

# Evaluasi Pemilihan Mesin *Mobile Packer* untuk Industri Semen dengan Metode MCDM

Revino B Akmaldi, dan Yudha Andrian Saputra

Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail*: yandrian@ie.its.ac.id

**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 EUAC 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.

## I. PENDAHULUAN

PERMINTAAN semen domestik selalu mengalami peningkatan sejak 2001 hingga 2018 dan diprediksi akan terus meningkat hingga 2025. Persaingan dipimpin oleh PT X dengan pangsa pasar sebesar 53,4% diikuti oleh indocement dengan 25,4% pangsa pasar. Kapasitas produksi PT X mencapai 51 juta ton setelah mengakuisisi Holcim pada daerah Tuban. Produk semen secara umum terbagi menjadi dua, yaitu semen curah dan semen dalam kemasan. Persentase penjualan semen dalam kemasan mencapai 73,81%. Proses *packing* merupakan proses yang penting di dalam penentuan jumlah *output* produksi semen dalam kemasan. Karena *demand* yang selalu meningkat dan pesaing yang ingin merebut posisi *market leader* maka PT X terus berupaya melakukan *improvement*.

Langkah awal melakukan *improvement* adalah dengan mengidentifikasi masalah yang mungkin muncul pada proses yang penting, salah satunya adalah proses *packing*. Dua masalah yang mungkin muncul pada proses *packing* adalah muncul kebutuhan *work in process* dan penurunan *output* produksi semen dalam kemasan. Kedua hal tersebut disebabkan mesin *packer* mengalami kerusakan. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah *rotary packer*, yang digunakan SI pada fasilitas Tuban didesain sedemikian rupa sehingga mampu dipindahkan dengan mudah ketika mengalami kerusakan. Di saat yang bersamaan akan digantikan dengan *backup machine* yang disediakan. Konsep ini dinamakan *mobile packer machine*. Parameter yang umum dijadikan pertimbangan pemilihan mesin adalah biaya akuisisi. Namun muncul kemungkinan pembengkakan biaya pasca akuisisi [1]. Sehingga perlu digunakan analisis biaya yang menyeluruh, yaitu *total cost of ownership* [2]–[6]. Di sisi lain faktor mobilisasi mesin penting untuk dipertimbangkan sebagai indikator kemampuan mesin diterapkan menjadi *mobile*. Maka dari itu pemilihan mesin *packer* yang sesuai untuk konsep ini merupakan permasalahan *multi-criteria decision making* [7]–[13].

### A. Rumusan Masalah

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*.

### B. Tujuan

Berikut ini merupakan tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini.

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.

### C. Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1.  
Kriteria yang dijadikan pertimbangan pada model evaluasi

Kategori	Kriteria	Satuan	Jenis
Finansial	Minimum EUAC	Rp	Lower better
	Umur Ekonomis	Tahun	Higher better
Non Finansial	Bobot Mesin	Ton	Lower better
	Set-up Time	Detik	Lower better

Tabel 2.  
Rekapitulasi Simulasi Monte Carlo Perhitungan TCO

Kriteria	Statistik	Alternatif HB	Alternatif CP
Minimum EUAC (Rp)	Rata-rata	726.798.482	1.092.940.000
	Standar 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
	Standar Deviasi	4,09	2,36
	Maksimum	50	37
	Minimum	27	24

1. Model TCO yang digunakan merupakan model yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya.
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.
4. Analisis jumlah yang dibutuhkan dan konfigurasi *mobile packer machine* tidak dilakukan pada penelitian ini.

D. Asumsi Penelitian

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

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.

II. METODE PENELITIAN

A. Studi Literatur

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur mengenai teori-teori dasar yang relevan dengan penelitian. Pada tahap ini akan *direview* mengenai beberapa konsep *total cost of ownership*, *reliability* dan *maintainability*,

Tabel 3.  
Input Data untuk Model MCDM

Kriteria	Alternatif HB	Alternatif CP
Umur Ekonomis	33	26
Minimum EUAC	726.798.482	1.092.940.000
Bobot Mesin	320	305
Setup Time	330	300

Tabel 4.  
Penentuan Nilai Ideal dan Anti-Ideal

Kriteria	Jenis	Nilai Ideal	Nilai Anti-Ideal
Umur Ekonomis	Higher better	50	20
Minimum EUAC	Lower better	650.000.000	1.200.000.000
Bobot Mesin	Lower better	250	350
Setup Time	Lower better	300	600

ekonomi teknik, *overall equipment effectiveness*, metode MCDM, dan simulasi *monte carlo*.

B. Pengumpulan Data

Data-data yang dibutuhkan adalah data historis kerusakan, operasional mesin, dan spesifikasi mesin untuk setiap alternatif.

C. Penyusunan Model Simulasi Monte Carlo

Simulasi *monte carlo* digunakan untuk menghitung *total cost of ownership*. Nilai *total cost of ownership* berupa nilai *equivalent uniform annulazied cost* (EUAC) dan umur ekonomis. Kedua nilai tersebut akan digunakan sebagai kriteria finansial di dalam model evaluasi pemilihan mesin *packer*.

D. Penyusunan Model MCDM dan Evaluasi Pemilihan

Pada tahap ini dilakukan penyusunan model dan kemudian dilakukan implementasi model evaluasi pemilihan pada fase *post-acquisition*. Sehingga alternatif yang akan dievaluasi merupakan mesin *packer* yang pernah atau sedang dioperasikan oleh PT X. Kriteria yang akan dijadikan pertimbangan dapat dilihat pada Tabel 1. Pembobotan pada model MCDM menggunakan metode *Criteria Importance through Inter-Criteria Correlation* (CRITIC). Sedangkan untuk metode *scoring* alternatif akan menggunakan dua metode yaitu, *Multicriteria Optimization and Compromise Solution* (VIKOR) dan *comprehensive VIKOR*.

E. Comparative Analysis

Setelah model evaluasi dilakukan kemudian dilakukan analisis perbandingan terhadap hasil kedua metode *scoring*, perbandingan antara keputusan jika mempertimbangkan kriteria finansial saja dengan keputusan MCDM, dan analisis risiko jika model MCDM mengakomodasi *uncertainty* pada nilai kriteria finansial.

F. Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan untuk merangkum hasil penelitian juga menjawab tujuan dari penelitian.

Tabel 5.  
Hasil Pembobotan dengan Metode CRITIC

Kriteria	Nilai Informasi	Bobot
Umur Ekonomis	0,467	0,203
Minimum EUAC	1,331	0,579
Bobot Mesin	0,300	0,131
Setup Time	0,200	0,087

Tabel 6.  
Hasil Perhitungan Metode VIKOR

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

\*Alternatif HB merupakan alternatif terbaik berdasarkan nilai S, R, dan Q

$$Q(a'') - Q(a') = 1$$

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

Tabel 7.

Hasil Perhitungan Metode C-VIKOR

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

\*Alternatif HB merupakan alternatif terbaik berdasarkan nilai S, R, dan Q

$$Q(a'') - Q(a') = 1$$

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

### III. PENYUSUNAN MODEL EVALUASI

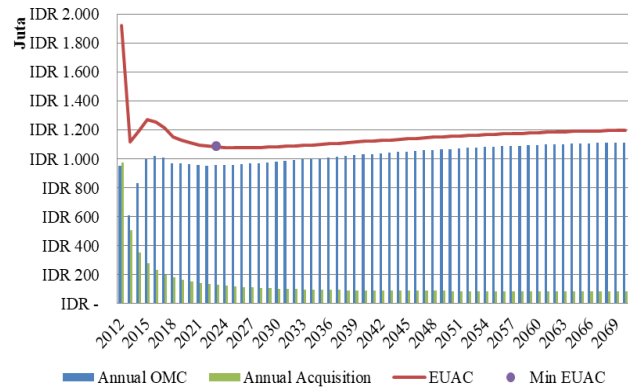
#### A. Penyusunan Model Simulasi

Nilai EUAC didapatkan dari model simulasi *monte carlo*. Nilai tersebut memiliki beberapa komponen biaya, yaitu *acquisition, maintenance, operational, dan consuquential cost*, dengan perhitungan untuk masing-masing komponen sebagai berikut.

##### 1) 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. *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*.  $CM(VC)_i$  merupakan *variable cost* pada kerusakan ke-*i* sedangkan  $TTR_i$  merupakan *time to repair* pada kerusakan ke-*i*. Perhitungan *corrective* dapat dilihat pada (1).

EUAC dalam IDR



Gambar 1. Satu sampel replikasi simulasi untuk alternatif HB. Titik minimum EUAC pada grafik merupakan salah satu kriteria pada model evaluasi. Perhitungan umur ekonomis dilakukan dengan cara mengurangi tahun terjadinya minimum EUAC dengan tahun akuisisi mesin.

$$CM(VC)_i = (TTR_i \times labor\ cost) + material\ cost \quad (1)$$

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

$$Total\ CM = \sum_{i=0}^t CM(VC)_i + \sum_{i=0}^t CM(VC)_i \quad (2)$$

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*.

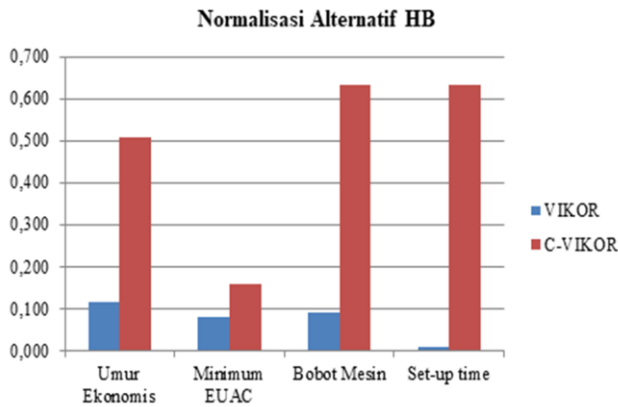
##### 2) Operational Cost

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.

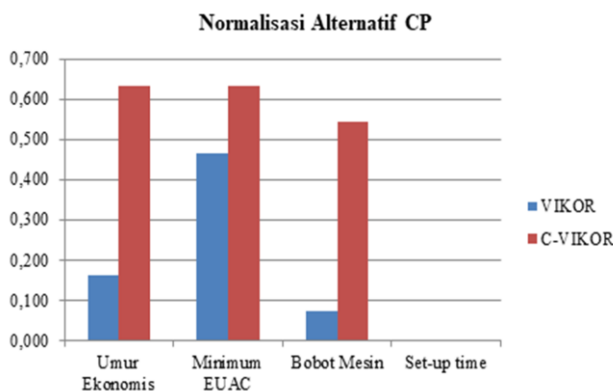
$$Durasi\ Aktual = Perencanaan - \sum_{i=0}^t TTR_i \quad (3)$$

*Operational cost* terdiri dari beberapa komponen yaitu biaya listrik, bahan bakar, dan operator. Ketiga komponen tersebut

menyesuaikan dengan jumlah konsumsi listrik, konsumsi bahan



Gambar 2. Normalisasi dengan VIKOR dan C-VIKOR untuk Alternatif HB.



Gambar 3. Normalisasi dengan VIKOR dan C-VIKOR untuk Alternatif CP.

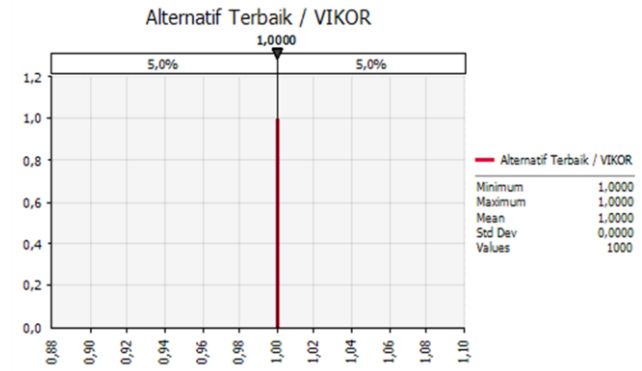
bakar, dan jumlah operator yang menjalankan mesin. Kemudian dari total *operational cost* dikalikan dengan durasi operasi aktual. Hasil perkalian tersebut merupakan *operational cost* selama setahun pada tahun tertentu.

### 3) Consequential Cost

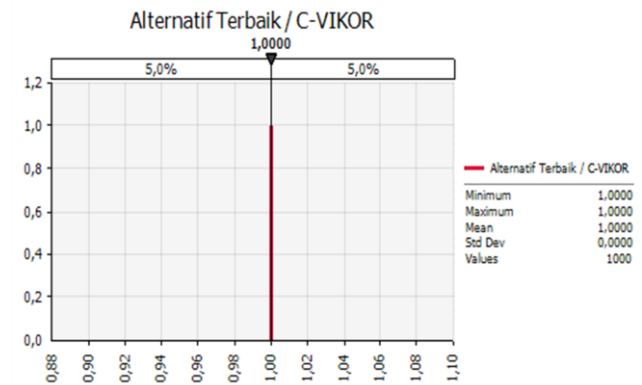
Konsep perhitungan *consequential cost* didasari oleh indikator performa dari mesin. Konsep *overall equipment effectiveness* (OEE) digunakan untuk menilai performa dari mesin. Terdapat tiga komponen yang menyusun nilai OEE yaitu *availability*, *performance*, dan *quality*. Ketiga indikator tersebut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

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.



Gambar 4. Hasil Simulasi Analisis Risiko pada Metode VIKOR.



Gambar 5. Hasil Simulasi Analisis Risiko pada Metode C-VIKOR.

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.

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.

### 4) Perhitungan EUAC dan Umur Ekonomis

Nilai dari setiap komponen *total cost of ownership* didapatkan dengan mekanisme perhitungan yang telah dijelaskan. Setiap komponen biaya kemudian ditransformasi menjadi bentuk *annualized* dengan mempertimbangkan *discount factor*. 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 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*.

**B. Mekanisme Evaluasi Mesin Packer**

Terdapat tiga tahap evaluasi yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

**1) Pembobotan Kriteria**

Tahap awal perhitungan bobot kriteria adalah normalisasi *decision matrix* [12]. 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* pada (4). Untuk setiap kriteria akan ditentukan nilai ideal (terbaik),  $f_{ij}^+$ , dan anti ideal (terburuk),  $f_{ij}^-$ . 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.

$$x_{ij} = \frac{f_{ij} - f_{ij}^-}{f_{ij}^+ - f_{ij}^-} \quad (4)$$

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,  $r_{jk}$ . Sedangkan standar deviasi,  $\sigma_j$ , akan dicari untuk masing-masing kriteria. Kedua nilai berguna untuk menghitung nilai informasi yang dibawa oleh data kriteria j. Nilai m merupakan banyaknya alternatif yang dievaluasi. Perhitungan nilai informasi berdasarkan (5).

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad (5)$$

Bobot secara objektif didapatkan dengan melakukan perhitungan berdasarkan nilai informasi pada setiap kriteria. Masing-masing kriteria akan memiliki bobot yang didapatkan dari (6). Informasi nilai bobot untuk setiap kriteria j berfungsi sebagai *input* pada perhitungan *scoring*.

$$w_j = C_j \left[ \sum_{k=1}^m C_k \right]^{-1} \quad (6)$$

**2) Scoring VIKOR**

Perhitungan pada metode VIKOR dilakukan untuk mencari nilai S, R, dan Q berdasarkan (7) - (9). Nilai n merupakan banyaknya kriteria yang dipertimbangkan [11]. Nilai  $S^*$  dan  $R^*$  adalah nilai minimum dari nilai S dan R sedangkan  $S^-$  dan  $R^-$  adalah nilai maksimum dari S dan R. Sedangkan nilai  $v$  merupakan bobot strategi pada metode VIKOR ( $v = 0,5$ ).

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{(f_{ij}^+ - f_{ij})}{(f_{ij}^+ - f_{ij}^-)} \quad (7)$$

$$R_i = \max \left[ w_j \frac{(f_{ij}^+ - f_{ij})}{(f_{ij}^+ - f_{ij}^-)} \right] \quad (8)$$

$$Q_i = v \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (9)$$

Kemudian dilakukan penyusunan *ranking* dari nilai terendah hingga terbesar berdasarkan nilai S, R, dan Q. Setelah itu dilakukan pengecekan kondisi. Terdapat dua kondisi yang harus dipenuhi yaitu (10) dan konsistensi *ranking*. Alternatif  $a'$  merupakan alternatif paling baik berdasarkan nilai Q. Nilai DQ didapatkan dari  $1/(M-1)$ .

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (10)$$

Konsistensi *ranking* adalah kondisi dimana alternatif  $a'$  juga yang paling baik berdasarkan nilai S dan R. Apabila terdapat salah satu kondisi yang tidak terpenuhi maka diusulkan alternatif terbaik berupa susunan alternatif, alternatif  $a'$  dan  $a''$ .

**3) Scoring C-VIKOR**

Perbedaan mendasar antara VIKOR dan C-VIKOR terletak pada perhitungan normalisasi data [15]. Perhitungan pada C-VIKOR berdasarkan fungsi non linier. Langkah awal C-VIKOR adalah penentuan nilai ideal pada setiap kriteria, sama dengan  $f_{ij}^+$  pada CRITIC, yang akan disebut dengan  $T_j$ . Kemudian dicari nilai  $A_j$  dengan cara (11).

$$A_j = \max\{f_j^{max}, T_j\} - \min\{f_j^{min}, T_j\} \quad (11)$$

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai S dan R berdasarkan (12) dan (13). Kemudian perhitungan nilai Q dan pengecekan kondisi sama dengan metode VIKOR.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \left( 1 - e^{-\frac{|f_{ij}-T_j|}{A_j}} \right) \quad (12)$$

$$R_i = \max \left[ w_j \left( 1 - e^{-\frac{|f_{ij}-T_j|}{A_j}} \right) \right] \quad (13)$$

**IV. EVALUASI PEMILIHAN MESIN PACKER**

Model yang telah disusun kemudian diimplementasikan untuk mengevaluasi dua alternatif, mesin bermerek HB dan CP.

**A. Simulasi Perhitungan TCO**

Simulasi dilakukan sebanyak 1000 replikasi, setelah melalui proses perhitungan *half width* dan uji validasi. Pada Gambar 1 dapat dilihat satu sampel replikasi simulasi untuk alternatif HB. Dari grafik tersebut dapat dilihat nilai *annual OMC* (*operational, maintenance, dan consequential cost*), *annual acquisition*, nilai EUAC, dan nilai minimum EUAC. Hasil rekapitulasi simulasi untuk kedua alternatif dapat dilihat pada Tabel 2. Dari rekapitulasi dapat dilihat bagaimana profil kriteria finansial dari kedua alternatif.

**B. Perhitungan Bobot Kriteria**

Proses pembobotan diawali dengan menentukan nilai ideal dan anti-ideal untuk setiap kriteria, dapat dilihat pada Tabel 4. Penentuan nilai bergantung dengan jenis kriteria. Sedangkan untuk *input* data model evaluasi dapat dilihat pada Tabel 3. Kemudian dihitung sesuai dengan persamaan pada penyusunan model. Sehingga didapatkan nilai informasi dan bobot seperti yang tertera pada Tabel 5.

### C. Scoring Metode VIKOR

Nilai bobot untuk setiap kriteria yang telah dihitung kemudian digunakan sebagai *input* pada perhitungan *scoring*. Berdasarkan (7) – (9) didapatkan nilai S, R, dan Q seperti yang tertera pada Tabel 6. Dari hasil perhitungan dilakukan pengecekan untuk memutuskan alternatif yang paling baik. Kondisi pertama terpenuhi dikarenakan nilai  $Q(a'') - Q(a') \geq DQ$ . Kondisi kedua pun juga terpenuhi sehingga dapat disimpulkan bahwa alternatif HB adalah *compromise solution* berdasarkan metode VIKOR.

### D. Scoring Metode C-VIKOR

Proses *scoring* menggunakan C-VIKOR dilakukan berdasarkan (11) – (13). Kemudian untuk menghitung nilai Q digunakan persamaan yang sama dengan metode VIKOR. Hasil perhitungan menunjukkan nilai S, R, dan Q seperti yang tertera pada Tabel 7. Kemudian dilakukan pengecekan kondisi yang sama pada metode VIKOR. Dapat diambil kesimpulan bahwa alternatif HB merupakan yang paling baik.

### E. Comparative Analysis

Proses evaluasi telah dilakukan dan didapatkan hasil seperti yang telah disampaikan. Kemudian dianalisis beberapa hal sebagai berikut.

#### 1) Hasil Scoring Dua Metode MCDM

Kesimpulan yang dihasilkan oleh VIKOR dan C-VIKOR adalah sama yaitu alternatif HB. Perbedaan terletak pada proses normalisasi, hasil normalisasi dapat dilihat pada Gambar 2 dan gambar 3.

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 2 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.

#### 2) Hasil TCO dengan MCDM

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.

Bobot kriteria merupakan hal yang juga mempengaruhi hasil keputusan pada model evaluasi. Jika dilihat pada Tabel 5 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.

#### 3) Analisis Risiko Keputusan MCDM

Analisis risiko dilakukan untuk melihat apakah akan ada perubahan keputusan jika *input* data berubah. Pada kasus ini terdapat dua nilai yang sebenarnya berupa *uncertainty* yaitu nilai minimum EUAC dan umur ekonomis. Keputusan awal dilakukan menggunakan nilai rata-rata dari hasil simulasi *monte carlo*. Pada proses analisis ini akan digunakan parameter distribusi dari hasil simulasi untuk melihat keputusan akhir. Hasil analisis ditampilkan pada Gambar 4 dan gambar 5.

## V. KESIMPULAN

Berikut ini merupakan kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini antara lain: (1) 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. (2) 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. (3) Proses penyusunan ranking dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu VIKOR dan C-VIKOR. Pada kedua metode alternatif yang paling baik adalah alternatif HB. (4) Terdapat beberapa analisis terkait hasil keputusan pada masing-masing metode dan risiko pada keputusan dalam metode MCDM yaitu sebagai berikut: a. 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. b. 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. c. 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*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Bengtsson and M. Kurdve, "Machining equipment life cycle costing model with dynamic maintenance cost," *Procedia Cirp*, vol. 48, pp. 102–107, 2016.
- [2] H. P. Barringer, D. P. Weber, M. H. Westside, and others, "Life-cycle cost tutorials," in *Fourth International Conference on Process Plant Reliability*, Gulf Publishing Company, 1995, pp. 1–58.
- [3] S. K. Durairaj, S. K. Ong, A. Y. C. Nee, and R. B. H. Tan, "Evaluation of life cycle cost analysis methodologies," *Corp. Environ. Strateg.*, vol. 9, no. 1, pp. 30–39, 2002.
- [4] L. M. Ellram, "Total cost of ownership," *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, 1995.
- [5] W. J. Fabrycky and B. S. Blanchard, *Life-cycle cost and economic analysis*, vol. 135383234. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ, 1991.
- [6] S. Raghavan and B. Chowdhury, "Developing life cycle management plans for power plant components," in *2012 North American Power Symposium (NAPS)*, 2012, pp. 1–6.
- [7] J.-P. Brans and P. Vincke, "Note—A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)," *Manage. Sci.*, vol. 31, no. 6, pp. 647–656, 1985.
- [8] P. Chatterjee and S. Chakraborty, "A comparative analysis of VIKOR method and its variants," *Decis. Sci. Lett.*, vol. 5, no. 4, pp. 469–486, 2016.
- [9] D. Diakoulaki, G. Mavrotas, and L. Papayannakis, "Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method," *Comput. Oper. Res.*, vol. 22, no. 7, pp. 763–770, 1995.
- [10] J.-J. Huang, G.-H. Tzeng, and H.-H. Liu, "A revised VIKOR model for multiple criteria decision making-The perspective of regret theory," in *International Conference on Multiple Criteria Decision Making*, 2009, pp. 761–768.
- [11] A. Jahan, F. Mustapha, M. Y. Ismail, S. M. Sapuan, and M. Bahraminasab, "A comprehensive VIKOR method for material selection," *Mater. Des.*, vol. 32, no. 3, pp. 1215–1221, Mar. 2011, doi: 10.1016/J.MATDES.2010.10.015.
- [12] R. L. Keeney, H. Raiffa, and others, *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. Cambridge university press, 1993.
- [13] S. Önüt, S. S. Kara, and T. Efindigil, "A hybrid fuzzy MCDM approach to machine tool selection," *J. Intell. Manuf.*, vol. 19, no. 4, pp. 443–453, 2008.