

**ANALISA PENENTUAN SISTEM KRITIS DAN REKOMENDASI TINDAKAN PENCEGAHAN
KERUSAKAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FUZZY FMEA* DAN *TOPSIS*
(STUDI KASUS : RADAR NAVIGASI SPERRY MARINE)**

Amanu Gempar Raharjo, Suparno, Ahmadi

Program Studi Analisa Sistem dan Riset Operasi,
Direktorat Pascasarjana Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut

ABSTRAK

Metode *FMEA* merupakan salah satu *tool* yang dapat diterima dengan baik untuk menganalisa *reliability* dan *safety* dari peralatan karena bersifat *visible* dan mudah digunakan. Namun tim *FMEA* akan mengalami kesulitan dalam penerapan pada industri nyata karena terdapat kelemahan (Yeh et al, 2007, Wang et al, 2009). Dalam menentukan mode kerusakan kritis dan prioritas perbaikan, *FMEA* tradisional masih memiliki kelemahan, dimana *FMEA* tradisional menempatkan faktor *severity*, *occurrence* dan *detection* pada tingkat kepentingan yang sama, walaupun pada kenyataannya memiliki tingkat kepentingan yang berbeda serta bobot kepentingan tim penilai *FMEA* diabaikan. Pada penelitian ini diintegrasikan metode *fuzzy* pada *FMEA* dimana faktor *severity*, *occurrence* dan *detection* dinilai dalam bentuk linguistik. Pada metode *fuzzy* ini, bobot kepentingan tim penilai *FMEA* diperhitungkan. Untuk melakukan perankingan dan prioritas perbaikan digunakan metode *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)* berdasarkan kriteria-kriteria seperti tingkat resiko, *economic cost*, ketersediaan *spare part*, *economic safety* dan *maintenance personal ability*. Penerapan metode *Fuzzy* dan *TOPSIS* pada *FMEA* untuk menentukan mode kerusakan kritis serta prioritas perbaikan dari berbagai alternatif yang terpilih diterapkan pada sistem *Motor Pokok KRI Kelas Sigma*, sehingga diharapkan dengan penerapan metode ini dapat meningkatkan kinerja operasional KRI untuk menjaga dan menegakkan wilayah yurisdiksi laut nasional.

Kata kunci : Penentuan Mode Kerusakan Kritis, Tindakan Pencegahan, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Fuzzy, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).

1. Pendahuluan

Metode *FMEA* dapat digunakan untuk mencegah berbagai bentuk kegagalan sistem, memperkirakan masalah serta mencari solusi yang paling optimal dan ekonomis. Metode *FMEA* dapat mengidentifikasi mode kegagalan potensial pada sistem, subsistem dan sistem. Metode ini memprioritaskan semua mode kegagalan potensial untuk menentukan tindakan pencegahan kemungkinan terjadinya kegagalan. Perbedaan utama metode *FMEA* dengan metode kualitas lainnya adalah metode *FMEA* merupakan metode aktif, sedangkan metode lainnya merupakan metode pasif (berdasarkan reaksi), dimana ketika terjadi kegagalan metode lain mendefinisikan beberapa reaksi yang akan membutuhkan biaya banyak, sumber daya dan waktu. Sementara metode *FMEA* berupaya untuk memprediksi potensi masalah dan risikonya dan kemudian mengambil langkah untuk mengurangi atau meniadakan resiko tersebut. Tindakan ini merupakan tindakan pencegahan terhadap apa yang akan terjadi di masa depan dan membutuhkan biaya dan waktu yang rendah dibandingkan dengan tindakan reaksi (Shekari, A. 2009).

Metode *FMEA* merupakan salah satu *tool* yang dapat diterima dengan baik untuk menganalisa *reliability* dan *safety* dari peralatan karena bersifat *visible* dan mudah digunakan. Namun tim *FMEA* akan mengalami kesulitan dalam penerapan pada industri nyata karena terdapat kelemahan (Yeh et al, 2007, Wang et al, 2009). Kelemahan-kelemahan tersebut adalah:

a. Informasi pada *FMEA* dinyatakan dalam bentuk linguistik seperti "*few*", "*moderate*" atau "*high*". Maka sulit bagi konvensional *FMEA* untuk mengevaluasi secara tepat *reliability* dan *safety* dari produk atau proses.

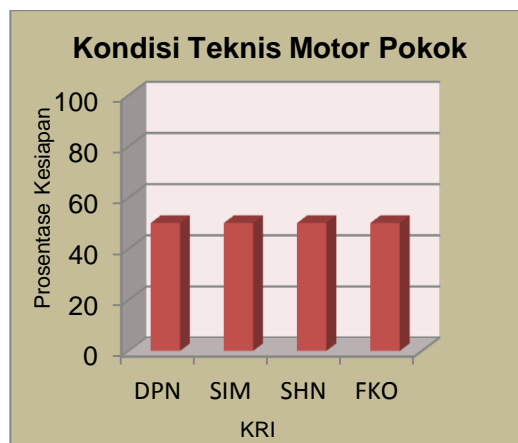
- b. Pada konvensional *FMEA*, penilaian pada ketiga parameter *severity (S)*, *occurrence (O)*, dan *detection (D)* diasumsikan memiliki tingkat kepentingan yang sama. Tetapi jika diterapkan pada dunia nyata, tingkat kepentingan antara (*S*), (*O*), dan (*D*) relatif berbeda.
- c. *Risk Priority Number (RPN)* dihitung untuk menentukan peringkat prioritas dalam tindakan perbaikan atau langkah pencegahan pada *FMEA*, akan tetapi untuk nilai yang sama dari *RPN* mungkin menimbulkan representasi risiko yang berbeda.
- d. Ketika melakukan penilaian dalam *FMEA*, keragaman dan kemampuan anggota tim *FMEA* penting dipertimbangkan. Ini dilakukan karena sulit untuk membagi pengalaman yang dimiliki dari anggota tim terhadap permasalahan yang dihadapi.

Untuk meningkatkan kinerja *FMEA* tradisional dalam menilai faktor-faktor resiko seperti *Severity (S)*, *Occurance (O)*, dan *Detection (D)*, pada penelitian ini menggunakan pendekatan *fuzzy*. Pada *FMEA* tradisional penilaian faktor-faktor kegagalan yang diterapkan pada bahasa alami akan memperoleh informasi yang tidak tepat (*ambiguous*) dan bersifat samar (*vague*) (Yeh et al, 2007).

Untuk menentukan tindakan rekomendasi dan prioritas perbaikan dari berbagai kerusakan sistem yang terjadi, dinas (bagian) perbaikan dihadapkan pada kriteria-kriteria untuk pelaksanaan perbaikan. Kriteria-kriteria tersebut adalah tingkat *resiko*, *economic cost*, ketersediaan *spare part*, *economic safety* dan *maintenance personal ability*. Setelah kriteria-kriteria tersebut dinilai oleh tim penilai *FMEA*, maka dilakukan perangkingan atau penilaian terhadap masing-masing mode kegagalan dengan pendekatan metode *TOPSIS*.

RADAR (Radio Detection and Ranging) merupakan alat navigasi KRI yang berfungsi untuk menentukan posisi kapal sendiri maupun kapal lain. Dengan kata lain *Radar* merupakan mata dari KRI untuk melaksanakan navigasi atau pelayaran dari suatu tempat ke tempat tertentu. Untuk itu peran *Radar* sangat penting untuk operasional KRI, tanpa *Radar* tidak mungkin KRI dapat melakukan pelayaran. Sebagai sistem, subsistem ataupun sistem aktif atau dengan kata lain selalu bergerak (beroperasi) tentunya rawan terjadinya kegagalan/kerusakan *Radar* tersebut. Kegagalan/kerusakan terjadi karena usia pakai ataupun sistem perawatan yang belum berjalan dengan baik.

Pada gambar 1.1 berikut menunjukkan jumlah KRI (Kapal Perang Republik Indonesia) yang menggunakan Sistem Motor Pokok Merk Pielstick dari berbagai Kelas KRI serta kondisi teknisnya. Dari gambar dapat kita lihat bahwa jumlah *Radar* yang tidak siap pakai lebih banyak dibanding dengan yang siap pakai.



Gambar 1.1 Konis Sistem Motor Pokok Merk Pielstick
(Sumber : Dirharkap 2015)

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Motor Pokok

Motor pokok merupakan bagian dari sistem pendorongan (propulsi) pada KRI yang berfungsi untuk menghasilkan daya thrust untuk menggerakkan KRI dalam operasi pelayaran. Untuk itu peran *Motor pokok* sangat penting untuk operasional KRI, tanpa *Motor pokok* tidak

mungkin KRI dapat melakukan pelayaran. Sebagai sistem, subsistem ataupun sistem aktif atau dengan kata lain selalu bergerak (beroperasi) tentunya rawan terjadi kerusakan pada sistem, subsistem serta sistem pada system *Motor pokok* tersebut. Kerusakan terjadi disebabkan karena usia pakai ataupun sistem perawatan yang belum berjalan dengan baik. Pada sistem *Motor pokok* tersebut terdapat banyak sistem yang sering mengalami kerusakan yang tentunya akan mempengaruhi kesiapan KRI dalam melaksanakan tugas operasional. Untuk menjaga kesiapan operasional *Motor pokok* diperlukan suatu sistem pemeliharaan yang baik, sehingga *Motor pokok* selalu dalam kondisi siap pada saat diperlukan.

Sistem pendorongan pada KRI Kelas Sigma menggunakan 2 unit Mesin Diesel dengan type piston "*trunk*" yang memiliki dua *turbo charge* dan pendingin air, memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a. Buatan: S.E.M.T Pielstick
- b. Type : 20 PA6 B STC
- c. Jumlah Silinder : 20
- d. Konfigurasi Silinder : V
- e. Engine Rating :
 - a) Rating pd 100% MCR : 8.100 kW
 - b) Speed pd 100% MCR : 1.050 rpm
- f. Power Maksimum :8.900 kW
- g. Kec. Mesin pd power maksimum : 1.084 rpm
- h. Tekanan barometrik total : 100 kPa
- i. Temperatur udara intake : 25° C
- j. Temp. air pd intercooler inlet : 25°C
- k. Kelembaban relatif : 30%
- l. Arah putaran : 1 Searah jarum jam, 1 berlawanan arah jarum jam.

2.2 Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) adalah suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin modus kegagalan. *FMEA* memiliki resiko-resiko yang berhubungan dengan potensi kegagalan (*failure*) dan menyediakan dasar yang baik untuk pengklasifikasian karakteristik (Pyzdek, 2002). *FMEA* yang baik dapat membantu pembuat analisa dalam mengidentifikasi mode kegagalan potensial, penyebab dan efeknya. Disamping itu, *FMEA* membantu dalam membuat prioritas dan tindakan korektif terhadap mode kegagalan tersebut.

Tujuan FMEA adalah membantu para analisis untuk mengidentifikasi dan mencegah masalah yang sudah teridentifikasi sebelum masalah tersebut terjadi. Untuk tujuan itu, resiko setiap mode kegagalan akan dievaluasi dan diprioritaskan sehingga tindakan korektif dapat dilakukan terhadap mode kegagalan yang berbeda.

Severity adalah penilaian terhadap keseriusan dari efek yang ditimbulkan. Dalam arti setiap kegagalan yang timbul akan dinilai seberapa besarkah tingkat keseriusannya. Terdapat hubungan secara langsung antara efek dan *severity*. Sebagai contoh, apabila efek yang terjadi adalah efek yang kritis, maka nilai *severity* pun akan tinggi. *Occurance* adalah kemungkinan suatu penyebab akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk.

Occurance merupakan nilai rating yang disesuaikan dengan frekuensi yang diperkirakan dan atau angka kumulatif dari kegagalan yang dapat terjadi. Nilai *detection* diasosiasikan dengan pengendalian saat ini. *Detection* adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan / mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Nilai *Risk Priority Number* (RPN) merupakan produk dari hasil perkalian tingkat keparahan, tingkat kejadian, dan tingkat deteksi. *RPN* menentukan prioritas dari kegagalan. RPN tidak memiliki nilai atau arti. Nilai tersebut digunakan untuk meranking kegagalan proses yang potensial.

Nilai *RPN* dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$RPN = (Severity)^{1/3} \times (Occurrence)^{1/3} \times (Detection)^{1/3}$$

2.2.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan suatu proses konversi dan kuantitas *fuzzy* menjadi kuantitas yang pasti, dimana output dan proses *fuzzy* dapat berupa gabungan logika dari dua atau lebih fungsi keanggotaan *fuzzy* yang didefinisikan sesuai dengan semesta pembicaraannya. Input dan

proses *defuzzy* adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai output seperti terlihat pada gambar 2.4 berikut ini.

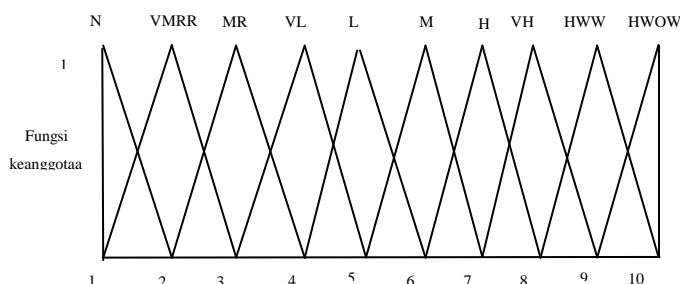
2.3 FMEA berbasis fuzzy

Beberapa ahli berpendapat bahwa faktor-faktor *S*, *O* dan *D* tidak mudah dievaluasi secara akurat. Upaya evaluasi dilakukan secara linguistik (Wang et all, 2009). Tabel berikut menunjukkan istilah linguistik dan fuzzy number yang digunakan untuk mengevaluasi faktor-faktor tersebut dan visualisasi membership function dari masing-masing faktor tersebut.

Tabel 2.1 *Fuzzy ratings for severity*

Rating	Severity of Effect	Fuzzy number
Hazardous without warning (HWOW)	Tingkat keperahan sangat tinggi ketika mode kegagalan potensial mempengaruhi sistem safety tanpa peringatan	(9, 10, 10)
Hazardous with warning (HWW)	Tingkat keperahan sangat tinggi ketika mode kegagalan potensial mempengaruhi sistem safety dengan peringatan	(8, 10)
Very High (VH)	Sistem tidak dapat beroperasi dengan kegagalan menyebabkan kerusakan tanpa membahayakan keselamatan	(7, 8, 9)
High (H)	Sistem tidak dapat beroperasi dengan kerusakan peralatan	(6, 7, 8)
Moderate (M)	Sistem tidak dapat beroperasi dengan kerusakan kecil (Minor)	(5, 6, 7)
Low (L)	Sistem tidak dapat beroperasi tanpa kegagalan	(4, 5, 6)
Very Low (VL)	Sistem dapat beroperasi dengan kinerja mengalami penurunan signifikan	(3, 4, 5)
Minor (MR)	Sistem dapat beroperasi dengan kinerja mengalami beberapa penurunan	(2, 3, 4)
Very Minor (VMR)	Sistem dapat beroperasi dengan sedikit gangguan	(1, 2, 3)
None (N)	Tidak ada pengaruh	(1, 1, 2)

Sumber : (Wang et all, 2009)

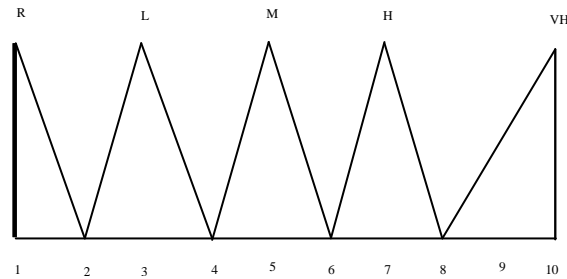


Gambar 2.2 Nilai fuzzy *severity* dan fungsi Keanggotaan (Sumber : Wang et all, 2009)

Tabel 2.5 *Fuzzy ratings for occurrence*

Rating	Probability of occurrence	Fuzzy Number
Very High (VH)	Failure tidak dapat dihindari	(8, 9, 10)
High (H)	Failure yang terjadi berulang	(6, 7, 8)
Moderate (M)	Failure kadang kali terjadi	(4, 5, 6)
Low (L)	Failure relatif sedikit	(2, 3, 4)
Remote (R)	Failure tidak mungkin terjadi	(1, 1, 2)

Sumber : (Wang et all, 2009)

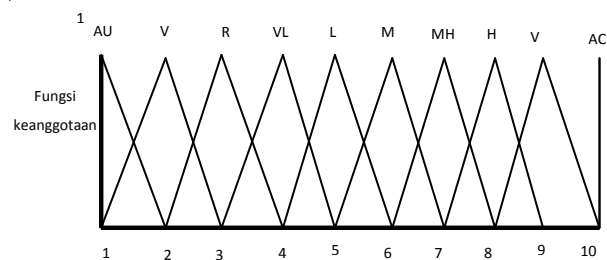


Gambar 2.3 Nilai fuzzy occurrence dan fungsi keanggotaan (Sumber : Wang et all, 2009)

Tabel 2.6 Fuzzy ratings for detection

Rating	Kemungkinan Deteksi oleh alat pengontrol	Fuzzy Number
Absolute Uncertainly (AU)	Tidak ada alat pengontrol yang mampu mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(9,10, 10)
Very remote (VR)	Sangat kecil kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(8, 9, 10)
Remote (R)	Kecil kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(7, 8, 9)
Very Low (VL)	Sangat rendah kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(6, 7, 8)
Low (L)	Rendah kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(5, 6, 7)
Moderate (M)	Sedang kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(4, 5, 6)
Moderately High (MH)	Sangat sedang kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(3, 4, 5)
High (H)	Tinggi kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(2, 3, 4)
Very High (VH)	Sangat tinggi kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(1, 2, 3)
Almost Certain (AC)	Hampir pasti kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(1, 1, 2)

(Sumber : Wang et all, 2009)



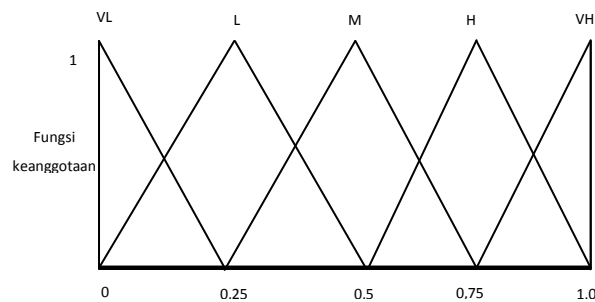
Gambar 2.4 Nilai fuzzy detection dan fungsi keanggotaan

FMEA tradisional tidak memperhitungkan kepentingan relatif dari faktor-faktor resiko dan menempatkannya dengan tingkat kepentingan yang sama. Bobot kepentingan relatif faktor resiko dinilai dengan menggunakan istilah linguistik yang dapat dilihat pada tabel 2.7 dan fungsi keanggotaannya dapat dilihat pada gambar 2.7.

Tabel 2.7 Fuzzy weight untuk kepentingan relatif resiko

Istilah Linguistik	Fuzzy Number
Very Low (VL)	(0 ; 0 ; 0,25)
Low (L)	(0 ; 0,25 ; 0,5)
Medium (M)	(0,25 ; 0,5 ; 0,75)
High (H)	(0,5 ; 0,75 ; 1)
Very High (VH)	(0,75 ; 1 ; 1)

Sumber : (Wang et all, 2009)



Gambar 2.5 Fungsi keanggotaan dari fuzzy weight (Sumber : Wang et all, 2009)

Berdasar pada (Wang et all, 2009) untuk melakukan penilaian terhadap faktor-faktor kegagalan pada FMEA dalam bentuk fuzzy, maka dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan opini subyektif terhadap anggota-anggota tim penilai FMEA dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\tilde{R}_i^O = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ij}^O = \left(\sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijL}^O, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijM1}^O, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijM2}^O, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijU}^O \right)$$

$$\tilde{R}_i^S = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ij}^S = \left(\sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijL}^S, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijM}^S, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijU}^S \right)$$

$$\tilde{R}_i^D = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ij}^D = \left(\sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijL}^D, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijM}^D, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijU}^D \right)$$

$$\tilde{R}_i^D = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ij}^D = \left(\sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijL}^D, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijM}^D, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{R}_{ijU}^D \right)$$

$$\tilde{W}^O = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_j^O = \left(\sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_{jL}^O, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_{jM}^O, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_{jU}^O \right)$$

$$\tilde{W}^S = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_j^S = \left(\sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_{jL}^S, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_{jM}^S, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_{jU}^S \right)$$

$$\tilde{W}^D = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_j^D = \left(\sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_{jL}^D, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_{jM}^D, \sum_{j=1}^m h_j. \tilde{W}_{jU}^D \right)$$

2. Menghitung *fuzzy risk priority number* (FRPN) untuk setiap mode kegagalan dengan persamaan berikut ini :

$$FRPN_i = (\tilde{R}_i^O)^{\frac{\bar{w}^O}{\bar{w}^O + \bar{w}^S + \bar{w}^D}} \times (\tilde{R}_i^S)^{\frac{\bar{w}^S}{\bar{w}^O + \bar{w}^S + \bar{w}^D}} \times (\tilde{R}_i^D)^{\frac{\bar{w}^D}{\bar{w}^O + \bar{w}^S + \bar{w}^D}}$$

Pada *FMEA* tradisional mendefinisikan *RPN* sebagai hasil sederhana dari *Occurance* (*O*), *Severity* (*S*), *Detection* (*D*) tanpa mempertimbangkan bobot kepentingan relatifnya. Namun pada *Fuzzy FMEA* bobot kepentingan relatifnya faktor-faktor resiko dinilai dengan menggunakan istilah linguistik.

2.4 Metode TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*)

TOPSIS adalah salah satu metode pengambilan keputusan multikriteria yang pertama kali diperkenalkan oleh Yoon dan Hwang tahun 1981. *TOPSIS* didasarkan pada konsep dimana alternatif yang terpilih atau terbaik tidak hanya mempunyai jarak terdekat dari solusi ideal positif, namun juga memiliki jarak terjauh dari solusi ideal negatif dari sudut pandang geometris dengan menggunakan jarak *Euclidean* untuk menentukan kedekatan relatif dari suatu alternatif dengan solusi optimal. Solusi ideal positif didefinisikan sebagai jumlah dari seluruh nilai terbaik yang dapat dicapai untuk setiap atribut, sedangkan solusi negatif-ideal terdiri dari seluruh nilai terburuk yang dicapai untuk setiap atribut.

Dalam penelitian ini, metode *TOPSIS* digunakan untuk penilaian prioritas mode kegagalan yang telah teridentifikasi dengan melakukan perbandingan terhadap faktor-faktor terpilih. Faktor-faktor tersebut adalah tingkat *resiko*, *economic cost*, *ketersediaan spare part*, *economic safety* dan *maintenance personal ability*. Tujuannya adalah untuk menghindari bias pada fungsi utilitas dalam mengevaluasi koefisien pembobotan pada faktor-faktor *severity*, *occurance* dan *detection*. Pendekatan ini digunakan dalam penelitian untuk mengevaluasi *Risk Priority Number* (*RPN*).

Langkah-langkah dari metode *TOPSIS* adalah (Sachdeva et al, 2009) :

1. Membangun matriks perbandingan kriteria pada *TOPSIS*.

TOPSIS dimulai dengan membangun sebuah matriks keputusan ;

$$X = [X_{ij}]$$

Dimana alternatif i^{th} ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) dievaluasi terhadap kriteria j^{th} ($j = 1, 2, 3, \dots, m$).

2. Normalisasi matriks perbandingan kriteria asli.

Digunakan persamaan (Deng et al, 2002 dalam Sachdeva et al, 2009). Untuk mengubah setiap elemen $[X_{ij}]$ dengan persamaan di bawah ini.

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

3. Perhitungan bobot setiap perbandingan kriteria

Perhitungan bobot masing-masing kriteria berdasarkan nilai entropi dan kemudian merubahnya menjadi bobot yang dijelaskan pada langkah-langkah berikut:

a. Hitung nilai entropi masing-masing kriteria C_1, C_2, \dots, C_n

Bobot masing-masing kriteria dihitung dengan menggunakan konsep entropi (Sachdeva et al, 2009) e_j mewakili entropi j^{th}

$$e_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n r_{ij} \cdot \ln(r_{ij}) \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Dimana $\frac{1}{\ln(n)}$ merupakan konstanta yang membuat nilai e_j antara 0 dan 1.

b. Perhitungan bobot $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ masing-masing kriteria

Bobot obyektif masing-masing kriteria dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

4. Penetapan solusi ideal positif (v^+) dan solusi idela negatif (v^-) untuk masing-masing perbandingan kriteria.

Dalam menurunkan indek kriteria dari setiap kriteria yang digunakan untuk perbandingan, penting untuk menghitung solusi ideal positif (v^+) dan solusi ideal negatif (v^-) untuk masing-masing perbandingan kriteria dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} (v^+) &= (\max(r_{i1}), \max(r_{i2}), \dots, \max(r_{in})) \\ &= (V_1^+, V_2^+, \dots, V_n^+) \\ (v^-) &= (\min(r_{i1}), \min(r_{i2}), \dots, \min(r_{in})) \\ &= (V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-) \end{aligned}$$

5. Perhitungan jarak untuk masing-masing kriteria antara solusi ideal positif (v^+) dan solusi idela negatif (v^-).

Untuk menghitung jarak *euclidean g* dari setiap alternatif ke (v^+) dan (v^-) menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} d_i^+ &= \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (v_j^+ - r_{ij})^2} & j = 1, 2, \dots, n \\ d_i^- &= \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (r_{ij} - v_j^-)^2} & j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

d_i^+ menunjukkan jarak dari kriteria i^{th} yang dibandingkan dengan solusi ideal positif, dan d_i^- menunjukkan jarak dari kriteria i^{th} yang dibandingkan dengan solusi ideal negatif.

6. Perhitungan relatif *Risk Priority Index (RPI)* dari solusi ideal

Peringkat akhir dari alternatif-alternatif didapat dengan mengacu pada nilai relatif kedekatan terhadap solusi ideal. Untuk masing-masing kriteria yang dibandingkan, RPI dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$RPI = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

2.3.1 Kriteria kualitatif

Kriteria kualitatif merupakan kriteria yang tidak mempunyai nilai secara pasti, untuk mengetahui nilainya perlu dilakukan kuantifikasi terhadap kriteria kualitatif tersebut. Setelah dilakukan kuantifikasi maka diperoleh nilai angka dari kriteria kualitatif. Kriteria kualitatif yang digunakan dalam menentukan prioritas perbaikan terhadap mode kegagalan diidentifikasi dari *root cause analysis (RCA)*.

Adapun kriteria-kriteria kualitatif tersebut terdiri dari *tingkat resiko, economic safety, economic cost, spare part* dan *maintenance ability*.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini meneliti tentang penerapan metode *FMEA, Fuzzy* dan *TOPSIS* pada operasional Radar Navigasi Sperry Marine Kapal Perang Republik Indonesia.

4. Penerapan Model

Penerapan model yang dilakukan akan diuji cobakan pada proses operasional Sistem Motor Pokok Merk Pielstick, dimana terdapat 35 mode kegagalan pada proses operasionalnya yang dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Mode Kerusakan sistem

No	Bagian /Fungsi	Failure Mode	Failure Effect
1	2	3	4
1	Sistem Air Laut	Turunnya temperatur pada salah satu keluaran exchanger (K1)	Perpindahan panas tidak terjadi maksimal dan tekanan turun
		Kenaikan temperatur pada salah satu keluaran exchanger (K2)	Engine panas, over heating
		Tekanan turun pada sistem air laut (K3)	Kurangnya debit air laut dan adanya udara dalam sistem, engine panas, over heating
2	H.T dan L.T Fresh Water Sistem	Kenaikan temperatur H.T Sistem Air Tawar pada outlet engine (K4)	Engine panas, over heating
		Penurunan temperatur H.T Sistem Air Tawar pada outlet engine (K5)	Perpindahan panas tidak terjadi maksimal dan tekanan turun
		Penurunan temperatur H.T Sistem Air Tawar pada inlet engine (K6)	Perpindahan panas tidak terjadi maksimal dan tekanan turun
		Penurunan temperatur H.T Sistem Air Tawar pada inlet engine (K6)	Perpindahan panas tidak terjadi maksimal dan tekanan turun
		Kebutuhan Air (K7)	Konsumsi air > konsumsi normal
		Kenaikan temperatur L.T Air Tawar pada outlet satu exchanger atau terlalu banyak air laut, udara, oli (K8)	Engine panas, over heating
		Penurunan temperatur H.T Sistem Air Tawar pada outlet engine (K9)	Perpindahan panas tidak terjadi maksimal dan tekanan turun
		Penurunan tekanan L.T Sistem Air Tawar (K10)	Kurangnya debit air laut dan adanya udara dalam sistem, engine panas, over heating
3	Injector cooling fresh water system	Kenaikan temperature pada sistem pendingin air tawar pada injector (K11)	Engine panas, over heating
		Penurunan tekanan pada sistem air tawar pada pendingin injector (K12)	Kurangnya debit air laut dan adanya udara dalam sistem, engine panas, over heating
		Konsumsi air tawar > normal konsumsi pada pendinginan injector (K13)	Kebocoran pada sistem
		Kenaikan level air tawar dalam tangki pada pendinginan injector (K14)	Klep rusak, pendinginan tidak sempurna
4	Engine Lubricating Sistem	Kenaikan temperature oli pada inlet engine (K15)	Engine panas, over heating
		Penurunan tekanan pada inlet engine (K16)	Engine panas, over heating
		Peningkatan tekanan pada inlet engine (K17)	Engine panas, over heating
5	Fuel Sistem	Penurunan tekanan pada inlet engine (K18)	Pembakaran tidak sempurna, engine panas, over heating

		Perubahan viscositas bahan bakar pada inlet engine (K19)	Pembakaran tidak sempurna, engine panas, over heating
6	Starting	Engine tidak bisa di start (K20)	Kapal tidak dapat manuver
		Engine tidak bisa di start setelah slow barring (K21)	Kapal tidak dapat manuver
		Engine berputar tetapi tidak bisa di start (K22)	Kapal tidak dapat manuver
7	Crankcase deaeration system	Peningkatan tekanan pada crankcase (K23)	Ring piston rusak, kondensasi pada sistem
		Peningkatan tekanan sangat signifikan pada crankcase (K24)	Piston seizure, rusak pada bearing shell, con rod, thrust bearing atau camshaft bearing rusak
8	Inlet Air	Temperatur udara masuk > temperature normal (K25)	Kotor pada thurbocharger
		Tekanan udara masuk > tekanan normal pada daya yang sama (K26)	Temperatur gas buang naik, daya engine tidak maksimal
		Tekanan udara masuk < tekanan normal pada daya yang sama (K27)	Cooler, filter dan turbocharge kotor, daya engine tidak maksimal
9	Exhaust gases	Kenaikan temperatur tidak normal pada satu silinder (K28)	Pembakaran tidak sempurna, injector atau injection pump bermasalah
		Kenaikan temperatur tidak normal pada semua silinder (K29)	Pembakaran tidak sempurna, cooler, filter udara dan turbocharger kotor atau rusak
		Temperatur turun pada satu silinder (K30)	Sensor, injector dan injection pump bermasalah
		Temperatur turun signifikan pada satu silinder (K31)	Sensor dan injection pump rusak
		Temperatur turun signifikan pada semua silinder (K32)	Sensor, governor dan injection pump rusak
		Naiknya jumlah asap pada silencer dan engine low power (K33)	Pembakaran tidak sempurna, cooler, filter udara dan turbocharger kotor atau rusak
		Naiknya jumlah asap pada outlet silencer (K34)	Pembakaran tidak sempurna, piston ring dan valve guide rusak
10	Main bearing	Kenaikan atau penurunan temperatur secara perlahan pada satu bearing (K35)	Alignment kurang sempurna dan deformasi pada bearing, bering shell dan journal bearing
		Kenaikan temperatur pada semua bearing (K36)	Rusak pada thermostatic valve, oil exchanger, sistem air tawar, dan air laut
		Kenaikan signifikan temperatur pada satu bearing (K37)	Rusak pada after cooling dan crankshaft
11	Sequential "S.T.C"	Perbedaan penunjukan speed turbocharge bank A - bank B (K38)	Sensor, VTC card dan turbocharge rusak
		"STC rusak" disply pada panel local (K39)	Tekanan udara control, actuator governor dan by pass P2-P4 bermasalah

12	Kerusakan yang lain	Daya tidak stabil pada kondisi laut tenang (K40)	Supply bahan bakar, fleksible link pada injection pump, governor dan instalasi sistem pendukung pada propeller pitch control kurang sempurna
----	---------------------	--	--

5. Hasil dan Pembahasan

5.1 Hasil Perbandingan RPN, FRPN dan RPI

Tabel 5.5 Perbandingan prioritas perbaikan dan perhitungan RPN, FRPN dan RPI

MODE KERUSAKAN	RPN $S^{1/3} \times O^{1/3} \times D^{1/3}$	PRIORITAS	FRPN	PRIORITAS	RPI	PRIORITAS
1	2	3	4	5	6	7
K1	5.619717955	37	6.334206345	36	0.779019281	5
K2	5.791926795	35	7.088482315	32	0.669971838	23
K3	5.897982788	24-28	7.213831927	31	0.797549856	3
K4	5.897982788	24-28	7.388564635	21-24	0.582033174	34
K5	5.627332366	36	6.404588768	34	0.775594758	6
K6	5.608190444	38	6.165808517	39	0.794540659	4
K7	5.60740448	39	6.351801306	35	0.713314449	16
K8	5.897982788	24-28	7.388564635	21-24	0.723037456	13
K9	5.589048522	29-30	6.221158653	37-38	0.651433905	27
K10	5.88088545	31-34	6.982929863	33	0.746465341	9
K11	5.897982788	24-28	7.388564635	21-24	0.71932399	15
K12	5.897982788	24-28	7.388564635	21-24	0.660729705	24
K13	5.550361617	40	6.12217268	40	0.864974928	1
K14	5.589048522	29-30	6.221158653	37-38	0.723338664	12
K15	5.88088545	31-34	7.347677663	27-29	0.66033578	25
K16	5.88088545	31-34	7.347677663	27-29	0.730337495	10
K17	5.88088545	31-34	7.347677663	27-29	0.725005412	11
K18	5.915382773	22	7.40894191	20	0.721400932	14
K19	5.983192483	14	7.518182197	14	0.854494524	2
K20	6.375746394	2-3	9.187085737	2-3	0.412537327	39
K21	6.375746394	2-3	9.187085737	2-3	0.479766373	37
K22	6.390609238	1	9.224752337	1	0.477550259	38
K23	6.146152559	5	7.912043963	7	0.356816236	40
K24	6.177920076	4	8.090823514	4	0.550256397	35
K25	6.130391943	6-7	7.974247599	6	0.492571832	36
K26	6.065852064	10	7.730335402	10	0.769499241	8
K27	6.032514872	13	7.620594222	13	0.706388959	19
K28	5.98262482	15-16	7.492309432	17-18	0.64926696	30

K29	6.082115102	9	7.86780059	9	0.702084824	20
K30	5.98262482	15-16	7.492309432	17-18	0.713220167	17
K31	6.04877791	12	7.71599858	12	0.770342748	7
K32	6.098378141	8	7.894640944	8	0.689549001	21
K33	5.966095145	19	7.460536108	19	0.650419917	29
K34	5.966384965	17-18	7.517022289	15-16	0.652953343	26
K35	5.966384965	17-18	7.517022289	15-16	0.712482612	18
K36	6.130391943	6-7	8.027800905	5	0.682430962	22
K37	6.049589026	11	7.71682616	11	0.636307036	31
K38	5.93248011	20-21	7.363619545	25-26	0.586555099	33
K39	5.93248011	20-21	7.363619545	25-26	0.651224731	28
K40	5.898285435	23	7.314227626	30	0.589461072	32

5.2 Analisa RPN, FRPN dan RPI

Pada tabel 5.1 dapat dilihat bahwa nilai RPN tertinggi adalah mode kerusakan sub sistem K22 dengan nilai RPN = 6,39069238. Sedangkan untuk mode kerusakan sub sistem dengan nilai RPN terendah yaitu sub sistem K13 dengan nilai RPN = 5,550361617. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat urutan sub sistem kritis berdasarkan RPN pada tabel 5.1 berikut :

Tabel 5.1 Rekapitulasi Sub sistem kritis berdasarkan nilai RPN

MODE KERUSAKAN	RPN	PRIORITAS
1	2	3
K1	5.619717955	37
K2	5.791926795	35
K3	5.897982788	24-28
K4	5.897982788	24-28
K5	5.627332366	36
K6	5.608190444	38
K7	5.60740448	39
K8	5.897982788	24-28
K9	5.589048522	29-30
K10	5.88088545	31-34
K11	5.897982788	24-28
K12	5.897982788	24-28
K13	5.550361617	40
K14	5.589048522	29-30
K15	5.88088545	31-34
K16	5.88088545	31-34
K17	5.88088545	31-34
K18	5.915382773	22
K19	5.983192483	14
K21	6.375746394	2-3
K22	6.390609238	1
K23	6.146152559	5
K24	6.177920076	4
K25	6.130391943	6-7
K26	6.065852064	10
K27	6.032514872	13
K28	5.98262482	15-16
K29	6.082115102	9
K30	5.98262482	15-16
K31	6.04877791	12
K32	6.098378141	8
K33	5.966095145	19
K34	5.966384965	17-18
K35	5.966384965	17-18
K36	6.130391943	6-7
K37	6.049589026	11
K38	5.93248011	20-21
K39	5.93248011	20-21
K40	5.898285435	23

Tabel 5.1 Rekapitulasi Sub sistem kritis berdasarkan nilai RPN (Lanjutan)

Dari tabel terlihat bahwa terdapat beberapa sub sistem yang memiliki nilai RPN yang sama. Hal ini disebabkan karena pada FMEA faktor-faktor *severity (S)*, *occurance (O)* dan *detection (D)* dianggap memiliki tingkat kepentingan yang sama, pada kenyataannya memiliki tingkat kepentingan yang berbeda. Begitu juga dengan bobot kepentingan tim penilai FMEA tidak diperhitungkan. Sebagai contoh sub sistem K3, K4 dan K8 yang memiliki nilai RPN yang sama yaitu 5,897982788 sehingga pengguna kesulitan menentukan sub sistem yang menjadi prioritas lebih dulu untuk diperbaiki. Begitu juga dengan sub sistem lainnya dimana terdapat 8 kelompok sub sistem yang memiliki nilai *RPN* yang sama.

Dengan pendekatan fuzzy sub sistem K22 peringkat 1. Sedangkan dengan perhitungan RPI dengan mempertimbangkan beberapa faktor kriteria *tingkat resiko*, *economic cost*, *ketersediaan spare part*, *economic safety* dan *maintenance personal ability*, maka diperoleh K22 menjadi peringkat/prioritas 38. Begitu juga dengan sub sistem prioritas yang lain, dimana terdapat perubahan ranking/prioritas perbaikan dari setiap sub sistem dengan masing-masing pendekatan tersebut.

Metode *TOPSIS* digunakan untuk penilaian prioritas mode kegagalan yang telah teridentifikasi dengan melakukan perbandingan terhadap kriteria-kriteria terpilih seperti *tingkat resiko*, *economic cost*, *ketersediaan spare part*, *economic safety* dan *maintenance personal ability*. Tujuannya adalah untuk menghindari bias pada fungsi utilitas dalam mengevaluasi koefisien pembobotan pada faktor-faktor *severity*, *occurance* dan *detection*. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi *Risk Priority Number (RPN)*.

Dengan melakukan perhitungan *RPN*, *FRPN* dan *RPI*, didapatkan 10 sub sistem yang menjadi sub sistem kritis dari sub sistem motor pokok merk pielstick. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa penentuan sub sistem kritis berdasarkan peringkat/prioritas perbaikan terhadap mode kegagalan / kerusakan dengan menggunakan metode *TOPSIS* sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

5.3 Analisa Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui akibat dari perubahan parameter-parameter dalam satu atau lebih bagian yang terkait dengan bagian-bagian lainnya. Dengan melakukan analisis sensitivitas maka akibat yang mungkin terjadi dari perubahan-perubahan tersebut dapat diketahui dan diantisipasi sebelumnya.

Pada penelitian ini analisa sensitivitas dilakukan dengan melakukan perubahan pada nilai bobot 30%, 40% dan 50% terhadap 5 (lima) kriteria yaitu ; *FRPN (Fuzzy Risk Priority Number)* , *Economic Cost (EC)*, *Economic Safety (ES)*, *Spare Part (SP)* dan *Maintenance Ability (MA)*. Perubahan bobot dilakukan dengan perubahan 30% dari kondisi yang ada. Dengan perubahan bobot masing-masing kriteria tersebut kita dapat melihat dampak yang dihasilkan, apakah terjadi perubahan ranking atau tetap. Dengan demikian kita dapat melihat kriteria mana yang sangat berpengaruh terhadap penentuan sistem kritis.

Dari ke tiga tabel 4.14, tabel 4.15 dan tabel 4.16 dapat dilihat bahwa perubahan kriteria mempengaruhi penentuan ranking dari sub sistem kritis. Berdasarkan tingkat pengaruh yang ditimbulkan terhadap perubahan prioritas sub sistem kritis, maka urutan kriterianya adalah kriteria *maintenance personal ability*, *kemudahan spare part*, *economic cost*, *economic safety* dan *FRPN*. Artinya bahwa setiap penambahan nilai bobot terhadap kriteria-kriteria tersebut, maka akan mempengaruhi ranking dari mode kerusakan kritis tersebut.

Berdasarkan perubahan nilai bobot pada setiap kriteria mulai dari penambahan nilai 30%, 40% dan 50% sesuai tabel 4.14, tabel 4.15 dan tabel 4.16 menunjukkan seberapa besar perubahan prioritas yang ditimbulkan, dimana kriteria *maintenance personal ability (MA)* menghasilkan total 76 perubahan prioritas (perubahan prioritas terbanyak). Perubahan prioritas tersebut menunjukkan bahwa betapa pengaruh masing-masing individu sebagai personil pengawas sangatlah strategis. Oleh sebab itu peningkatan kapabilitas dan profesionalisme setiap personil mutlak dibutuhkan seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan, teknologi dan modernisasi alutsista. Untuk mendorong percepatan peningkatan kapabilitas dan profesionalisme setiap personil tentunya harus diimbangi dengan peningkatan kualitas sistem pembinaan personil yang meliputi pembentukan mental yang kokoh dengan basic spiritualitas, serta peningkatan profesionalisme setiap personil melalui peningkatan kualitas latihan-latihan yang terstruktur dan berkesinambungan serta pendidikan pengembangan lanjutan bagi setiap personil yang pada gilirannya diharapkan akan dapat memberikan respon yang senantiasa positif terhadap berbagai macam perubahan yang mungkin terjadi.

Tabel 5.4 Hasil perhitungan *RPI* dengan perubahan bobot 30%

Mode Rusak	RPI	UJI SENSITIVITAS PADA KRITERIA (+30%)										PRIOR
		FRPN		ES		EC		SP		MA		
		Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K13	0.86497493	K13	0.868080714	K13	0.858509609	K13	0.861987444	K13	0.867494521	K13	0.868814743	1
K19	0.85449452	K19	0.847263284	K19	0.848183397	K19	0.860960332	K19	0.857229282	K19	0.858654947	2
K3	0.79754986	K3	0.799681443	K3	0.80115439	K3	0.806577883	K3	0.791823524	K3	0.793824187	3
K6	0.79454066	K6	0.794188377	K6	0.789295199	K6	0.803703959	K6	0.788872504	K6	0.790901453	4
K1	0.77901928	K1	0.783194495	K1	0.782953931	K1	0.788880315	K31	0.774705456	K5	0.772499925	5
K5	0.77559476	K5	0.779289753	K5	0.779590415	K5	0.785609735	K26	0.773878256	K31	0.767398821	6
K31	0.77034275	K31	0.763624411	K31	0.774431967	K31	0.771593591	K1	0.773651202	K26	0.766579551	7
K26	0.76949924	K26	0.762686736	K26	0.773603487	K26	0.770788002	K5	0.760729844	K1	0.766257134	8
K10	0.74646534	K10	0.746239087	K10	0.742076327	K10	0.757789776	K10	0.741726632	K10	0.744207484	9
K16	0.73033749	K16	0.729816494	K11	0.724322091	K16	0.74238249	K14	0.728610107	K16	0.738070314	10
K17	0.72500541	K17	0.727583074	K17	0.7209987	K17	0.737294537	K16	0.72591226	K8	0.730980321	11
K14	0.72333866	K14	0.722383412	K14	0.719361643	K8	0.73541049	K11	0.724673049	K17	0.723364163	12
K8	0.72303746	K8	0.720137037	K8	0.719067305	K18	0.733852089	K17	0.72068159	K18	0.71986325	13
K18	0.72140093	K18	0.718992703	K30	0.718327006	K14	0.726702486	K30	0.718687232	K14	0.712176387	14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K11	0.71932399	K11	0.718376534	K35	0.71760259	K7	0.726129119	K18	0.717146795	K35	0.71120118	15
K7	0.71331445	K7	0.716515425	K18	0.717458432	K11	0.722868284	K7	0.70921665	K29	0.710630563	16
K30	0.71322017	K30	0.709730182	K16	0.717337115	K30	0.717038847	K8	0.709193873	K11	0.708277067	17
K35	0.71248261	K35	0.708812376	K27	0.711617494	K35	0.716334447	K35	0.708400894	K27	0.705282617	18
K27	0.70638896	K27	0.70203844	K7	0.709516007	K27	0.710514723	K29	0.707765022	K7	0.702440199	19
K29	0.70208482	K29	0.695856637	K32	0.695077534	K29	0.706402482	K27	0.702425051	K30	0.702348625	20
K32	0.689549	K32	0.683416412	K29	0.689587565	K32	0.694431773	K32	0.695473703	K36	0.682013005	21
K36	0.68243096	K36	0.675405817	K36	0.688086301	K36	0.687633712	K36	0.678930237	K32	0.679357603	22
K2	0.66997184	K2	0.670811403	K2	0.66694553	K2	0.684734892	K2	0.666711986	K12	0.670465364	23
K12	0.66072971	K12	0.65971143	K39	0.657435998	K15	0.675532005	K34	0.659583047	K34	0.662912753	24
K15	0.66033578	K15	0.659388193	K34	0.650231245	K9	0.667030297	K12	0.657649697	K15	0.660552684	25
K34	0.65295334	K34	0.659332387	K12	0.648968895	K12	0.666905719	K15	0.657262223	K2	0.660342951	26
K9	0.65143391	K9	0.650773877	K9	0.648737844	K39	0.657830298	K33	0.657101107	K28	0.649801904	27
K39	0.65122473	K39	0.650321192	K15	0.648577533	K33	0.657061663	K39	0.648327319	K37	0.646745414	28
K33	0.65041992	K33	0.648757235	K33	0.64774192	K28	0.655960534	K28	0.646407397	K9	0.642337669	29
K28	0.64926696	K28	0.647377651	K28	0.646609502	K34	0.64148497	K9	0.638969407	K39	0.642134505	30
K37	0.63630704	K37	0.632938072	K37	0.642781604	K37	0.62558669	K37	0.633699015	K33	0.641352816	31
K40	0.58946107	K40	0.590500557	K40	0.587869036	K4	0.600749343	K40	0.587757743	K40	0.582145501	32
K38	0.5865551	K38	0.587270167	K38	0.585014832	K40	0.598843106	K38	0.584907952	K38	0.579323025	33

K4	0.58203317	K4	0.582660842	K4	0.580573463	K38	0.596067766	K4	0.58047345	K4	0.56536211	34
K24	0.5502564	K24	0.546041678	K24	0.558249189	K24	0.525566132	K24	0.558855591	K24	0.563148145	35
K25	0.49257183	K25	0.490733183	K25	0.492705558	K21	0.476079067	K25	0.502283859	K25	0.507120448	36
K21	0.47976637	K21	0.468492115	K21	0.489032112	K22	0.473962574	K21	0.480183784	K21	0.485171578	37
K22	0.47755026	K22	0.466028598	K22	0.486855478	K25	0.470482533	K22	0.478010515	K22	0.48301914	38
K20	0.41253733	K20	0.402945736	K20	0.423000729	K20	0.402871947	K20	0.414254485	K20	0.419874224	39
K23	0.35681624	K23	0.358868026	K23	0.359364173	K23	0.340842214	K23	0.35960572	K23	0.365738531	40

Tabel 5.5 Hasil perhitungan RPI dengan perubahan bobot 40%

Mode Rusak	RPI	UJI SENSITIVITAS PADA KRITERIA (+40%)										PRIOR
		FRPN		ES		EC		SP		MA		
		Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K13	0.86497493	K13	0.869002712	K13	0.856570174	K19	0.862830624	K13	0.868248825	K13	0.869950013	1
K19	0.85449452	K19	0.845115004	K19	0.846290439	K13	0.861123033	K19	0.858047898	K19	0.859884773	2
K3	0.79754986	K6	0.801208665	K3	0.802235523	K3	0.809189262	K3	0.790109435	K3	0.792722816	3
K6	0.79454066	K3	0.793189751	K6	0.787721891	K6	0.806354466	K6	0.787175829	K6	0.789825642	4
K1	0.77901928	K1	0.784434865	K1	0.784134078	K1	0.791732643	K31	0.776011365	K5	0.77158504	5
K5	0.77559476	K5	0.78038746	K5	0.78078886	K5	0.788506591	K26	0.775189047	K31	0.766528546	6
K31	0.77034275	K31	0.76162853	K31	0.775658476	K31	0.7719554	K1	0.772044351	K26	0.76571644	7
K26	0.76949924	K26	0.760662881	K26	0.774834503	K26	0.77116078	K5	0.756280262	K1	0.762484424	8
K10	0.74646534	K10	0.746171872	K10	0.740759899	K10	0.761065396	K10	0.740308173	K10	0.743540023	9
K16	0.73033749	K14	0.731740924	K11	0.725821207	K16	0.745866612	K14	0.730188032	K16	0.740356145	10
K17	0.72500541	K16	0.726764781	K30	0.719858736	K17	0.740849196	K11	0.726274207	K8	0.733328242	11

K14	0.72333866	K17	0.721604469	K17	0.719796938	K8	0.7389895	K16	0.724587622	K17	0.722878982	12
K8	0.72303746	K7	0.720679595	K35	0.719138261	K18	0.737453617	K30	0.720323713	K18	0.719408685	13
K18	0.72140093	K8	0.719275372	K14	0.718168788	K7	0.729835794	K17	0.719387321	K29	0.713156695	14
K11	0.71932399	K18	0.717478047	K8	0.717876499	K14	0.727675479	K18	0.715873385	K35	0.710822367	15
K7	0.71331445	K11	0.715681058	K18	0.71627593	K11	0.723893479	K29	0.709465317	K14	0.708876627	16
K30	0.71322017	K30	0.70869338	K16	0.713437784	K30	0.718143409	K7	0.707990037	K11	0.705011407	17
K35	0.71248261	K35	0.707722025	K27	0.713185725	K35	0.717448599	K35	0.707179095	K27	0.704955563	18
K27	0.70638896	K27	0.70074599	K7	0.708376714	K27	0.71170811	K8	0.705049971	K7	0.699225584	19
K29	0.70208482	K29	0.694006347	K32	0.696735745	K29	0.707651403	K27	0.701238516	K30	0.699134811	20
K32	0.689549	K32	0.681594545	K36	0.689782546	K32	0.695844126	K32	0.697247171	K36	0.68188945	21
K36	0.68243096	K36	0.673318791	K29	0.685839141	K36	0.68913862	K36	0.677882349	K32	0.676344851	22
K2	0.66997184	K2	0.671060821	K2	0.666037828	K2	0.689005141	K2	0.6657362	K12	0.673343238	23
K12	0.66072971	K9	0.662170512	K39	0.659298987	K15	0.67992755	K34	0.661567565	K34	0.665856768	24
K15	0.66033578	K15	0.659034299	K34	0.649414779	K9	0.671541591	K33	0.659101017	K15	0.660616804	25
K34	0.65295334	K12	0.658989652	K9	0.647929195	K12	0.668692186	K12	0.656727735	K2	0.657496486	26
K9	0.65143391	K34	0.650126395	K33	0.646938689	K39	0.659740974	K15	0.656342201	K28	0.649960043	27
K39	0.65122473	K39	0.650052769	K28	0.645812432	K33	0.658982804	K39	0.647460024	K37	0.649831012	28
K33	0.65041992	K33	0.648263286	K12	0.645441361	K28	0.657896667	K28	0.645551432	K39	0.639447278	29
K28	0.64926696	K28	0.646816377	K15	0.6450508	K34	0.638167642	K9	0.635238353	K9	0.639648665	30
K37	0.63630704	K37	0.63193721	K37	0.644723585	K37	0.622485735	K37	0.632918337	K33	0.638672425	31
K40	0.58946107	K40	0.590809367	K40	0.587391525	K4	0.606163041	K40	0.587247878	K40	0.579982892	32
K38	0.5865551	K38	0.587482599	K38	0.584552849	K40	0.601556882	K38	0.584414904	K38	0.5771851	33
K4	0.58203317	K4	0.582847309	K4	0.580135642	K38	0.598819328	K4	0.58000657	K24	0.566959218	34
K24	0.5502564	K24	0.544789482	K24	0.560646644	K24	0.518425728	K24	0.561429769	K4	0.560433858	35
K25	0.49257183	K25	0.490186919	K25	0.492745669	K21	0.475012505	K25	0.505191163	K25	0.511421327	36
K21	0.47976637	K21	0.465142764	K21	0.491811251	K22	0.472924828	K21	0.48030873	K21	0.486769449	37
K22	0.47755026	K22	0.462605749	K22	0.489646458	K25	0.464094326	K22	0.478148286	K22	0.484635835	38
K20	0.41253733	K20	0.40009627	K20	0.426139091	K20	0.400076212	K20	0.41476849	K20	0.422043137	39
K23	0.35681624	K23	0.359477606	K23	0.360128426	K23	0.336222643	K23	0.360440747	K23	0.368376291	40

Tabel 5.6 Hasil perhitungan RPI dengan perubahan bobot 50%

Mode Rusak	RPI	UJI SENSITIVITAS PADA KRITERIA (+50%)										PRIOR
		FRPN		ES		EC		SP		MA		
		Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	Mode Rusak	RPI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K13	0.86497493	K13	0.869878812	K13	0.854718647	K19	0.864587597	K13	0.868968291	K13	0.871026811	1
K19	0.85449452	K19	0.843072997	K19	0.844483378	K13	0.860310892	K19	0.858828659	K19	0.86105116	2
K3	0.79754986	K6	0.802660329	K3	0.803267594	K3	0.811642396	K3	0.788474614	K3	0.791678233	3
K6	0.79454066	K3	0.79224053	K6	0.786219982	K6	0.808844357	K6	0.785557618	K6	0.788805301	4
K1	0.77901928	K1	0.785613869	K1	0.78526067	K1	0.794412126	K31	0.777256882	K5	0.770717327	5
K5	0.77559476	K5	0.781430859	K5	0.781932919	K5	0.791227904	K26	0.77643922	K31	0.765703144	6
K31	0.77034275	K31	0.759731394	K31	0.776829324	K31	0.772295284	K1	0.770511809	K26	0.764897833	7
K26	0.76949924	K26	0.758739153	K26	0.776009654	K26	0.771510967	K5	0.752036452	K1	0.758906242	8
K10	0.74646534	K10	0.746107982	K10	0.739503212	K10	0.76414252	K10	0.73895531	K10	0.742906977	9
K16	0.73033749	K14	0.733570146	K11	0.727252292	K16	0.749139635	K14	0.731692985	K16	0.742524063	10
K17	0.72500541	K16	0.725986969	K30	0.721320955	K17	0.74418845	K11	0.727801319	K8	0.735555047	11
K14	0.72333866	K7	0.722283031	K35	0.720604242	K8	0.742351661	K16	0.723324236	K17	0.722418818	12
K8	0.72303746	K17	0.720864064	K17	0.718649713	K18	0.740836898	K30	0.721884515	K18	0.718977558	13
K18	0.72140093	K8	0.718456332	K14	0.717030065	K7	0.73331785	K17	0.718152905	K29	0.715552517	14
K11	0.71932399	K18	0.716624012	K8	0.716739729	K14	0.728589511	K18	0.714658865	K35	0.710463086	15
K7	0.71331445	K11	0.71488797	K18	0.715147091	K11	0.72485655	K29	0.71108699	K14	0.705747008	16
K30	0.71322017	K30	0.707707872	K27	0.714682789	K30	0.719181037	K7	0.706820149	K27	0.704645373	17
K35	0.71248261	K35	0.706685617	K16	0.709715394	K35	0.718495237	K35	0.706013798	K11	0.701914131	18
K27	0.70638896	K27	0.699517482	K7	0.707289122	K27	0.71282918	K8	0.701097687	K7	0.69617672	19
K29	0.70208482	K29	0.692247588	K32	0.698318706	K29	0.708824653	K27	0.700106853	K30	0.696086707	20
K32	0.689549	K32	0.679862814	K36	0.691401815	K32	0.697170894	K32	0.698938625	K36	0.681772265	21
K36	0.68243096	K36	0.671335017	K29	0.682260809	K2	0.693016622	K36	0.676882921	K12	0.676072658	22
K2	0.66997184	K2	0.671297899	K2	0.665171318	K36	0.690552334	K2	0.664805539	K32	0.673487442	23
K12	0.66072971	K9	0.664507935	K39	0.661077432	K15	0.684056733	K34	0.663460317	K34	0.668648917	24
K15	0.66033578	K15	0.658750959	K34	0.648635363	K9	0.67577951	K33	0.661008442	K15	0.660677619	25

K34	0.65295334	K12	0.658610827	K9	0.647157244	K12	0.670370413	K12	0.655848406	K2	0.654796791	26
K9	0.65143391	K39	0.649797626	K37	0.646577444	K39	0.661535867	K15	0.655464726	K37	0.652757441	27
K39	0.65122473	K34	0.649510942	K33	0.64617191	K33	0.660787527	K39	0.646632837	K28	0.650110027	28
K33	0.65041992	K33	0.647793775	K28	0.645051534	K28	0.659715474	K28	0.64473505	K9	0.637098311	29
K28	0.64926696	K28	0.64628287	K12	0.642073896	K34	0.635051306	K37	0.632173759	K39	0.63689861	30
K37	0.63630704	K37	0.630985858	K15	0.641684112	K37	0.619572664	K9	0.631679841	K33	0.63613024	31
K40	0.58946107	K40	0.591102898	K40	0.586935684	K4	0.611248678	K40	0.586761592	K40	0.577931792	32
K38	0.5865551	K38	0.587684521	K38	0.584111831	K40	0.604106209	K38	0.583944658	K38	0.575157411	33
K4	0.58203317	K4	0.583024551	K4	0.579717689	K38	0.60140415	K4	0.579561282	K24	0.570573807	34
K24	0.5502564	K24	0.5435992	K24	0.562935354	K24	0.511718555	K24	0.563884963	K4	0.555759716	35
K25	0.49257183	K25	0.489667664	K21	0.49446427	K21	0.474010574	K25	0.507964087	K25	0.515500468	36
K21	0.47976637	K21	0.461959118	K25	0.492783961	K22	0.471949967	K21	0.480427898	K21	0.488284931	37
K22	0.47755026	K22	0.459352241	K22	0.49231078	K25	0.458093712	K22	0.478279685	K22	0.48616917	38
K20	0.41253733	K20	0.397387779	K20	0.429135032	K20	0.397449894	K20	0.415258725	K20	0.424100217	39
K23	0.35681624	K23	0.360057044	K23	0.36085801	K23	0.331883399	K23	0.361237174	K23	0.370878119	40

6. Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

a. Berdasarkan analisis sistem pemeliharaan motor pokok merk pielstick dengan mengintegrasikan metode fuzzy FMEA dan Topsis di dapatkan prioritas pertama sampai dengan prioritas kelima sub sistem kritis adalah K13 (*Konsumsi air tawar > normal konsumsi pada pendinginan injector*) dengan nilai RPI : 0,864974928, K19 (Perubahan viscositas bahan bakar pada inlet engine) dengan nilai RPI : 0,854494524, K3 (Tekanan turun pada sistem air laut) dengan nilai RPI : 0,797549856, K6 (Penurunan temperatur H.T Sistem Air Tawar pada inlet engine) dengan nilai RPI : 0,794540659, K1 (Turunnya temperatur pada salah satu keluaran exchanger) dengan nilai RPI : 0,779019281 sedangkan prioritas terakhir sub sistem kritis adalah K23 (*Peningkatan tekanan pada crankcase*) dengan nilai RPI : 0,356816236.

b. Penentuan rekomendasi tindakan pencegahan kerusakan dan prioritas perbaikan dengan metode TOPSIS dengan mempertimbangkan kriteria- kriteria sesuai kondisi nyata di lapangan. Perubahan bobot setiap kriteria akan berpengaruh dalam penentuan sub sistem kritis dan prioritas perbaikan, adapun urutan berdasarkan pengaruh yang dihasilkan adalah perubahan bobot pada kriteria *maintenance personal ability, kemudahan spare part, economic cost, economic safety dan FRPN*. Rekomendasi tindakan pencegahan kerusakan dan perbaikan adalah sebagai berikut :

1. Melaksanakan pengecekan, kalibrasi dan servis secara berkala.
2. Pengadaan suku cadang dengan tepat berdasarkan data historis di lapangan.

6.2 Saran

a. Pada penelitian ini belum menghitung biaya optimal dalam perawatan/perbaikan. Untuk penelitian berikutnya bisa ditambahkan atau dihitung berapa biaya yang optimal dalam perawatan sistem motor pokok merk pielstick tersebut.

b. Untuk menentukan perangsingan/prioritas dalam menentukan sub sistem kritis untuk penelitian berikutnya dapat menggunakan metode MCDM yang lainnya seperti *ELECTRE, PROMETHE, SAW* dan lainnya.

c. Untuk menentukan besarnya bobot setiap Tim Penilai *FMEA* pada penelitian ini hanya berdasarkan kepangkatan dan jabatan Tim Penilai. Untuk penelitian berikutnya dapat dihitung dengan menggunakan *Software Expert Group MCDM*.

7. Daftar Pustaka

- Anish Sachdeva, Dinesh Kumar, and Pradeep Kumar (2009), *Multi factor failure model critically analysis using TOPSIS*. Journal of Industrial Engineering International Islamic Azad University, South Tehran Branch January 2009, Vol. 5, No. 8, 1-9.
- Ashish H. Makwana, Jayeskhumar Pitroda (2013), *An approach for Ready Mixed Concrete for Contruction Companies through Technique for Order Preference by Similarity ti Ideal Solution (TOPSIS) Technique*. Volume-3, Issue-5, October 2013.
- Diana Puspita Sari, Zaenal Fanani Rosyada dan Nadia Rahmadhani (2011), *Analisa Penyebab Kerusakan Produk Woven Bag Dengan Menggunakan Metode FMEA*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. <http://publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/PROSIDING_SNST_FT/article/view/209/200> Diakses 26 April 2014.
- Kultu dan Mehmet (2012). *Fuzzy failure and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP*. Expert Systems with Applications, 39(2012), 61-67.
- Kusumadewi, S., Purnomo. (2004), *Aplikasi Logika Fuzzy untuk pendukung Keputusan*, Graha Ilmu, Yogyakarta. Manual Book *Motor pokok Sperry Marine Type Fision Master* 2010
- Mesut Kumru, Pinar Yildiz Kumru (2013), *Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital*. Applied Soft Computing 13 (2013) 721-733.
- Nuri Guntur Perdana, Tri Widodo (2013), *Sistem Pendukung Keputusan Pemberian Beasiswa Kepada Peserta Didik Baru Menggunakan Metode TOPSIS*. Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan 2013 (SEMANTIK 2013) Semarang, 16 November 2013. <[http://eprints.dinus.ac.id/5132/1/P42-TI53-SEMANTIK-Tri Widodo-U11.pdf](http://eprints.dinus.ac.id/5132/1/P42-TI53-SEMANTIK-Tri%20Widodo-U11.pdf)> Diakses 26 April 2014.
- Peng Wang, Yang Li, Yong-Hu Wang, and Zhou-Quan Zhu (2015), *A New Method Based on TOPSIS and Response Surface Method for MCDM Problems with Interval Numbers*. Volume 2015, Article ID 938535, 11 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/938535>.

- Pillay, A., Wang, J (2003), *Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Reasoning*, *Reliability Engineering & System Safety* 139,379 -394.
- Prabjot Kaur, Richa Sharma, N.C. Mahanti and A.K. Singh (2009). *Exploration of Topsis (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) as an Alternative to Traditional Classification Algorithm in Small Areas of Lohardaga District of Jharkhand, India, Using Remote Sensing Image-A Case Study*. *Research Journal of Earth Sciences* 1 (2): 81-85, 2009
- Pyzdek (2002), *The Six Sigma Handbook*, PT.Salemba Patria, Jakarta
- Rakesh. R, Bobin Cherian Jos, George Mathew (2013), *FMEA Analysis for Reducing Breakdowns of a Sub System in the Life Care Product Manufacturing Industry*. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)* Volume 2, Issue 2, March 2013.
- Ravendra Singh, Hemant Rajput, Vedansh Chaturvedi, Jyoti Vimal (2012), *Supplier Selection By Technique Of Order Preference By Similarity To Ideal Solution (TOPSIS) Method for Automotive Industry*. *International Journal of Advanced Technology & Engineering Research (IJATER)* VOLUME 2, ISSUE 2, March 2012.
- Sachdeva, A., Kumar, D., P. (2009), *Multi Factor Mode Critically Analysis Using TOPSIS*. *International Journal of Industrial Engineering*, Vol. 5, No. 8 pp 1-9.
- Shahram Shariati (2014), *Underground mine risk assessment by using FMEA in the presence of uncertainty*. *Decision Science Letters* 3 (2014) 295–304.
- Sharma, R. K, D., and Kumar P (2005), *Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modeling*. *International journal of Quality and Reliability Management* , 22(9), 986-1004.
- Shekari, A., Fallahian, S. (2007), *Improvement of Lean methodology with FMEA*, POMS 18th Annual Conference, Texas.
- Seyed Habibollah Mirghafoori, Faezeh Asadian Ardakani and Fatemeh Azizi (2014), *Developing a Method for Risk Analysis in Tile and Ceramic Industry Using Failure Mode and Effects Analysis by Data Envelopment Analysis*. Vol. 7, No. 2, July 2014 pp: 343-363
- Shahroudi, Rouydel (2012), *Using a multi-criteria decision making approach (ANP-TOPSIS) to evaluate suppliers in Iran's auto industry*. *International Journal of Applied Operational Research* Vol. 2, No. 2, pp. 37-48, July 2012
- Susilo, F. (2003), *Pengantar Himpunan & Logika Kabur serta Aplikasinya*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Sutikno. (2011), *Metode defuzzifikasi aturan mamdani pada sistem kendali logika fuzzy*. Tugas Akhir, Undip, Semarang.
- Ved Parkash, Deepak Kumar, Chandan Kumar, Rakesh Rajoria (2013), *Failure Mode and Effect Analysis of Automotive Charging system*. *International Journal of Software and Hardware Research Engineering* Volume 1, Issue 3, Nopember 2013.
- Wang, Y.M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., & Yang, J.B. (2009), *Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean*. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 1195-1207.
- Yan, J., M. Ryan and J. Power (1994), *Using Fuzzy Logic Towards Intelligent Systems*, Prentice Hall International, London
- Yeh, R. H., Hsieh, M. H (2007), *Fuzzy Assesment of FMEA for Sewage Plant*, *Journal of Chinese Institute of Industrial Engineers* 24, 505-512.
- Yonas Mitiku Degu dan R. Srinivasa Moorthy (2014), *Implementation of Machinery Failure Mode and Effect Analysis in Amhara Pipe Factory P.L.C*. *American Journal of Engineering Research (AJER)* e-ISSN : 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936 Volume-03, Issue-01, pp-57-63.
- Zaifang Zhang, Xuening Chu (2011), *Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty*. *Expert Systems with Applications* 38 (2011) 206–214.
- Zaman, Kobayashi, Wakabayashi, Khanfir, Pitana and Maimun (2014), *Fuzzy FMEA Model for Risk Evaluation of Ship Collisions in the Malacca Strait Based on AIS*. *Journal of Simulation* (2014) 8,91–104