakan apabila persebaran nilai minimum EUAC pada kedua alternatif dianalisis, alternatif HB akan selalu memiliki nilai minimum EUAC yang lebih rendah, dapat dilihat pada Bagian Hasil Simulasi 5.1.4. Berbeda dengan umur ekonomis yang memiliki kemungkinan untuk saling meneng.



Gambar 5.12 Perubahan Bobot Umur Ekonomis dan Minimum EUAC

Proses pembobotan yang dilakukan pada model evaluasi merupakan *objective weighing*. Dengan kata lain proses pembobotan dilakukan berdasarkan nilai informasi yang dimiliki oleh data. Apabila terdapat perubahan nilai pada data maka bobot untuk setiap kriteria akan berubah. Maka dari itu perlu dianalisis juga perubahan bobot untuk melengkapi informasi dalam pengambilan keputusan.

Perubahan bobot untuk umur ekonomis terletak dalam *range* 0,1681 hingga 0,255. Sedangkan bobot untuk minimum EUAC terletak dalam *range*

0,4717 hingga 0,6518. Hal ini menandakan bahwa bobot minimum EUAC dalam setiap simulasi selalu lebih tinggi dibandingkan dengan bobot umur ekonomis. Hal ini juga yang mempengaruhi keputusan akhir dari model evaluasi. Dikarenakan minimum EUAC adalah kriteria yang paling *decisive* atau bersifat penentu maka dengan *input* data untuk alternatif HB yang selalu lebih rendah dibandingkan dengan alternatif CP maka alternatif terbaik selalu merupakan alternatif HB.

BAB 6

IMPLEMENTASI MODEL PADA FASE PROCUREMENT

Model evaluasi yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya merupakan evaluasi yang terletak pada fase *post-acquisition* mesin. Dimana alternatif yang dievaluasi adalah merek yang pernah digunakan oleh PT X. Model evaluasi juga dapat diimplementasikan untuk fase *procurement*. Pada fase tersebut akan ada kemungkinan *bidder* atau *manufacturer* yang produknya belum pernah dimiliki oleh PT X. Maka dari itu pada bab ini akan dijelaskan mengenai penerapan model evaluasi multi kriteria jika kondisi tersebut terjadi.

6.1 Data yang diperlukan

Pemahaman mengenai data yang terlibat di dalam proses evaluasi merupakan salah satu kunci keberhasilan di dalam mengimplementasikan model. Maka dari itu pada subbab ini akan dijelaskan mengenai data apa saja yang diperlukan untuk menerapkan model evaluasi. Data yang diperlukan dapat dilihat pada Tabel 6.1.

Data terbagi menjadi dua kategori berdasarkan kegunaan. Data yang termasuk dalam kriteria finansial merupakan data yang akan digunakan untuk menentukan nilai EUAC dan umur ekonomis. Sedangkan data yang termasuk dalam kriteria non-finansial berfungsi sebagai *input* data pada model evaluasi.

Pada Tabel 6.1 terdapat kolom keterangan untuk memperjelas kegunaan data di dalam model. Seperti contoh parameter distribusi untuk TTR dan TTF serta probabilitas untuk jenis kerusakan akan digunakan untuk menghitung *maintenance cost*. Begitu pun data-data berikutnya berguna untuk menghitung biaya tertentu sesuai dengan keterangan yang ada.

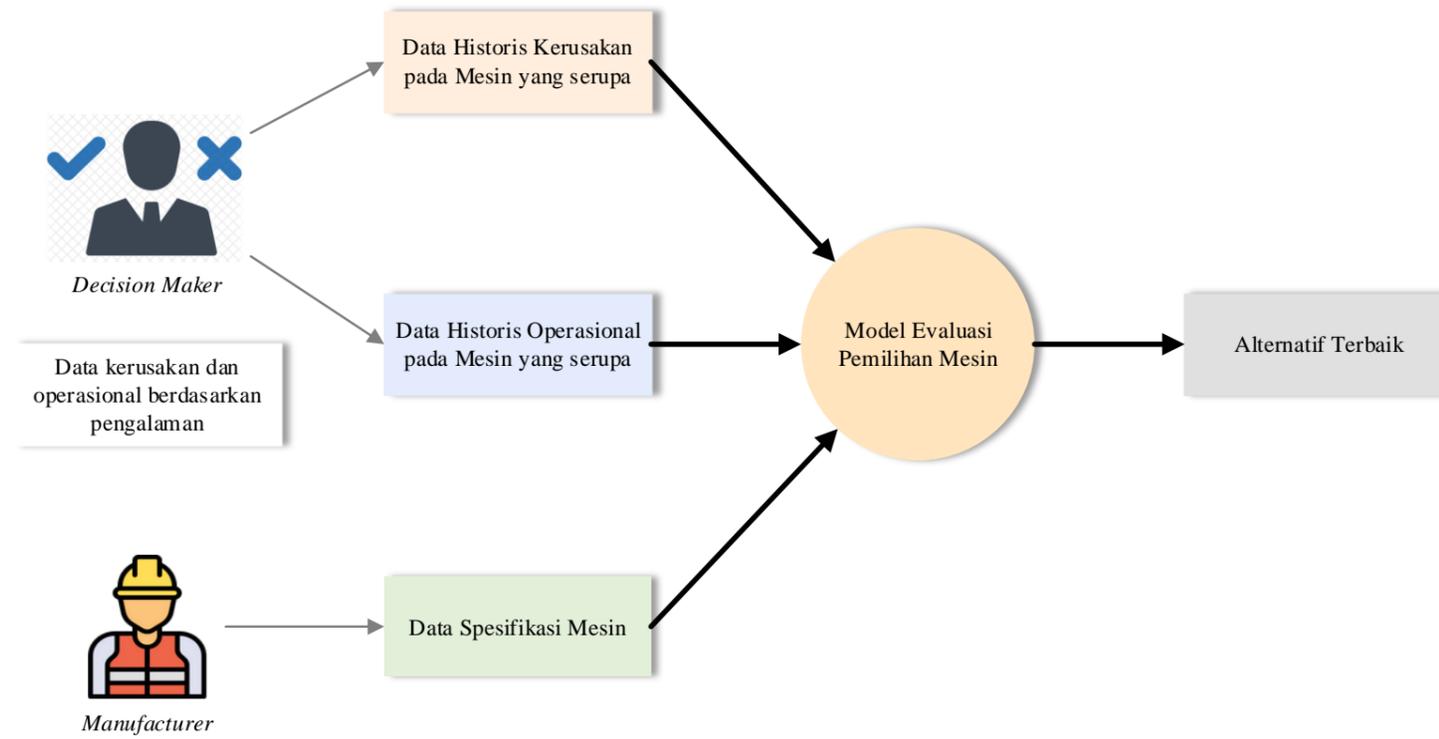
Tabel 6.1 Data yang dibutuhkan untuk Model Evaluasi

Kategori Kriteria	Data	Sifat	Sumber Data	Keterangan
Kriteria Finansial	Parameter distribusi <i>time to failure</i>	<i>Uncertain</i>	Data kerusakan atau perbaikan mesin yang serupa pada fasilitas pengemasan semen paling tidak 10 tahun	<i>Maintenance Cost</i>
	Parameter distribusi <i>time to repair</i>	<i>Uncertain</i>	Data kerusakan atau perbaikan mesin yang serupa pada fasilitas pengemasan semen paling tidak 10 tahun	
	Probabilitas untuk jenis kerusakan	<i>Uncertain</i>	Data kerusakan atau perbaikan mesin yang serupa pada fasilitas pengemasan semen paling tidak 10 tahun	
	Konsumsi listrik	Deterministik	Data operasional mesin yang serupa selama paling tidak 10 tahun	<i>Operational Cost</i>
	Konsumsi bahan bakar	Deterministik	Data operasional mesin yang serupa selama paling tidak 10 tahun	
	Availabilitas mesin	<i>Uncertain</i>	Data operasional mesin yang serupa selama paling tidak 10 tahun	<i>Consequential Cost</i>
	Kapasitas mesin	Deterministik	Spesifikasi mesin dari <i>manufacturer</i>	
	<i>Output</i> produksi	<i>Uncertain</i>	Data operasional mesin yang serupa selama paling tidak 10 tahun	
	Jumlah <i>reject/rework</i>	<i>Uncertain</i>	Data operasional mesin yang serupa selama paling tidak 10 tahun	
Kriteria Non-Finansial	Berat mesin	Deterministik	Spesifikasi mesin dari <i>manufacturer</i>	-
	Durasi <i>setup</i> mesin	Deterministik	Spesifikasi mesin dari <i>manufacturer</i>	-

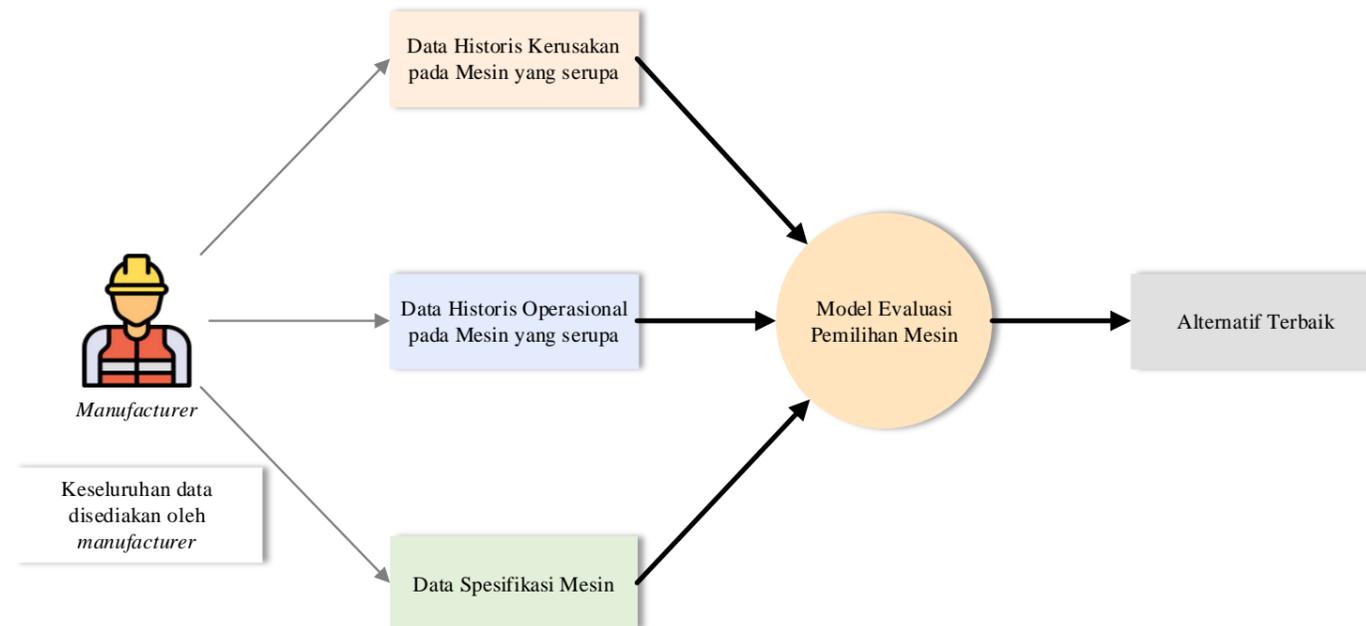
Pada proses *procurement* terdapat dua kemungkinan kondisi yang terjadi berdasarkan alternatif yang dievaluasi. Kondisi pertama adalah *decision maker* pada proses *procurement* pernah mengoperasikan mesin serupa (merek yang sama) pada salah satu fasilitas produksi. Maka dari itu data kerusakan dan operasional akan didapatkan dari pengalaman *decision maker* dalam mengoperasikan. Hanya saja perlu sistem informasi yang terintegrasi agar data mudah untuk dikumpulkan. Gambar 6.1 merupakan ilustrasi untuk kondisi yang pertama.

Untuk alternatif yang belum pernah dioperasikan oleh *decision maker* tetap diperlukan data seperti yang tertera pada Tabel 6.1. Maka dari itu perlu bantuan *manufacturer* untuk mengumpulkan data dari perusahaan lain yang memiliki pengalaman mengoperasikan mesinnya. Ilustrasi pada Gambar 6.2 akan membantu dalam memahami kondisi yang kedua.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Gambar 6.1 Ilustrasi Kondisi *Decision Maker* Memiliki Pengalaman Mengoperasikan Mesin Serupa



Gambar 6.2 Ilustrasi Kondisi *Decision Maker* Tidak Memiliki Pengalaman Mengoperasikan Mesin Serupa

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

6.2 Alur Implementasi

Data yang diperlukan didapatkan dari sistem informasi yang tertata dengan rapi. Data kerusakan agar dapat diolah dengan mudah untuk menemukan parameter distribusi yang dibutuhkan dapat menyesuaikan seperti yang tertera pada Tabel 6.2.

Dari data tersebut dipilah mana yang termasuk *corrective* dan *preventive*. Penomoran pada *order type* membantu untuk menggolongkan jenis *maintenance* yang dilakukan. Penomoran PM bebas tergantung dengan pengolah data. Namun apabila ingin mengikuti model sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 5.1. Pada tabel tersebut terdapat kode yang digunakan untuk mengklasifikasikan *maintenance* yang dilakukan. Untuk mengidentifikasi data kerusakan termasuk *maintenance* apa perlu pandangan dari ahli mesin atau perwakilan *maintenance* perusahaan. Hal ini perlu dilakukan dengan hati-hati karena sangat krusial peran data kerusakan pada model perhitungan TCO.

Data kerusakan yang termasuk dalam *preventive maintenance* kemudian dilihat waktu kerusakannya dan hitung nilai TTF yang kemudian digunakan sebagai *input* pada model berupa parameter distribusi TTF. Selain itu biaya yang tertera pada data kerusakan yang termasuk dalam *preventive maintenance* digunakan untuk *distribution fitting*. Parameter distribusi hasil dari *distribution fitting* dapat digunakan sebagai *input* model untuk *preventive maintenance cost*.

Pada kolom *failure code* berguna untuk menggolongkan kerusakan yang termasuk dalam *corrective maintenance*. Kode yang digunakan bebas namun jika ingin mengikuti yang ada pada model dapat dilihat pada Tabel 5.2. Format data untuk menentukan parameter *corrective maintenance cost* dan probabilitas kerusakan yang dapat digunakan tertera pada Tabel 6.3.

Tabel 6.2 Contoh Data Kerusakan yang Dapat digunakan

<i>Order Type</i>	<i>Failure Code</i>	<i>Description</i>	<i>Description</i>	<i>Total act.costs</i>	<i>Functional loc.</i>	<i>Bas. start date</i>	<i>Basic fin. date</i>
PM04	3	GANTI REGULATOR (SPB)	MOTOR, CEMENT BAG PACKER-HAVER ROTO #01	159.018.537	SG-2303-PC-63A-PM01	09/14/2012	09/14/2012
PM03	2	(spb) Exshose fan	PACKER, CEMENT BAG HAVER ROTO#A1 PACKI	5.500.000	SG-2303-PC-63A-PM01	02/29/2012	03/02/2012
PM03	1	GENERAL SERVICE 63APM1	PACKER, CEMENT BAG HAVER ROTO#A1 PACKI	159.018.537	SG-2303-PC-63A-PM01	05/25/2012	05/25/2012
PM03	2	63APM1,SCHEDULE SERVICE	PACKER, CEMENT BAG HAVER ROTO#A1 PACKI	6.143.793	SG-2303-PC-63A-PM01	05/31/2012	06/02/2012
PM03	4	SERVICE SOLENOIDE PM	PACKER, CEMENT BAG HAVER ROTO#A1 PACKI	13.352.000	SG-2303-PC-63A-PM01	10/25/2012	10/27/2012
.							
.							
.							
PM03	2	SERVICE / GANTI FRL PLANT AIR PM	PACKER, CEMENT BAG HAVER ROTO#A1 PACKI	4.099.168	SG-2303-PC-63A-PM01	03/22/2019	03/24/2019

Tabel 6.3 Contoh Data Klasifikasi Kerusakan pada *Corrective Maintenance*

<i>Corrective Maintenance Cost</i>									
<i>Failure Code</i>	<i>Variable Cost</i>	<i>Probabilitas History</i>	<i>Prob Kumulatif</i>	<i>Fixed Cost</i>				<i>TTR</i>	
				<i>Distribusi</i>	<i>Parameter</i>		<i>Parameter 1</i>	<i>Parameter 2</i>	
1	IDR 1.560.000	53%	53,0%	Uniform	Rp 1.500.000	Rp 3.500.000		2	3
2	IDR -	47%	100,0%	Normal	Rp 12.000.000	Rp 324.000		1	2
3			0,0%						
4			0,0%						

Tabel 6.4 Contoh Data Akuisi Mesin dan *Additional CAPEX*

No	Tahun	<i>Estimate Remaining Value</i>	<i>Additional CAPEX</i>	TOTAL
0	2011	IDR 951.159.774		IDR 951.159.774
1	2012		IDR -	IDR -
2	2013		IDR -	IDR -
3	2014		IDR -	IDR -
4	2015		IDR -	IDR -
5	2016		IDR -	IDR -
.				
.				
.				
59	2070		IDR -	IDR -

Nilai akuisisi mesin dapat direkap seperti contoh yang tertera pada Tabel 6.4. Nilai *additional CAPEX* juga dapat direkap seperti pada contoh. Kemudian nilai *operational* dan *consequential cost* dapat direkap seperti contoh pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5 Contoh Format Perhitungan *Operational dan Consequential Cost*

<i>Operational & Consequential Cost</i>					
<i>Year</i>	<i>Planned Operational Time</i>	<i>Corrective Maintenance Repair Duration</i>	<i>Actual Operational Time</i>	<i>Total Operational Cost</i>	<i>Total Consequential Cost</i>
2020	320	4	316	IDR 125.023.716,84	IDR 126.273.954,00
2021	320	2	318	IDR 126.273.954,00	IDR 226.273.954,00
2022	320	0	320	IDR 127.536.693,54	IDR 126.273.954,00
.					
.					
.					
2026	320	5	315	IDR 132.715.194,72	IDR 126.273.954,00

Kemudian setelah semua biaya telah diidentifikasi dan maka dapat diubah dalam bentuk *annual cost* untuk setiap komponen, yaitu *acquisition*, *operational*, *consequential*, dan *maintenance*. Jumlah dari keseluruhan nilai *annual cost* merupakan EUAC.

Tabel 6.6 Contoh Format Perhitungan EUAC

<i>Year</i>	<i>Annual Acquisition</i>	<i>Annual Operation</i>	<i>Annual Consequential</i>	<i>Annual Maintenance</i>	<i>EUAC</i>
2020	IDR 1.041.519.952	IDR 89.789.891	IDR 258.709.379	IDR 291.052.688	IDR 1.681.071.910
2021	IDR 544.374.390	IDR 60.237.538	IDR 117.607.128	IDR 306.839.566	IDR 1.029.058.622
2022	IDR 379.113.231	IDR 85.711.124	IDR 108.136.269	IDR 436.967.099	IDR 1.009.927.723
2023	IDR 296.821.775	IDR 102.262.522	IDR 110.576.449	IDR 447.327.955	IDR 956.988.701
2024	IDR 247.716.644	IDR 107.768.741	IDR 105.804.192	IDR 476.099.439	IDR 997.389.015

Dengan menggunakan format yang tertera pada Tabel 6.6 dapat dilihat nilai EUAC terendah selama periode yang dianalisis. Pada tabel tersebut data-data merupakan contoh sehingga pada praktiknya tahun analisis bisa diperpanjang hingga tak hingga. Dari nilai terendah EUAC dapat dilihat umur ekonomis mesin. Tahun dimana terjadi minimum EUAC dikurangi dengan tahun akuisisi adalah cara menghitung umur ekonomis.

Setelah model telah disusun untuk mencari nilai minimum EUAC dan umur ekonomis maka simulasi dapat dijalankan. Jumlah replikasi dari simulasi yang perlu dilakukan harus dihitung terlebih dahulu dengan cara model disimulasikan dengan jumlah replikasi bebas yang kemudian diuji statistik. Tujuan dari uji statistik tersebut adalah untuk mencari jumlah replikasi yang cukup agar model memiliki tingkat *error* di bawah yang dikehendaki.

Nilai rata-rata minimum EUAC dan umur ekonomis yang didapatkan dari hasil simulasi kemudia dimasukkan ke dalam model evaluasi multi kriteria. Data bobot mesin dan *set-up time* juga perlu dimasukkan ke dalam model. Model evaluasi dengan metode VIKOR sangat fleksibel bentuknya bergantung pada pemodel. Contoh model evaluasi dengan metode VIKOR dapat dilihat pada Gambar 6.3. Sedangkan contoh model evaluasi dengan metode C-VIKOR dapat dilihat pada Gambar 6.4.

VIKOR

Alternatif	Kriteria			
	0,192	0,587	0,132	0,088
	Umur Ekonomis	Minimum EUAC	Bobot Mesin	Set-up time
HB	35	726.798.482	320	330
CP	28	1.092.940.000	305	300
Ideal	50	650.000.000	250	300
Anti Ideal	20	1.200.000.000	350	600

Matriks Normalisasi

0,507	0,140	0,700	0,100
0,725	0,805	0,550	0,000

Alternatif	Weigthed Normalized				Si	Ri	Qi	Rank based on Q	Rank based on S	Rank based on R
HB	0,098	0,082	0,093	0,009	0,281	0,098	0	1	1	1
CP	0,140	0,473	0,073	0,000	0,685	0,473	1	2	2	2
Ideal					0,281	0,098				
Anti Ideal					0,685	0,473				
v					0,5					
DQ					1					
1 Q(a')					0					
2 Q(a'')					1					
Q(a'') - Q(a')					1					
Q(a'') - Q(a') >= DQ					Cek Kondisi 1	1	*1 = ya; 2 = tidak			
Ranking Q, S, R sama					Cek Kondisi 2	1	*1 = ya; 2 = tidak			
Alternatif Terbaik					1		*3 = sama baiknya			

Gambar 6.3 Contoh Model Evaluasi Multi Kriteria (Metode VIKOR)

C-VIKOR

Alternatif	Kriteria			
	0,192	0,587	0,132	0,088
	Umur Ekonomis	Minimum EUAC	Bobot Mesin	Set-up time
HB	35	726.798.482	320	330
CP	28	1.092.940.000	305	300
fj max	35	1.092.940.000	320	330
fj min	28	726.798.482	305	300
Tj (ideal value)	50	650.000.000	250	300
Aj (range)	22	442.940.000	70	30
fij-Tj				
	-15	76798482	70	30
	-22	442940000	55	0
fij-Tj /Aj				
	-0,70	-0,17	-1,00	-1,00
	-1,00	-1,00	-0,79	0,00
Normalisasi				
	0,503	0,159	0,632	0,632
	0,632	0,632	0,544	0,000

Alternatif	Weigthed Normalized				Si	Ri	Qi	Rank based on Q	Rank based on S	Rank based on R
HB	0,097	0,093	0,084	0,056	0,330	0,097	0	1	1	1
CP	0,122	0,371	0,072	0,000	0,565	0,371	1	2	2	2
Ideal					0,330	0,097				
Anti Ideal					0,565	0,371				
v					0,5					
DQ					1					
1 Q(a')					0					
2 Q(a'')					1					
Q(a'') - Q(a')					1					
Q(a'') - Q(a') >= DQ					Cek Kondisi 1	1	*1 = ya; 2 = tidak			
Ranking Q, S, R sama					Cek Kondisi 2	1	*1 = ya; 2 = tidak			
Alternatif Terbaik					1		*3 = sama baiknya			

Gambar 6.4 Contoh Model Evaluasi Multi Kriteria (Metode C-VIKOR)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan dan saran yang didapatkan setelah penelitian telah dilakukan.

7.1 Kesimpulan

Pada subbab ini akan disampaikan kesimpulan yang didapatkan setelah melakukan penelitian.

1. Model evaluasi dengan membandingkan mesin *packer* merek *existing* menggunakan metode multi kriteria telah dikembangkan. Di dalam pengerjaannya ditemukan beberapa hasil sebagai berikut.
 - a. Perhitungan *total cost of ownership* yang telah dilakukan menggunakan simulasi menghasilkan nilai minimum EUAC dan umur ekonomis untuk setiap alternatif. Rata-rata nilai minimum EUAC untuk alternatif HB sebesar Rp 726.798.482 dan untuk alternatif CP sebesar Rp 1.092.940.000. Sedangkan rata-rata umur ekonomis untuk alternatif HB adalah 33 tahun dan untuk alternatif CP sebesar 26 tahun. Maka dari itu jika ditinjau dari aspek finansial saja alternatif HB adalah alternatif yang paling baik.
 - b. Pembobotan kriteria telah dilakukan dengan menggunakan metode CRITIC. Nilai minimum EUAC merupakan kriteria yang memiliki bobot terbesar dengan bobot 0,597. Bobot untuk kriteria umur ekonomis sebesar 0,203, berat mesin sebesar 0,131, dan *set-up time* sebesar 0,087. Kedua kriteria finansial memiliki bobot yang lebih besar dibandingkan dengan dua kriteria non-finansial maka dari itu informasi yang dimiliki oleh kedua kriteria finansial lebih banyak dibandingkan kriteria lainnya. Hal ini dikarenakan tingkat kepentingan kriteria di dalam metode CRITIC ditentukan oleh nilai informasi yang dibawa oleh data pada setiap kriteria.

- c. Proses penyusunan *ranking* dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu VIKOR dan C-VIKOR. Hasil dari kedua metode menunjukkan bahwa alternatif HB memiliki nilai Q sama dengan 0. Kondisi yang harus dipenuhi di dalam metode VIKOR dan C-VIKOR pun juga telah dipenuhi. Maka dari itu pada kedua metode alternatif yang paling baik adalah alternatif HB.
- d. Terdapat beberapa analisis terkait hasil keputusan pada masing-masing metode dan risiko pada keputusan dalam metode MCDM yaitu sebagai berikut.
- Alternatif yang paling baik berdasarkan pertimbangan kriteria saja adalah alternatif HB. Pada model MCDM yang menggunakan metode VIKOR dan C-VIKOR juga menghasilkan keputusan yang sama, yaitu alternatif HB adalah alternatif yang paling baik. Kesamaan hasil keputusan tersebut dipengaruhi oleh besarnya bobot pada kriteria finansial sehingga menyebabkan alternatif HB juga unggul pada model evaluasi multi kriteria.
 - Pada metode VIKOR dan C-VIKOR perbedaan terjadi pada proses normalisasi sesuai dengan tujuan dari pengembangan metode C-VIKOR. Proses normalisasi pada C-VIKOR memperlebar jarak nilai antara alternatif. Pada metode VIKOR normalisasi dilandasi dengan fungsi linier sehingga jarak antar alternatif sebelum dinormalisasi dan sesudah tidak mengalami peningkatan hanya saja diubah bentuk nilainya. Sebaliknya pada metode C-VIKOR jarak antar alternatif akan diperlebar setelah normalisasi dilakukan karena perhitungan berdasarkan fungsi non linier.
 - Hasil keputusan pada kedua metode MCDM tidak berubah ketika faktor *uncertainty* dipertimbangkan. Hal ini menandakan bahwa alternatif HB selalu menjadi alternatif terbaik dalam kemungkinan nilai *input* yang bersifat *uncertainty*.

2. Pada fase *procurement* model evaluasi pemilihan menggunakan metode pengambilan keputusan multi kriteria dapat juga diterapkan. Pada fase tersebut memungkinkan untuk terjadi kondisi dimana ada alternatif merek yang belum pernah dioperasikan oleh PT X. Pada Bab 6 telah dijelaskan bagaimana rekomendasi implementasi apabila hal tersebut terjadi sehingga perusahaan mampu untuk memutuskan alternatif *packer* yang paling baik untuk diterapkan pada konsep *mobile packer machine*.

7.2 Saran

Pada subbab ini akan disampaikan mengenai saran untuk pengembangan model evaluasi ke depan.

1. Model evaluasi dapat diterapkan untuk mempertimbangkan lebih banyak alternatif. Dengan mengevaluasi lebih banyak alternatif akan mampu memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai hasil keputusan dari model.
2. Kriteria non-finansial mungkin bisa ditambahkan lagi dengan mempertimbangkan aspek lain pada mesin yang tidak ada dalam penelitian ini sehingga model pengambilan keputusan akan lebih baik.
3. Model dapat dikembangkan dengan *framework* serupa pada permasalahan yang berbeda. Penerapan model evaluasi dengan mempertimbangkan kriteria finansial dan non-finansial akan membantu *decision maker* untuk mengetahui secara pasti bahwa keputusan yang dibuat adalah yang paling tepat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Barringer, H., Paul, P.E., Weber, & David P. (1996). *Life Cycle Cost Tutorial*, Marriott Houston Westside, Texas.
- Bengsston, M. & Kurdve, M. (2016). *Machining Equipment Life Cycle Costing Model with Dynamic Maintenance Cost*, 23rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering. *Procedia CIRP* 48, h. 102–107.
- BPS. (2015). *Banyaknya Rumah Tangga menurut Provinsi, 2000-2015*, <https://www.bps.go.id/dynamic/table> (diakses pada 6 Mei 2020).
- BPS. (2018). *Persentase Rumah Tangga menurut Provinsi, Tipe Daerah dan Status Kepemilikan Rumah Milik Sendiri, 2009-2018*, <https://www.bps.go.id/static/table> (diakses pada 6 Mei 2020).
- Brans, J. P., & Vincke, Ph. (1985). *A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)*. *Management Science*, 31(6), h. 647–656.
- Chatterjee, P. & Chakraborty, S. (2016). *A Comparative Analysis of VIKOR and its Variants*. *Decision Science Letters* 5, h. 469–486.
- CP. (2014). *Packing and Dispatch Claudius Peters*, <https://www.claudiuspeters.com/en-GB/documents/362/claudius-peters-packing-brochure-en.pdf> (diunduh pada 11 April 2020).
- Clemen, R. T. & Reilly, T. (2013). *Making Hard Decisions with Decision Tools 3rd ed.* Amerika: Cengage Learning.
- Dhillon. (2010). *Life Cycle Costing for Engineers*. United State: Taylor and Francis Group.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. & Papayannakis, L., (1995). *Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method*. *Computers and Operations Research*, 22(7), h. 763–770.
- Dunn, W. L. & Shultis, J. K. (2012). *Exploring Monte Carlo Methods*. San Diego: Elsevier.

- Durairaj, S. K., Ong, S. K., Nee, A. Y. C., & Tan, R. B. H. (2002). *Evaluation of Life Cycle Cost Analysis Methodologies*. International Journal of Corporate Sustainability, 9(1), h. 30–39.
- Ebiling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering* 1st ed. Boston: McGraw-Hill.
- Edwards, W. M. (1977). *How to Use Multiattribute Utility Measurement for Social Decision Making*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 7, h. 326–340.
- Ellis, B. A. (2007). *Life Cycle Cost*.
- Ellram, L. M. (1995). *Total Cost of Ownership An Analysis Approach for Purchasing*. International Journal of Physical Distribution & Logistic Management, 25(8), h. 4–23.
- Elsayed, E. A. (2012). *Reliability Engineering* 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Fabrycky, W.J. & Blanchard, B.S. (1991). *Life Cycle Cost and Economic Analysis*. Prentice Hall.
- FLSmith. (2016). *Giromat[®] EVO Rotary Packer*, <https://www.flsmidth.com/en-gb/products/storage-and-dispatch/ventomatic-giromat-rotary-packers> (diunduh 11 April 2020).
- Freiheit, T., Shpiltani, M., Hu, S. J., & Koren, Y. (2004). *Productivity of Synchronized Serial Production Lines with Flexible Reserve Capacity*. International Journal of Production Research, 42(10), h. 2009-2027.
- Gayatri, V. S. & Chetan, M. S. (2013). *Comparative Study of Different Multi-Criteria Decision Making Methods*. International Journal on Advanced Computer Theory and Engineering (IJACTE), 2, h. 2319-2526.
- Hanafi, C. V. (2019). *Model Development of Life Cycle Cost Analysis for Pre-Acquisition and Post-Acquisition Phase*. Surabaya.
- Heilala, J., Helin, K., & Montonen, J. (2006). *Total Cost Of Ownership Analysis For Modular Final Assembly Systems*. International Journal of Production Research, 44(18–19), h. 3967–3988.

- Huang, J. J., Tzeng, G. H., & Liu, H. H. (2009). *A Revised VIKOR Model for Multiple Criteria Decision Making – The Perspective of Regret Theory*. CCIS 35, h. 761–768.
- Indocement. (2019). *Public Expose*, <http://www.indocement.co.id> (diunduh 30 Maret 2020).
- Jahan, A., Mustapha, F., Ismail, M.Y., Sapuan, S.M., & Bahraminasab, M. (2011). *A Comprehensive VIKOR Method for Material Selection*. *Materials and Design*, 32(3), h. 1215-1221.
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade Offs*. New York: Wiley.
- Li, L. & Mo, R. (2015). *Production Task Queue Optimization Based on MultiAttribute Evaluation for Complex Product Assembly Workshop*. *PLoS ONE*, 10(9).
- Marquez A.C., de León P.M., Fernández G., Márques C.P., & Campos M.L. (2009). *The maintenance management framework: A practical view to maintenance management*. *Journal of Quality in Maintenance Eng* 15.2, h. 167-178.
- Onut, S., Kara, S. S., & Efendigil, T. (2008). *A Hybrid Fuzzy MCDM Approach to Machine Tool Selection*. *Journal of Intelligence Manufacturing* 19, h. 443–453.
- Opricovic, S. (1998). *Visekriterijumska optimizacija u građevinarstvu - Multi criteria optimization of civil engineering systems*. Faculty of Civil Engineering, Serbian.
- Pujawan, I. N. (2008). *Ekonomi Teknik. 2 ed*. Surabaya: Guna Widya.
- Raghavan, S., & Chowdhury, B. (2012). *Developing Life Cycle Management Plans for Power Plant Components*. *North American Power Symposium*, 1-6.
- Rahman, C. M. L. & Shamsuzzoha, A. H. M. (2005). *Comparative Performance Analysis of Semi-Automatic and Automatic Cement Packing Process*. *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering 2005*.

- Roda, I. & Garetti, M. (2014). *TCO Evaluation in Physical Asset Management: Benefits and Limitations for Industrial Application*. Conference: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems.
- Roda, I. & Garetti, M. (2014a). *The Link between Costs and Performance for Total Cost of Ownership Evaluation of Physical Asset*. 2014 International Conference on Engineering, Technology, and Innovation, IEEE.
- Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht: Kluwer: Academic Publishers.
- Saaty, T. L. (1994). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: Wiley.
- Society of Automotive Engineers (SAE). (1993). *Concept and Principal of Life Cycle Cost*.
- Saputra, Y. A. (2011). *Penentuan Waktu Pembangunan Pabrik Semen Baru untuk Antisipasi Shortage di Indonesia*. *Jurnal Manajemen Teknologi*, 10(3), h. 243-251.
- SIG. (2020). *FY19 Earnings Call*, sig.id (diunduh 11 April 2020).
- Singh, K. & Malik, S. K. (2014). *Major MCDM Techniques and Their Application-A Review*. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)* 4, h. 2278-8719.
- Singh, R.K., Clements, E.J., dan Sonwaney, V. (2018). *Measurement Of Overall Equipment Effectiveness To Improve Operational Efficiency*. *Int. J. Process Management and Benchmarking*, 8(2), h. 246–261.
- Stirbanovic, Z., Stanujkic, D., Miljanovic, I., & Milanovic, D. (2019). *Application of MCDM Methods for Flotation Machine Selection*. *Minerals Engineering* 137, h. 140–146.
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, P. C. (2015). *Engineering Economy Ed. 16th*. United Stated: Pearson Prentice Hall.
- Thuesen, G. J. & Fabrycky, W. J. (2001). *Engineering Economy*. United Stated: Prentince Hall.
- Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Dordrecht: Springer Science+Business Media.

- Velasquez, M. & Hester, P. T. (2013). *An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods*. International Journal of Operation Research, 10(2), h. 56–66.
- Velmurugan, R. S. & Dhingra, T. (2014). *Maintenance Strategy Selection and Its Impact in Maintenance Function*. International Journal of Operations & Production Management, 35(12), h. 1622-1661.
- Vincke, P. (1992). *Multicriteria Decision-Aid*. Bruxelles, Belgium: Wiley.
- Yoe, C. (2002). *Trade-Off Analysis Planning and Procedures Guidebook, Report No. IWR 02-R-2*, April 2002, U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources, Alexandria, VA.
- Zardari, N. H., Ahmed, K., Shirazi, S. M., & Yusop, Z. B. (2015). *Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management*. Skudai: Springer.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

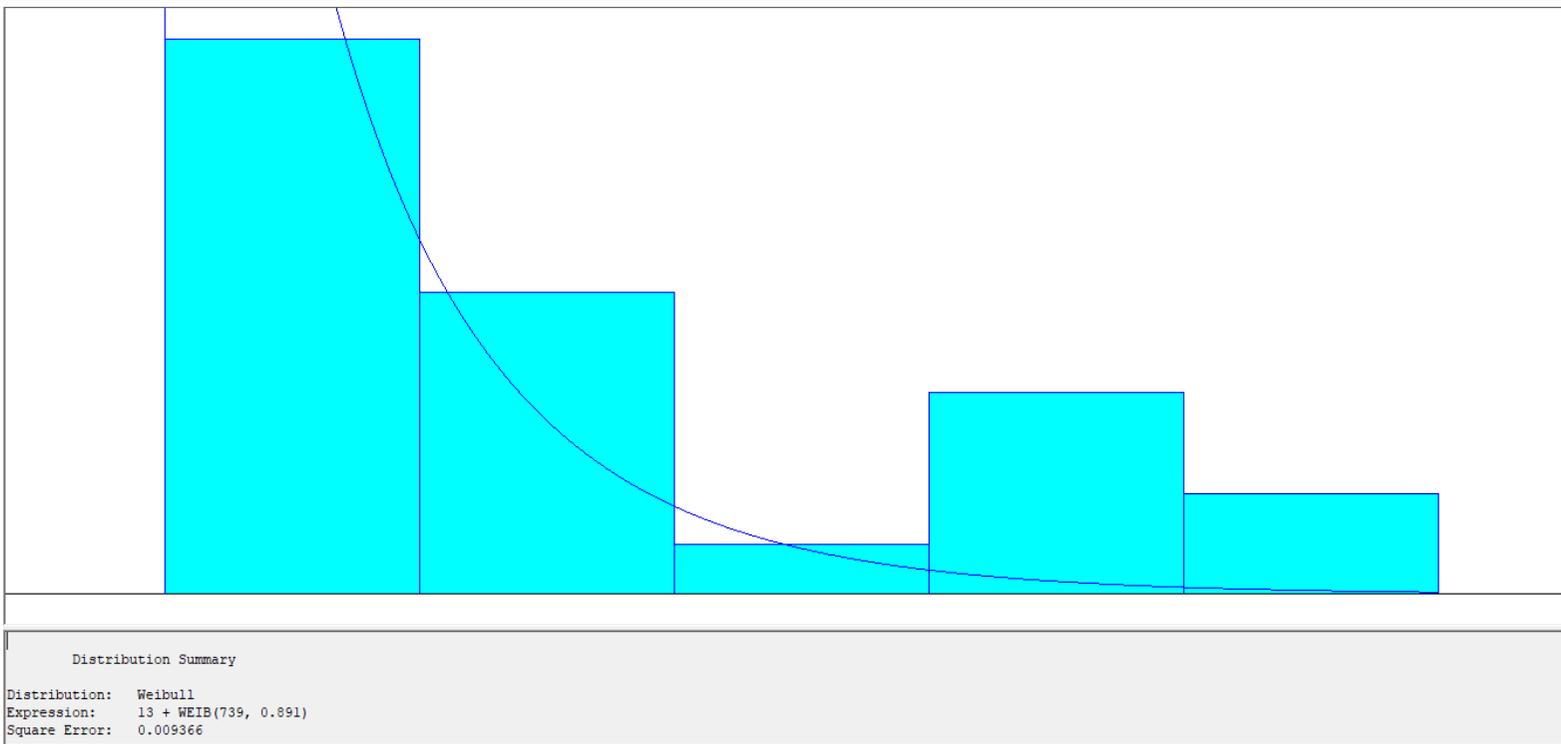
Lampiran 1 Data Historis Kerusakan Alternatif HB

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Functional loc.	Bas. start date	Basic fin. date
PM04	GANTI REGULATOR (SPB)	PACKER- HAVER ROTO #01	0	SG-2303-PC-63A-PM01	09/14/2012	09/14/2012
PM03	(spb) Exshose fan	PACKER- HAVER ROTO #01	0	SG-2303-PC-63A-PM01	02/29/2012	03/02/2012
PM03	GENERAL SERVIVE 63APM1	PACKER- HAVER ROTO #01	159.018.537	SG-2303-PC-63A-PM01	05/25/2012	05/25/2012
PM03	63APM1,SCHEDULE SERVICE	PACKER- HAVER ROTO #01	6.143.793	SG-2303-PC-63A-PM01	05/31/2012	06/02/2012
PM03	SERVICE SOLENOIDE PM	PACKER- HAVER ROTO #01	13.352.000	SG-2303-PC-63A-PM01	10/25/2012	
PM06	AIR CYLINDER BAG STOOL BOCOR	PACKER- HAVER ROTO #01	4.673.850	SG-2303-PC-63A-PM01	09/14/2012	09/16/2012
PM03	CONSUMABLE PART DESEMBER	PACKER- HAVER ROTO #01	1.406.363	SG-2303-PC-63A-PM01	12/11/2012	
PM06	PASANG POWER & STOP KONTAC	PACKER- HAVER ROTO #01	788.114	SG-2303-PC-63A-PM01	01/13/2012	01/13/2012
PM02	spout no 3 preasure switch rusak	PACKER- HAVER ROTO #01	3.200.000	SG-2303-PC-63A-PM01	08/01/2012	08/03/2012
.						
.						
.						
PM19	INSPEKSI 63A PM1 (GROUP), MINGGUAN	PACKER- HAVER ROTO #01	0	SG-2303-PC-63A-PM01	07/23/2019	07/23/2019
PM19	INSPEKSI 63A PM1 (GROUP), MINGGUAN	PACKER- HAVER ROTO #01	0	SG-2303-PC-63A-PM01	07/30/2019	07/30/2019
PM19	INSPEKSI 63A PM1 (GROUP), MINGGUAN	PACKER- HAVER ROTO #01	0	SG-2303-PC-63A-PM01	08/06/2019	08/06/2019

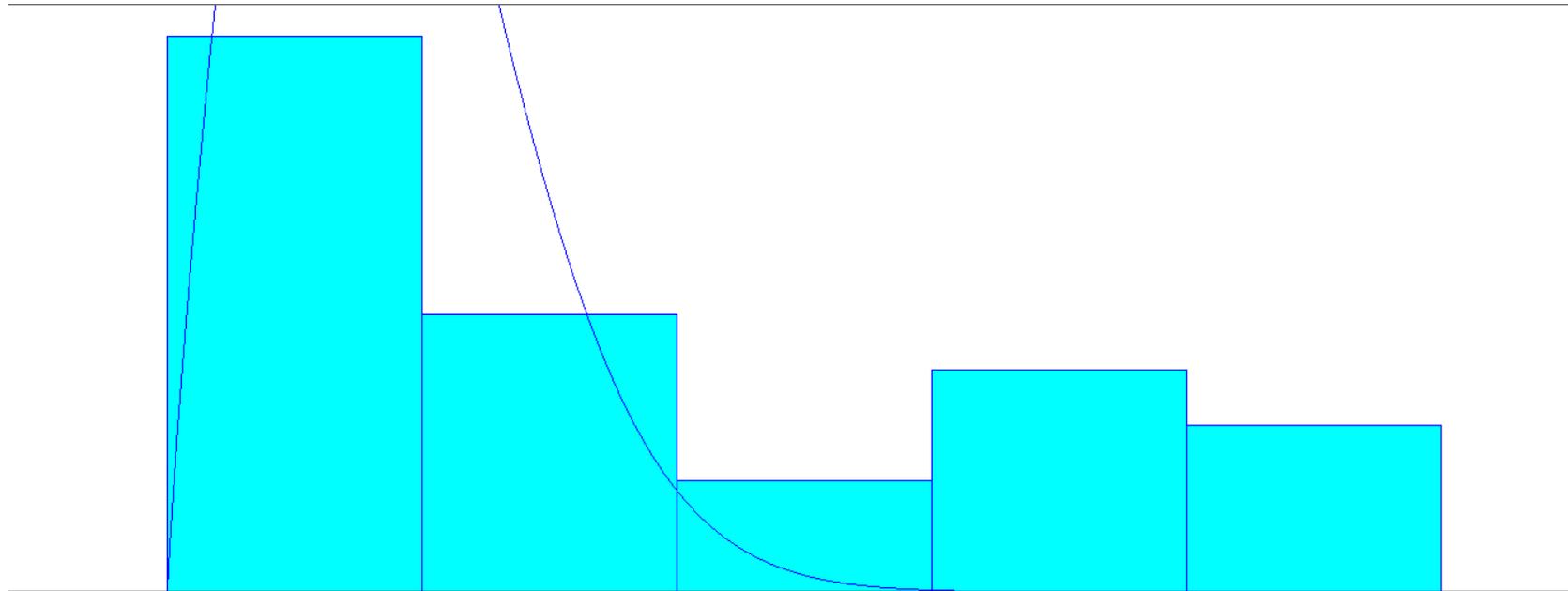
Lampiran 2 Data Historis Kerusakan Alternatif CP

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Functional loc.	Bas. start date	Basic fin. date
PM03	63IPM1_SERVICE AIR CYLINDER	HAYER ROTO #I1 @ PAC	40.638.633	SG-2304-PC-63I-PM01	12/04/2012	
PM03	63IPM1.PM SCHEDULE	HAYER ROTO #I1 @ PAC	298.834.672	SG-2304-PC-63I-PM01	11/17/2012	11/19/2012
PM05	MINTA GREASE	HAYER ROTO #I1 @ PAC	5.517.746	SG-2304-PC-63I-PM01	06/29/2012	06/29/2012
PM03	63IPM1,SCHEDULE PACKING MACHINE	HAYER ROTO #I1 @ PAC	39.730.574	SG-2304-PC-63I-PM01	12/01/2012	12/03/2012
PM06	BON SPARE PART PACKER 3 BLN SEPT 12	HAYER ROTO #I1 @ PAC	9.877.778	SG-2304-PC-63I-PM01	09/14/2012	09/17/2012
PM06	BON BARANG PACKER BLN JUNI 12	HAYER ROTO #I1 @ PAC	10.917.005	SG-2304-PC-63I-PM01	06/20/2012	06/20/2012
PM03	MOTOR RUSAK	HAYER ROTO #I1 @ PAC	218.500	SG-2304-PC-63I-PM01	12/06/2012	
PM03	ganti bearing	HAYER ROTO #I1 @ PAC	157.069	SG-2304-PC-63I-PM01	01/10/2012	01/12/2012
PM03	ganti bearing	HAYER ROTO #I1 @ PAC	167.580	SG-2304-PC-63I-PM01	01/10/2012	01/12/2012
PM02	KONTAKTOR RUSAK	HAYER ROTO #I1 @ PAC	980.674	SG-2304-PC-63I-PM01	10/15/2012	10/15/2012
PM02	SPOUT 1 ERROR	HAYER ROTO #I1 @ PAC	2.427.160	SG-2304-PC-63I-PM01	10/31/2012	11/02/2012
PM03	PM SCHEDULE 63IPM1	HAYER ROTO #I1 @ PAC	35.211.833	SG-2304-PC-63I-PM01	01/04/2012	
PM03	OVER HOULE	HAYER ROTO #I1 @ PAC	60.803.448	SG-2304-PC-63I-PM01	01/09/2012	
PM03	Service Solenoide	HAYER ROTO #I1 @ PAC	10.200.001	SG-2304-PC-63I-PM01	01/16/2012	
PM03	SERVICE AIR CYLINDER	HAYER ROTO #I1 @ PAC	9.200.080	SG-2304-PC-63I-PM01	01/10/2012	
PM03	BASE PLATE u/SUPPORT DRIYER,KM	HAYER ROTO #I1 @ PAC	66.005	SG-2304-PC-63I-PM01	02/14/2012	02/14/2012
.						
.						
.						
PM19	INSPEKSI 63I PM1 (GROUP), MINGGUAN	HAYER ROTO #I1 @ PAC	0	SG-2304-PC-63I-PM01	06/25/2019	06/25/2019
PM19	INSPEKSI 63I PM1 (GROUP), MINGGUAN	HAYER ROTO #I1 @ PAC	0	SG-2304-PC-63I-PM01	07/02/2019	07/02/2019
PM19	INSPEKSI 63I PM1 (GROUP), MINGGUAN	HAYER ROTO #I1 @ PAC	0	SG-2304-PC-63I-PM01	07/09/2019	07/09/2019
PM19	INSPEKSI 63I PM1 (GROUP), MINGGUAN	HAYER ROTO #I1 @ PAC	0	SG-2304-PC-63I-PM01	07/16/2019	07/16/2019
PM19	INSPEKSI 63I PM1 (GROUP), MINGGUAN	HAYER ROTO #I1 @ PAC	0	SG-2304-PC-63I-PM01	07/23/2019	07/23/2019
PM19	INSPEKSI 63I PM1 (GROUP), MINGGUAN	HAYER ROTO #I1 @ PAC	0	SG-2304-PC-63I-PM01	07/30/2019	07/30/2019
PM19	INSPEKSI 63I PM1 (GROUP), MINGGUAN	HAYER ROTO #I1 @ PAC	0	SG-2304-PC-63I-PM01	08/06/2019	08/06/2019

Lampiran 3 Distribution Fitting TTF Alternatif HB

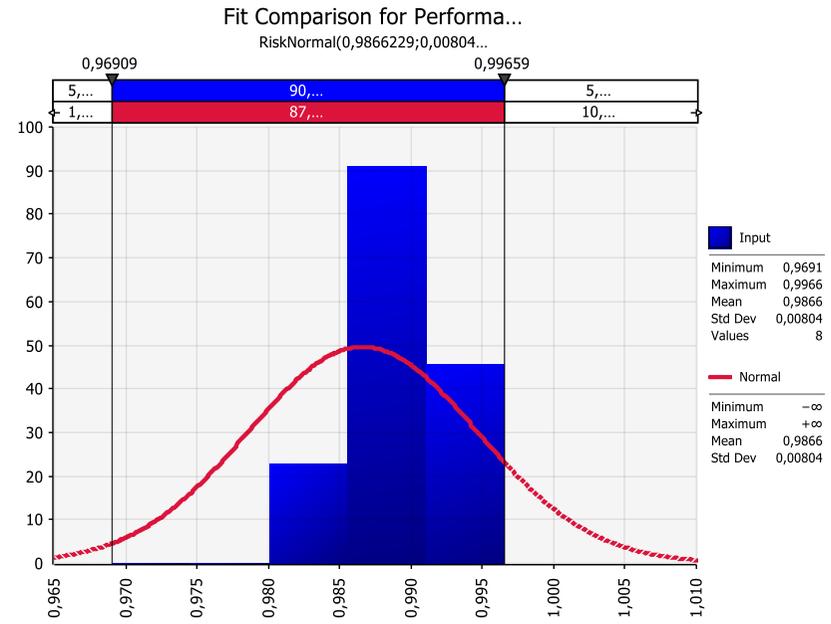
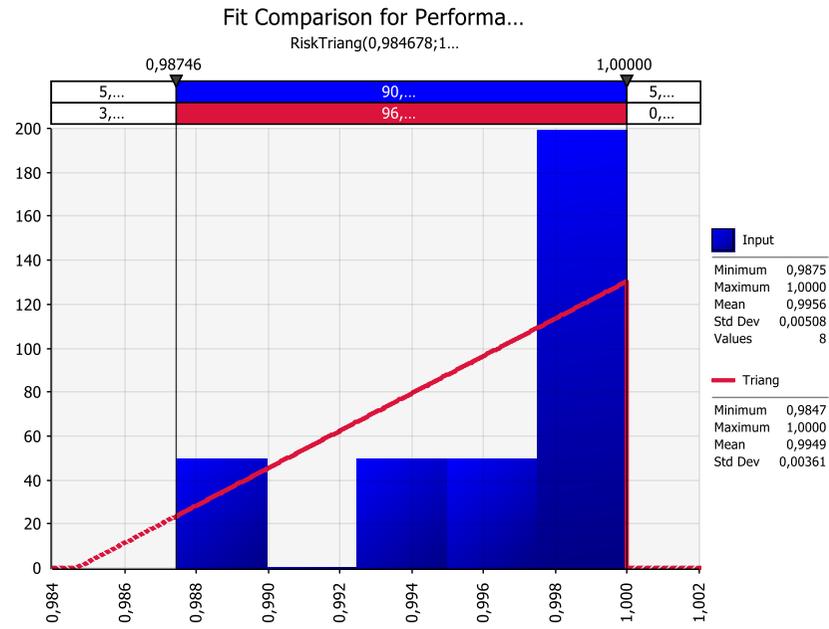


Lampiran 4 Distribution Fitting TTF Alternatif CP

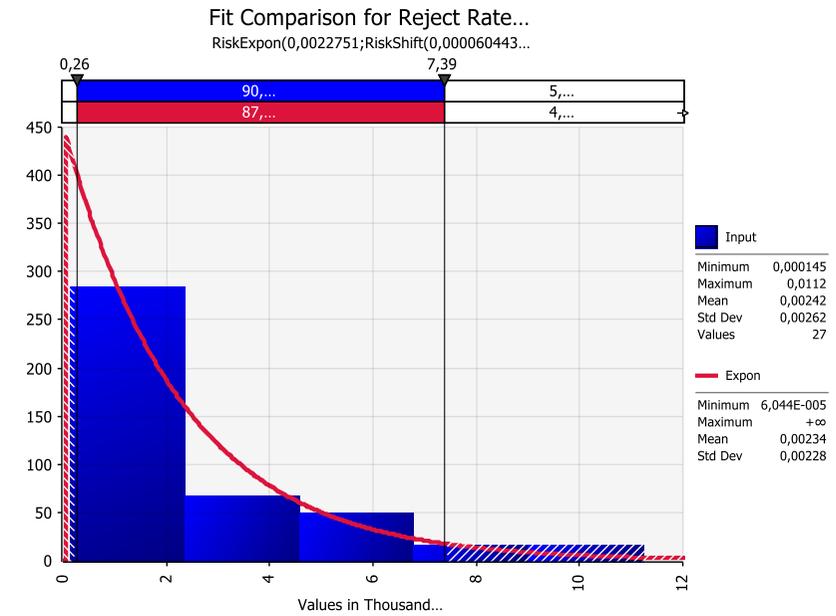
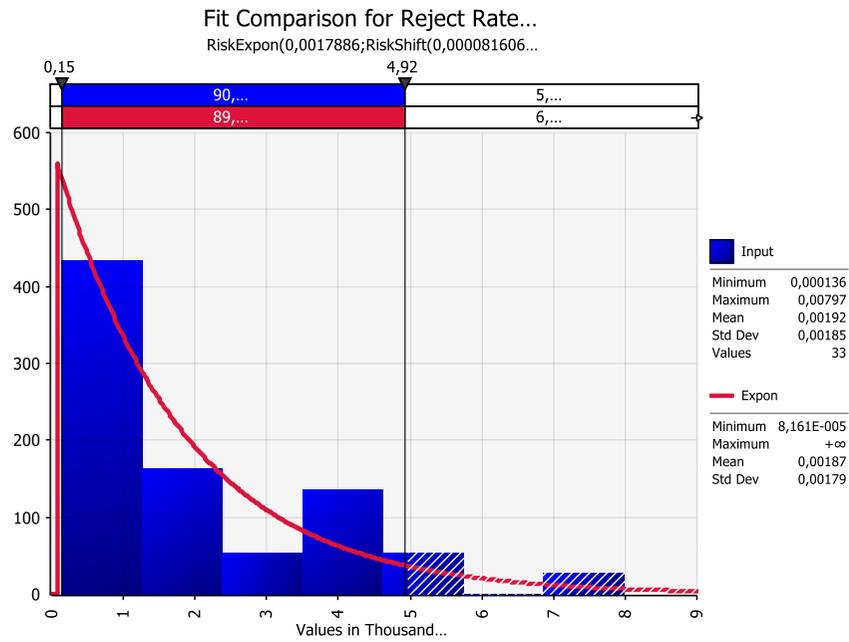


Distribution Summary	
Distribution:	Weibull
Expression:	5 + WEIB(482, 1.87)
Square Error:	0.059117

Lampiran 5 Distribution Fitting Performance Alternatif HB dan CP



Lampiran 6 Distribution Fitting Reject Rate Alternatif HB dan CP



Lampiran 7 Operational dan Consequential Cost pada Satu Replikasi Simulasi untuk Alternatif HB

Operational & Consequential Cost					
Year	Planned Operational Time	Corrective Maintenance Repair Duration	Actual Operational Time	Total Operational Cost	Total Consequential Cost
2020	320	0	320	IDR 125.023.716,84	Rp 94.809.107,36
2021	320	0	320	IDR 126.273.954,00	Rp 97.814.556,07
2022	320	0	320	IDR 127.536.693,54	Rp 101.238.065,53
2023	320	2	318	IDR 128.006.985,10	Rp 200.452.057,08
2024	320	0	320	IDR 130.100.181,08	Rp 108.448.746,75
2025	320	0	320	IDR 131.401.182,89	Rp 112.244.452,88
2026	320	0	320	IDR 132.715.194,72	Rp 116.173.008,73
2027	320	2	318	IDR 133.204.582,00	Rp 230.023.346,03
2028	320	0	320	IDR 135.382.770,14	Rp 124.447.431,28
.					
.					
.					
2067	320	0	320	IDR 199.570.788,72	Rp 476.057.683,16
2068	320	0	320	IDR 201.566.496,61	Rp 492.719.702,07
2069	320	2	318	IDR 202.309.773,07	Rp 975.588.355,32
2070	320	0	320	IDR 205.617.983,19	Rp 527.813.662,85

Lampiran 8 Operational dan Consequential Cost pada Satu Replikasi Simulasi untuk Alternatif CP

Operational & Consequential Cost					
Year	Planned Operational Time	Corrective Maintenance Repair Duration	Actual Operational Time	Total Operational Cost	Total Consequential Cost
2020	320	6	314	IDR 151.730.939,33	Rp 347.270.512,61
2021	320	6	314	IDR 153.248.248,72	Rp 496.224.120,26
2022	320	7	313	IDR 154.287.798,94	Rp 749.435.839,71
2023	320	6	314	IDR 156.328.538,52	Rp 670.235.947,54
2024	320	7	313	IDR 157.388.983,70	Rp 612.894.707,57
2025	320	7	313	IDR 158.962.873,54	Rp 532.601.224,32
2026	320	4	316	IDR 162.091.344,15	Rp 483.679.340,21
2027	320	6	314	IDR 162.676.104,06	Rp 494.436.255,28
2028	320	5	315	IDR 164.826.122,63	Rp 827.756.309,31
.					
.					
.					
2066	320	5	315	IDR 240.568.215,21	Rp 2.190.333.540,68
2067	320	8	312	IDR 240.659.860,25	Rp 4.000.206.595,57
2068	320	5	315	IDR 245.403.636,34	Rp 2.185.693.507,44
2069	320	6	314	IDR 247.070.822,95	Rp 2.418.140.598,59
2070	320	9	311	IDR 247.157.376,42	Rp 2.493.639.887,19

Lampiran 9 Nilai EUAC pada Satu Replikasi untuk Alternatif HB

Year	Annual Acquisition	Annual Operation	Annual Consequential	Annual Maintenance	EUAC
2012	IDR 1.041.519.952	IDR 89.789.891	IDR 258.709.379	IDR 291.052.688	IDR 1.681.071.910
2013	IDR 544.374.390	IDR 60.237.538	IDR 117.607.128	IDR 306.839.566	IDR 1.029.058.622
2014	IDR 379.113.231	IDR 85.711.124	IDR 108.136.269	IDR 436.967.099	IDR 1.009.927.723
2015	IDR 296.821.775	IDR 102.262.522	IDR 110.576.449	IDR 447.327.955	IDR 956.988.701
2016	IDR 247.716.644	IDR 107.768.741	IDR 105.804.192	IDR 476.099.439	IDR 937.389.015
2017	IDR 215.203.021	IDR 111.414.534	IDR 113.940.816	IDR 427.660.753	IDR 868.219.124
2018	IDR 192.168.544	IDR 113.997.418	IDR 115.625.679	IDR 396.195.685	IDR 817.987.326
2019	IDR 175.056.779	IDR 116.036.879	IDR 119.726.975	IDR 377.605.830	IDR 788.426.463
2020	IDR 161.891.714	IDR 117.605.953	IDR 126.282.897	IDR 400.049.120	IDR 805.829.684
2021	IDR 151.487.557	IDR 118.933.951	IDR 123.883.743	IDR 378.876.271	IDR 773.181.522
2022	IDR 143.089.552	IDR 119.985.759	IDR 134.249.579	IDR 364.551.545	IDR 761.876.436
2023	IDR 136.194.394	IDR 120.937.038	IDR 146.308.977	IDR 355.117.784	IDR 758.558.193
2024	IDR 130.453.520	IDR 121.844.263	IDR 141.983.865	IDR 344.946.356	IDR 739.228.004
2025	IDR 125.617.857	IDR 122.661.245	IDR 145.887.546	IDR 337.961.520	IDR 732.128.167
.					
.					
.					
2066	IDR 90.978.425	IDR 133.021.639	IDR 175.060.389	IDR 387.102.298	IDR 786.162.751
2067	IDR 90.924.452	IDR 133.072.367	IDR 175.060.204	IDR 387.194.973	IDR 786.251.996
2068	IDR 90.875.218	IDR 133.119.824	IDR 175.055.436	IDR 387.242.092	IDR 786.292.570
2069	IDR 90.830.302	IDR 133.164.210	IDR 175.133.394	IDR 387.052.431	IDR 786.180.336
2070	IDR 90.789.321	IDR 133.205.713	IDR 175.287.492	IDR 388.878.106	IDR 788.160.633

Lampiran 10 Nilai EUAC pada Satu Replikasi untuk Alternatif CP

Year	Annual Acquisition	Annual Operation	Annual Consequential	Annual Maintenance	EUAC
2012	IDR 974.107.287	IDR 111.052.800	IDR 547.765.498	IDR 291.052.688	IDR 1.923.978.273
2013	IDR 509.139.608	IDR 74.502.232	IDR 225.753.257	IDR 306.839.566	IDR 1.116.234.663
2014	IDR 354.575.023	IDR 106.008.152	IDR 291.381.521	IDR 436.967.099	IDR 1.188.931.795
2015	IDR 277.609.904	IDR 126.479.042	IDR 305.422.691	IDR 563.512.525	IDR 1.273.024.162
2016	IDR 231.683.116	IDR 133.289.175	IDR 316.516.305	IDR 573.062.850	IDR 1.254.551.445
2017	IDR 201.273.946	IDR 137.798.318	IDR 361.423.725	IDR 511.897.398	IDR 1.212.393.387
2018	IDR 179.730.382	IDR 140.992.849	IDR 359.473.690	IDR 471.415.973	IDR 1.151.612.894
2019	IDR 163.726.181	IDR 143.515.269	IDR 377.869.101	IDR 446.128.083	IDR 1.131.238.633
2020	IDR 151.413.228	IDR 145.256.949	IDR 368.418.003	IDR 444.875.770	IDR 1.109.963.950
2021	IDR 141.682.483	IDR 146.706.143	IDR 366.829.581	IDR 444.925.444	IDR 1.100.143.650
2022	IDR 133.828.042	IDR 147.939.005	IDR 392.637.033	IDR 427.981.727	IDR 1.102.385.806
2023	IDR 127.379.174	IDR 149.058.923	IDR 402.954.735	IDR 429.492.379	IDR 1.108.885.210
2024	IDR 122.009.880	IDR 150.063.517	IDR 415.159.752	IDR 421.077.394	IDR 1.108.310.543
2025	IDR 117.487.206	IDR 150.973.796	IDR 415.939.791	IDR 410.031.802	IDR 1.094.432.595
.					
.					
.					
2066	IDR 85.089.822	IDR 162.904.261	IDR 579.407.198	IDR 443.791.051	IDR 1.271.192.332
2067	IDR 85.039.342	IDR 162.965.456	IDR 580.273.662	IDR 445.028.020	IDR 1.273.306.481
2068	IDR 84.993.295	IDR 163.023.181	IDR 581.210.595	IDR 444.970.376	IDR 1.274.197.447
2069	IDR 84.951.286	IDR 163.075.472	IDR 582.365.178	IDR 446.528.320	IDR 1.276.920.255
2070	IDR 84.912.957	IDR 163.123.609	IDR 584.523.363	IDR 446.893.684	IDR 1.279.453.614