

PENGUJIAN SUHU LEMARI ES DENGAN METODE TERINTEGRASI FUZZY-FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FUZZY-FMEA)

Refrigerator Temperature Testing with Fuzzy-Failure Mode and Effect Analysis Integrated Method (Fuzzy-FMEA)

Tri Widiанти dan Himma Firdaus

Pusat Penelitian Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian - LIPI
Kawasan Puspiptek, Gedung 417, Setu, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia
E-mail: tri_widiанти@yahoo.com

Diterima: 8 Juli 2015, Direvisi: 30 September 2015, Disetujui: 18 Maret 2016

Abstrak

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) banyak diimplementasikan untuk analisis risiko baik di bidang manufaktur maupun jasa. Permasalahan yang sering timbul pada implementasi FMEA yaitu sulitnya menentukan peringkat risiko karena kesamaan nilai RPN. Samanya nilai RPN menimbulkan kesulitan bagi pengambil keputusan untuk memprioritisasi risiko yang harus ditindaklanjuti. Logika *fuzzy* merupakan logika matematis yang dapat digunakan untuk memperbaiki kelemahan FMEA. Sehingga, tujuan penelitian ini adalah integrasi FMEA dengan logika *fuzzy* sebagai upaya perbaikan terhadap metode FMEA. Tujuan lainnya adalah implementasi integrasi *Fuzzy-FMEA* pada lingkup pengujian suhu lemari es. Implementasi *Fuzzy-FMEA* pada pengujian ini dilakukan sebagai tindakan pencegahan terhadap risiko kegagalan pada pengujian yang dipersyaratkan oleh SNI ISO/IEC 17025:2008. Studi kasus pengujian suhu pada lemari es ini dipilih karena lemari es merupakan salah satu produk yang diwajibkan untuk memperoleh Sertifikat Produk Penggunaan Tanda SNI (SPPT-SNI) yang mengacu pada standar SNI IEC 60335-2-7:2009. Selain itu, penerapan *Fuzzy-FMEA* pada konteks pengujian sampai saat ini belum ditemukan. Hasil analisis dengan *Fuzzy-FMEA* menunjukkan bahwa risiko kegagalan paling tinggi pada proses pengujian suhu lemari es paling tinggi terjadi pada *mode* kegagalan: *power source tiba-tiba shut down* dengan nilai RPN 5,8887.

Kata kunci: *Fuzzy-FMEA*, analisis risiko, pengujian.

Abstract

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) was widely implemented for risk analysis in manufacturing and services. The problem which was frequently emerged at FMEA implementation is the difficulty of determining risk priority due to similarity of Risk Priority Number (RPN). The similarity of RPN values caused trouble for decision makers to prioritize risks that must be followed up. *fuzzy logic* is a mathematical logic that can be used to rectify the shortcomings of FMEA. Thus, the purpose of this study is the integration of FMEA with *fuzzy logic* as efforts to improve FMEA method. The other purpose is the implementation of *Fuzzy-FMEA* integration on the scope of temperature testing of the refrigerator. *Fuzzy-FMEA* implementation in this test is conducted as precaution toward risk failure in testing as require on SNI ISO/IEC 17025:2008. The case study of temperature testing of refrigerator has been selected since it is a one of the products that are required to obtain SNI Marking Product Certificate (SPPT-SNI) refers to SNI IEC 60335-2-7:2009 standard. Besides, *Fuzzy-FMEA* implementation in the testing context has not been found. The *Fuzzy-FMEA* result show that the highest failure risk in the proces of temperature testing of refrigerator occurs in failure mode: *power source unexpectedly shutdown* with RPN value is 5.8887.

Keywords: *Fuzzy-FMEA*, risk analysis, testing.

1. PENDAHULUAN

Lemari es merupakan salah satu komoditas elektronik pilihan yang terus mengalami peningkatan dari segi permintaannya (kemenperin. go.id, 2014). Peningkatan permintaan lemari es diimbangi dengan

peningkatan jumlah produksi lemari es (Supriyadi, 2014). Adanya pertimbangan aspek jaminan keselamatan pada pengguna atau masyarakat mendorong pemerintah sebagai regulator untuk menerapkan standar wajib bagi produk lemari es. Hal ini terlihat dengan dikeluarkannya Permenperin No. 34/M-IND/PER/7/2013 terkait pemberlakuan SNI wajib

pada lemari es. Peraturan ini menjelaskan bahwa lemari es yang beredar harus memiliki Sertifikat Produk Penggunaan Tanda SNI (SPPT-SNI) sebagai bentuk pemenuhan terhadap standar SNI IEC 60335-2-24:2009.

Proses sertifikasi tentunya harus melewati beberapa proses penting, diantaranya adalah pengujian kesesuaian produk terhadap standar teknis yang ditentukan. Proses pengujian lemari es ini jika mengacu pada standar SNI ISO/IEC 17025:2008 harus menggunakan metode yang valid sebagai jaminan mutu terhadap keabsahan pengujian dan pengendalian terhadap ketidaksesuaian (BSN, 2008). Pengendalian ketidaksesuaian salah satunya dengan tindakan pencegahan sesuai dengan klausul 4.12 pada standar SNI ISO/IEC 17025:2008 yaitu dapat dilakukan dengan analisis kecenderungan dan risiko (BSN, 2008). Karena itu, analisis risiko dalam pengujian menjadi penting dilakukan sebagai upaya pencegahan terhadap ketidaksesuaian dan jaminan mutu pada proses pengujian.

Definisi risiko jika mengacu pada penjelasan Muehlen & Ho (2006) dan Raftary (1994) merupakan "*probabilitas terjadinya kerugian atau keuntungan dikalikan besarnya dampak risiko tersebut*". Risiko dapat muncul dalam berbagai kondisi, tidak terkecuali pada proses pengujian lemari es. Analisis risiko merupakan sebuah upaya pengendalian terhadap kerugian yang mungkin timbul di masa depan. Pada proses pengujian analisis risiko penting untuk mencegah terjadinya kegagalan saat pengujian yang akan menyebabkan kerugian, diantaranya penurunan kepuasan pelanggan akibat tertundanya penyelesaian pengujian, pemborosan sumber daya laboratorium (waktu, tenaga, alat) karena harus dilakukan proses pengujian ulang, atau turunnya citra laboratorium yang dapat berdampak pada kehilangan pelanggan pengujian.

Pada penelitian ini metode analisis risiko yang digunakan adalah *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA) karena menurut Firdaus & Widiyanti (2015); Chen, dkk. (2014); Chen & Wu (2013); Kurt & Ozilgen, (2013); dan McDermott, dkk. (2009), metode ini memiliki kemampuan untuk merepresentasikan tingkat risiko pada suatu proses dengan indikator nilai RPN. Namun metode ini memiliki kelemahan pada skala pemeringkatannya. Hal tersebut disampaikan oleh beberapa peneliti seperti (Kumru & Kumru, 2013 dan Chang & Cheng, 2010). Kelemahan lainnya disebutkan oleh Chang, dkk. (2013); Chang & Cheng (2010); dan Seyed-Hosseini, dkk. (2006), yaitu kombinasi perkalian nilai S, O, dan D dapat menghasilkan angka RPN yang

sama sehingga seolah-olah prioritas risikonya sama. Selain itu, FMEA dianggap mengabaikan pengaruh bobot dari masing-masing kriteria risiko S, O, dan D (Kumru & Kumru, 2013; Hadi-Vencheh & Aghajani, 2013). Fakta tersebut menimbulkan masalah bagi pengambil keputusan untuk menentukan langkah perbaikan terhadap hasil analisis risiko yang diperoleh. Karena itu, pada penelitian ini, metode FMEA diintegrasikan dengan logika *fuzzy* untuk mengatasi beberapa kelemahan tersebut. Logika *fuzzy* dipilih karena menurut Silva, dkk. (2014), Mandal & Maiti (2014), Kumru & Kumru (2013), Jong, dkk. (2013), Dinmohamadi & Safiee (2013), dan Chang & Cheng (2010), mampu menyelesaikan permasalahan yang terdapat pada analisis risiko dengan FMEA. Pendekatan *fuzzy* juga mampu menyelesaikan masalah ketidaktepatan dan ketidakpastian yang biasa terdapat pada analisis risiko (Nielsen & Aven, 2003 dan Liu, dkk., 2012). Logika matematis pada *fuzzy* mampu mengevaluasi proses yang memiliki kesulitan pemeringkatan dengan memberikan pertimbangan bobot pada kriteria S, O, dan D pada FMEA tradisional (Kumru & Kumru, 2013 dan Braglia, dkk., 2003).

Berdasarkan uraian di atas maka penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan penerapan *Fuzzy-FMEA* pada proses pengujian suhu lemari es agar sesuai dengan standar SNI ISO/IEC 17025:2008 dalam hal pengendalian ketidaksesuaian yang salah satu tindakan pencegahannya dapat dilakukan dengan analisis kecenderungan dan risiko. Secara spesifik penelitian ini juga bertujuan untuk menjawab kelemahan skala pemeringkatan risiko pada FMEA tradisional dengan pendekatan *fuzzy logic*. Penelitian ini juga merupakan perbaikan analisis risiko dengan FMEA tradisional yang sudah dilakukan oleh Firdaus & Widiyanti (2015).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengujian Suhu Lemari Es

Metode uji suhu pada lemari es mengacu pada butir 11 dalam SNI IEC 60335-1:2009 dan SNI IEC 60335-2-24:2009. Butir ini menjelaskan tentang uji pemanasan untuk keselamatan peralatan listrik rumah tangga khususnya untuk peralatan pendingin, peralatan es krim dan pembuat es. Dalam butir uji tersebut dinyatakan bahwa peranti dan sekitarnya harus tidak menimbulkan suhu yang berlebihan pada penggunaan normal.

Penggunaan normal yang dimaksudkan standar adalah bahwa lemari es dioperasikan

pada tegangan yang paling tidak menguntungkan antara 0,94 kali dan 1,06 kali dari tegangan pengenal. Untuk mengatur tegangan sesuai yang diinginkan maka digunakan regulator tegangan atau *power source*. Lemari es yang digunakan di daerah tropis (berlabel iklim T), dioperasikan pada suhu lingkungan 43 ± 1 °C sehingga pengoperasiannya memerlukan *chamber* suhu. Lemari es diatur sehingga menghasilkan pendinginan yang maksimum. Di dalam *chamber*, lemari es ditempatkan dalam suatu sudut uji yang terbuat dari kayu lapis hitam dengan ketebalan 20 mm. Lemari es dihidupkan sehingga mencapai kondisi tunak.

Kenaikan suhu bagian-bagian kritis lemari es diukur menggunakan dua metode, yaitu metode termokopel dan metode resistansi. Pengukuran dengan metode termokopel menggunakan *temperature recorder* dengan sensor termokopel tipe T yang terpasang pada *channel-channel* yang digunakan. Pada pengujian suhu ini, kurang lebih ada 15 - 25 *channel* yang digunakan untuk satu lemari es. Bagian-bagian kritis yang dapat diukur suhunya dengan metode termokopel antara lain adalah bagian terminal kabel, bagian ruangan di sekitar saklar, thermostat, dan pembatas suhu, bagian insulasi, bagian fitting lampu, bagian kayu termasuk sudut uji, bagian selungkup luar, dan bagian permukaan kapasitor. Ujung termokopel ditempelkan menggunakan perekat atau isolasi tahan panas.

Sedangkan metode resistansi digunakan untuk mengukur kenaikan suhu pada belitan motor yang ada pada lemari es, seperti pada motor kompresor dan kipas. Metode ini menggunakan persamaan konversi perubahan resistansi ke perubahan suhu untuk mengetahui kenaikan suhu yang terjadi antara kondisi sebelum dan sesudah lemari es dioperasikan normal. Pada penelitian ini, pengukuran resistansi menggunakan RCL meter dengan resolusi 0,0001 Ohm. Resistansi belitan awal diukur saat lemari es belum dioperasikan namun telah dikondisikan dalam suhu uji. Sedangkan resistansi belitan pada akhir uji ditentukan dengan mengambil pengukuran resistansi sesegera mungkin setelah sakelar *off* dan kemudian pada interval pendek sedemikian sehingga kurva resistansi terhadap waktu dapat diplot untuk menentukan resistansi pada sakelar *off*. Untuk mengetahui perubahan resistansi terhadap waktu pada saat mengukur resistansi akhir uji digunakan *stop watch* sebagai alat bantu pengukur waktu pengukuran resistansi.

2.2 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

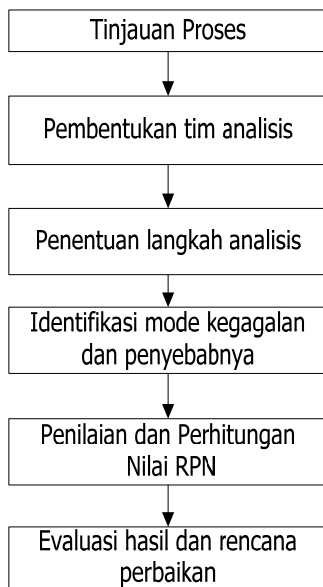
Pada awalnya FMEA dibangun sebagai alat analisis teknis oleh *US States Departmen of Defense*. Namun seiring dengan perkembangannya, FMEA mulai diterapkan di bidang industri yaitu mulai tahun 1960 industri manufaktur (McDermott, dkk., 2009). Saat ini, FMEA sudah diaplikasikan juga di bidang jasa kesehatan (Lopez-Tarjuelo, dkk., 2014; Chiarini, 2012; dan Ookalkar, dkk., 2009), layanan *outsourcing* (Liao & Ho, 2014 dan Nassimbeni, dkk., 2012), penerbangan (Sharma, dkk., 2011), dan swalayan (Chung, 2010).

Jika dipandang dari lingkup analisisnya secara umum, seperti yang disampaikan oleh McDermott (2009), FMEA dapat dibagi menjadi dua yaitu *Product/Design FMEA* dan *Process FMEA*. *Product/Design FMEA* merupakan jenis FMEA yang digunakan untuk menganalisis produk atau desain produk. Fokus analisisnya pada *mode* kegagalan yang disebabkan karena ketidakefisienan sebuah produk maupun rancangan produk baik manufaktur maupun jasa (McDermot, dkk., 2009). Sedangkan *process FMEA* adalah analisis risiko yang diperuntukkan pada tahapan dan proses produksi dengan komponen analisisnya setiap langkah yang terlibat pada suatu proses produksi (McDermott, dkk., 2009). *Process FMEA* memiliki manfaat yang besar karena mampu menganalisis secara detail setiap *mode* kegagalan. *Process FMEA* tidak hanya menganalisis pada peralatan yang dipergunakan dalam proses namun juga memperhatikan dimana *mode* kegagalan tersebut mempengaruhi secara langsung terhadap kualitas, kekuatan, dan produk akhir yang dihasilkan (McDermott, dkk., 2009).

McDermott, dkk., (2009) membagi tahapan analisis risiko FMEA ke dalam 6 (enam) langkah yang dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 dapat dijelaskan bahwa tahapan analisis risiko dengan FMEA dimulai dengan melakukan tinjauan terhadap proses. Tinjauan proses ini akan menghasilkan diagram proses yang akan dianalisis. Pada tahap kedua dibentuk tim analisis yang bertugas untuk menentukan langkah analisis dan melakukan identifikasi *mode* kegagalan dan penyebabnya yang merupakan langkah ketiga dan keempat pada tahapan analisis dengan FMEA. Tahap kelima adalah melakukan penilaian dan perhitungan nilai *Risk Priority Number (RPN)* yang diperoleh dari perkalian kriteria *Severity (S)*, *occurrence (O)* dan *Detection (D)*.

Berdasarkan nilai dari RPN kemudian dilakukan evaluasi dan rencana perbaikan. Kriteria *severity* menunjukkan keseriusan dari

akibat kegagalan yang terjadi, *occurrence* menunjukkan kemungkinan penyebab terjadinya kegagalan, sedangkan *detectability* melihat apakah risiko yang ada dapat diketahui sebelum terjadinya kegagalan dan penilaian terhadap alat kendali yang dimiliki dapat mengurangi risiko kegagalan yang dapat terjadi (McDermott, dkk., 2009).



Gambar 1 Tahapan umum analisis risiko dengan FMEA.

Kriteria S, O, dan D memiliki skor dari 1-10, yang digunakan untuk menentukan penilaian pada masing-masing kriteria. Nilai RPN yang diperoleh digunakan untuk melakukan pemeringkatan tingkatan risiko dan menentukan prioritas perbaikannya. Semakin tinggi nilai RPN, menunjukkan tingkat risiko yang tinggi serta prioritas yang tinggi untuk melakukan tindakan pencegahan dan perbaikan (Mc Dermott, dkk., 2009). Perhitungan nilai RPN dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$RPN = S \times O \times D$$

Langkah keenam setelah perhitungan nilai RPN adalah evaluasi hasil dan rencana perbaikan berdasarkan nilai RPN yang diperoleh dari hasil analisis.

2.3 Fuzzy Logic

Logika Fuzzy dikembangkan dari teori himpunan Fuzzy yang diusulkan Zadeh pada tahun 1965 (Zadeh, 2008). Logika Fuzzy memberikan dasar berpikir dengan metode pendekatan, yaitu cara berpikir yang menyatakan bahwa suatu unsur dapat tidak sepenuhnya menjadi anggota suatu

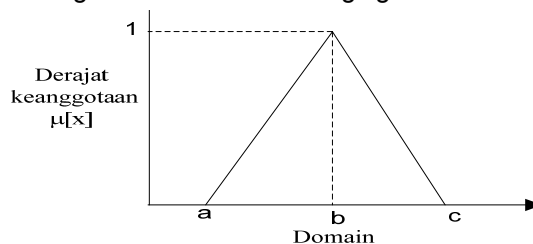
himpunan tertentu. Hal ini berbeda dengan teori logika klasik yang menyatakan bahwa segala sesuatu bersifat biner, yang artinya adalah hanya mempunyai dua kemungkinan, “Ya atau Tidak” atau bernilai keanggotaan 1 atau 0. Himpunan *fuzzy* menjelaskan suatu konsep berdasarkan premis bahwa unsur-unsur yang digunakan adalah bukan dalam bentuk angka-angka melainkan terkait dengan istilah linguistik. Oleh karena itu, variabel *fuzzy* memiliki nilai keanggotaan tidak hanya 0 dan 1 namun dapat juga bernilai antara 0 dan 1 (Rafie & Namin, 2015). *Fuzzy* menawarkan kerangka berpikir yang lebih realistis dibandingkan metode klasik dengan mengelola informasi yang tidak akurat dengan memanipulasi data secara matematis (Silva, dkk., 2014).

Algoritma logika *fuzzy* diawali dengan penentuan variabel linguistik, pembentukan fungsi keanggotaan dan basis aturan dan mengkonversi data tegas menjadi nilai *fuzzy*. Kemudian mengevaluasi setiap aturan dalam basis aturan, menggabungkan hasil dari tiap aturan, dan mengubah data keluaran menjadi nilai non-*fuzzy* (*defuzzification*) (Rafie & Namin, 2015 dan Kumru & Kumru, 2013).

Variabel linguistik adalah variabel *input* atau *output* dari sistem yang nilai-nilainya adalah kata-kata atau kalimat dari bahasa alami, bukan nilai-nilai numerik. Sebuah variabel linguistik umumnya didekomposisi menjadi serangkaian istilah linguistik. Fungsi keanggotaan yang digunakan dalam fuzzifikasi dan defuzzifikasi langkah dari sistem logika *fuzzy* (FLS), digunakan untuk memetakan nilai *input non-fuzzy* ke dalam istilah linguistik *fuzzy* dan sebaliknya. Fungsi keanggotaan juga berfungsi untuk mengukur bobot dari istilah linguistik. (Kumru & Kumru, 2013).

Fungsi keanggotaan dinyatakan dalam bentuk grafik yang mewakili besar dari derajat keanggotaan masing-masing variabel *input* yang berada dalam interval antara 0 dan 1. Derajat keanggotaan sebuah variabel *x* dilambangkan dengan simbol $\mu(x)$. Fungsi yang biasa digunakan antara lain:

1. Fungsi berbentuk kurva segitiga

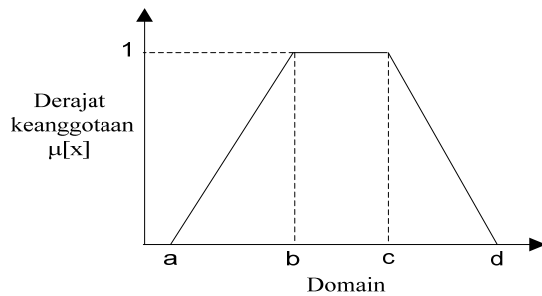


Gambar 2 Representasi kurva segitiga. (Sumber: Kusumadewi & Purnomo, 2004).

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ dan } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases}$$

2. Fungsi berbentuk kurva trapesium



Gambar 3 Representasi kurva trapesium.

(Sumber: Kusumadewi & Purnomo, 2004).

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ dan } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \end{cases}$$

Metode Mamdani paling sering digunakan dalam aplikasi-aplikasi karena strukturnya yang sederhana, yaitu menggunakan operasi MIN-MAX atau MAX-PRODUCT. Untuk mendapatkan *output*, diperlukan empat tahapan berikut:

1. Fuzzifikasi
2. Pembentukan basis pengetahuan *Fuzzy* (rule dalam bentuk IF...THEN).
3. Aplikasi fungsi implikasi menggunakan fungsi MIN dan Komposisi antar-rule menggunakan fungsi MAX (menghasilkan himpunan *Fuzzy* baru).
4. Defuzzifikasi menggunakan metode *Centroid*.

2.4 Pendekatan *Fuzzy* - FMEA

FMEA memiliki kelemahan pada skala prioritasnya, hal ini disadari oleh beberapa peneliti seperti Vahdhani (2014), Mandal & Maiti (2014), Liu, dkk. (2014), Jong, dkk. (2013), Chang, dkk. (2013), Sant'Anna (2012), dan Wang, dkk. (2009), mereka berusaha mengajukan perbaikan terhadap kelemahan tersebut dengan mengusulkan pendekatan logika *Fuzzy*. Beberapa kritik terhadap FMEA tradisional yaitu:

1. Adanya potensi nilai RPN yang sama pada *mode* kegagalan yang berbeda yang

dihasilkan dari kombinasi perkalian dari S, O, dan D, yang berakibat pada kesamaan tingkat prioritas pada *mode* kegagalan yang berbeda (Kumru & Kumru, 2013; Chang, dkk., 2013; Chen & Cheng, 2010; dan Seyed-Hosseini, dkk., 2006).

2. Tidak diperhatikannya pengaruh bobot pada masing-masing kriteria S, O, dan D yang dapat memiliki pengaruh terhadap prioritas risiko (Kumru & Kumru, 2013; Hadi-Vencheh & Aghajani, 2013).
3. Nilai RPN diperoleh dari perkalian nilai S, O, dan D tanpa mempertimbangkan hubungan tidak langsung antara kriteria (Chen & Cheng, 2010).

Ketiga kritik di atas menurut Kumru & Kumru (2013), Hadi-Vencheh & Aghajani (2013), Wang, dkk. (2009), dan Chin, dkk. (2008) dapat diselesaikan dengan pendekatan logika *fuzzy* dan pembobotan kriteria S, O, dan D. Logika *fuzzy* juga disebutkan merupakan suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output* (Kusumadewi & Purnomo, 2004). Logika *fuzzy* digunakan untuk mengganti 10 titik skala pada FMEA menjadi variabel linguistik (Kumru & Kumru, 2013; Kutlu, dkk., 2012; dan Mandal & Maiti, 2014). Pada *Fuzzy-FMEA*, aturan *if-then* digunakan untuk memperoleh *output* RPN atau *Fuzzy RPN* (Sharma, dkk., 2005), berdasarkan hasil kriteria S, O, dan D yang sudah diubah menjadi variabel linguistik (Chin, dkk., 2008; Sharma, dkk., 2005; Guimaraes & Lapa, 2004; dan Pillay & Wang, 2003;) disimpulkan *Fuzzy-FMEA* merupakan integrasi *fuzzy* pada FMEA tradisional yang merupakan metode analisis risiko dengan pendekatan penilaian ahli untuk menentukan kriteria risiko S, O, dan D yang skala pemeringkatan kriteria dan angka prioritas risikonya dikonversi ke dalam bahasa linguistik *fuzzy* (Kutlu, dkk., 2012; Khalegi, dkk., 2013; dan Dinmohammadi & Safiee, 2013).

2.5 Penelitian Pendahuluan

Penggunaan *Fuzzy-FMEA* semakin berkembang (Yang, Bonsall & Wang, 2008; Keskin & Özkan, 2009; Gargama & Chaturvedi, 2011; Dinmohamadi & Safiee, 2013; dan Khalegi, dkk., 2013). Hal ini dilakukan sebagai usaha perbaikan terhadap FMEA tradisional yang sudah banyak dilakukan dengan pendekatan perbaikan pada skala penilaian. Beberapa aplikasi penerapan *Fuzzy-FMEA* dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa penerapan *Fuzzy-FMEA* sudah cukup luas di bidang manufaktur.

Pada bidang layanan atau jasa, masih sedikit dan tersebar di beberapa bidang tertentu saja. Berdasarkan penelusuran peneliti pada beberapa *database* besar seperti *google scholar*, *science direct*, *springer link*, *EBSCO*, *Emerald dan Proquest*, tidak ditemukan penerapan *Fuzzy-FMEA* dalam proses pelaksanaan pelayanan pengujian sehingga penelitian ini dapat menjadi pioner penerapan *Fuzzy-FMEA* di bidang pelayanan pengujian.

3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini data penelitian diambil pada tahun 2015 dengan lokus analisis adalah proses pengujian suhu lemari es. Data diperoleh dari penyebaran kuesioner penilaian risiko terhadap responden ahli yaitu satu orang penyelia pengujian dan dua orang pelaksana. Metode pembentukan *Fuzzy-FMEA* pada proses pelayanan pengujian ini didahului dengan proses pembobotan pada kriteria risiko S, O, dan D.

Pembobotan dilakukan dengan metode *pairwise comparison* (Saaty, 2008). Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kepentingan kriteria S, O, dan D pada analisis risiko pelayanan pengujian. Bobot kriteria yang diperoleh digunakan sebagai landasan dalam pembentukan fungsi keanggotaan *fuzzy*.

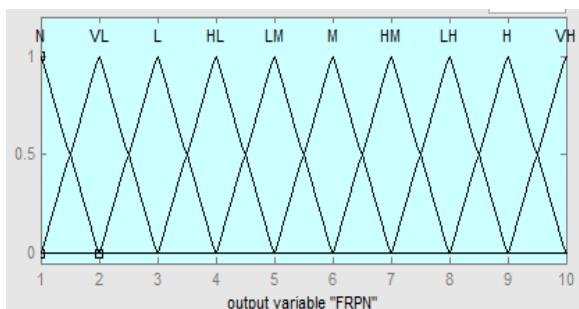
Pada penelitian ini, untuk memberikan bobot yang berbeda pada *input Fuzzy-FMEA*, dilakukan dengan 2 langkah. Langkah pertama, dengan memvariasikan rentang nilai dari fungsi keanggotaan variabel linguistik antara satu *input* dengan lainnya. Variasi ini dilakukan dengan tujuan agar kurva fungsi keanggotaan *occurrence*, *severity* dan *detection* memiliki bentuk yang berbeda sesuai dengan bobot yang risiko representasikan dengan besar dan kecilnya rentang nilai variabel linguistik. Pada penelitian ini, himpunan *fuzzy* antar variabel linguistik dibuat saling beririsan sehingga diharapkan satu nilai *input* akan dapat memiliki bobot pada beberapa variabel linguistik yang berbeda.

Tabel 1 Perkembangan aplikasi Fuzzy-FMEA.

No	Manufaktur		Jasa	
	Bidang Aplikasi	Sumber	Bidang Aplikasi	Sumber
1	Perancangan pengelasan pipa	Halfarova dkk (2013)	Proses pembelian di rumah sakit umum	Kumru & Kumru (2013)
2	Pengeboran minyak lepas pantai	Asl dan Ahmadzadeh (2013)	<i>Supply Chain</i> dan <i>Supplier Selection</i>	Karuturi (2013)
3	Pengolahan sarang burung yang dapat dikonsumsi	Jong dkk (2012)	<i>Warehouse operation</i>	Ustundag (2012)
4	Perancangan pada motor <i>permanent magnet direct current</i>	Chin dkk (2008)	<i>Ship collision</i>	Zaman dkk (2014)
5	Perakitan <i>Offshore Wind Turbines</i>	Dinmohamadi dan Shafie (2013)	<i>Performance management</i> di toko perbaikan otomotif	Parameshwaran dkk (2010)
6	<i>Enterprise Resources Planning (ERP)</i>	Shirouyehzad dkk (2014)	<i>Hospital service</i>	Geum dkk (2011)
7	HVAC (<i>Heating, ventilation and air-conditioning</i>) di <i>pharmaceutical plant</i>	Lv dan Liang (2014)	<i>Information security risk</i>	Silva dkk (2014)
8	<i>Diesel engine systems</i>	Xu dkk (2002)	<i>Hospital information system</i>	Yucel dkk (2014)
9	<i>PWR chemical and volume control system</i>	Guimaraes and Lapa (2004a)		
10	<i>Feed water system</i> di sebuah pembangkit listrik nuklir	(Guimaraes and Lapa (2004b)		
11	<i>Sewage plant</i>	Yeh and Hsieh (2007)		
12	<i>Semiconductor manufacturing processes</i>	Tay dan Lim (2006)		

Beragamnya nilai *input* berimplikasi pada beragamnya nilai *output*. Semakin lebar rentang variabel linguistik, maka implikasi *input* semakin melemah terhadap *output*. Semakin lebar rentang variabel linguistik, maka implikasi *input* semakin melemah terhadap *output*.

Langkah kedua adalah mengatur aturan-aturan *fuzzy* sehingga dapat memberikan pengaruh pembobotan pada hasil keluaran *fuzzy*. Fungsi keanggotaan keluaran *fuzzy* dibuat dengan menggunakan kurva segitiga sebanyak 10 level seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. Untuk memberikan efek pembobotan, aturan-aturan *fuzzy* perlu diatur sehingga memberikan keluaran yang sesuai dengan bobot kriteria masukannya. Setiap masukan memiliki lima variabel linguistik yaitu AN (*almost none*), L (*low*), M (*medium*), H (*high*), dan VH (*very high*). Pada masukan *occurrence* dengan nilai variabel berada dalam fungsi keanggotaan AN, maka keluaran *fuzzy* diatur mulai dari N sampai dengan H, sesuai dengan variasi nilai variabel lainnya (*severity* dan *detection*). Demikian juga untuk *severity*, jika nilai *severity* berada pada rentang variabel *input* AN, maka keluaran *fuzzy* berada dalam fungsi keanggotaan AN, maka keluaran *fuzzy* diatur mulai dari N sampai dengan H, sesuai dengan variasi nilai variabel lainnya (*severity* dan *detection*). Demikian juga untuk *severity*, jika nilai *severity* berada pada rentang variabel *input* AN, maka keluaran *fuzzy* diatur mulai dari N sampai dengan LM sesuai dengan nilai variabel lainnya (*occurrence* dan *detection*).



Gambar 4 Keluaran Fuzzy RPN

Selanjutnya, *Fuzzy-RPN* yang merupakan keluaran dari *Fuzzy-FMEA* diatur sesuai dengan Tabel 2. Langkah penerapan *fuzzy-FMEA* pada proses pelayanan pengujian dengan studi kasus pengujian lemari es dapat dilihat pada Gambar 5.

Diagram alir penelitian pada Gambar 5 menjelaskan bahwa proses penerapan *fuzzy-FMEA* pada pengujian diawali dengan proses penetapan alur proses sistem pengujian, kemudian identifikasi *mode* kegagalan,

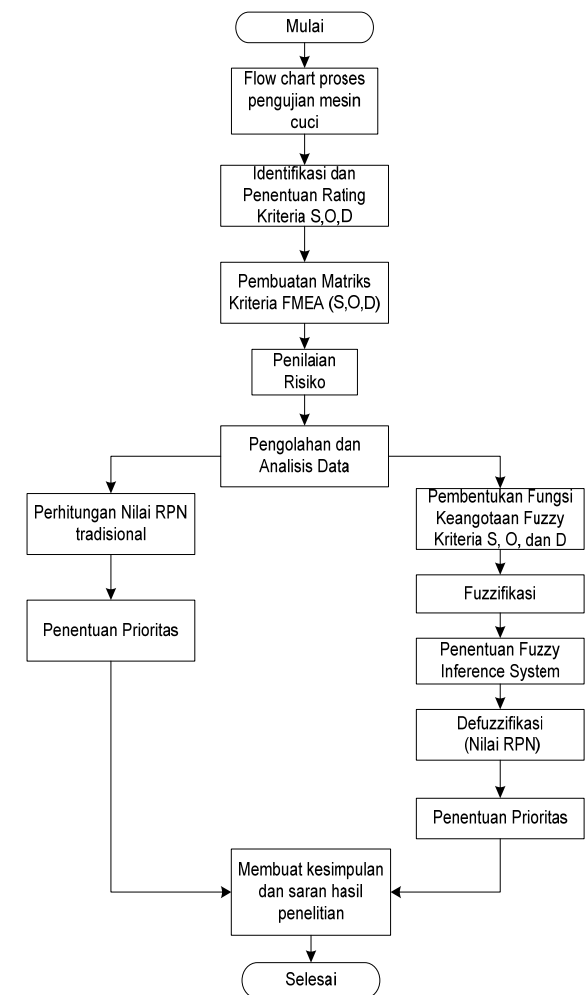
penentuan rating kriteria, S, O, dan D, dan pembentukan matriks penilaian risiko.

Tabel 2 Pengaturan keluaran *fuzzy*.

Fixed Variable input	Rentang Keluaran Fuzzy			Priority
	Occurence	Severity	Detection	
AN	N-H	N-LM	N-HM	SDO
L	N-H	VL-LH	N-LH	SDO
M	VL-H	VL-H	VL-H	Sama
H	VL-VH	L-H	L-VH	SDO
VH	VL-VH	LM-VH	L-VH	SDO

Keterangan:

N = None, VL = Very Low, L = Low, HL = High Low, LM = Low Medium, M = Medium, HM = High Medium, LH = Low High, H = High, dan VH = Very High.



Gambar 5 Diagram alir penelitian.

Identifikasi *mode* kegagalan, rating kriteria dan matriks penilaian risiko diperoleh dari hasil *brainstorming* tim FMEA (penyelia dan pelaksana pengujian). Sebelum dilakukan proses penilaian risiko, untuk memperoleh bobot kriteria yang akan dijadikan *input* pada pengolahan

dengan metode *fuzzy*, dilakukan pemeringkatan terhadap kriteria penilaian risiko. Data pemeringkatan ini diperoleh dari hasil pengisian kuesioner penilaian oleh penyelia pengujian (responden ahli). Pemeringkatan dilakukan dengan metode *pairwise comparison* (Saaty, 2008). Setelah pemeringkatan kemudian dilakukan penilaian risiko dengan menggunakan matriks risiko. Penilaian risiko dilakukan dengan pengisian matriks risiko oleh satu orang penyelia dan dua orang pelaksana pengujian pada pengujian suhu lemari es. Data yang diperoleh dari hasil penilaian dijadikan sebagai masukan untuk proses fuzzifikasi. Untuk memperoleh nilai *output fuzzy*, maka terlebih dahulu ditentukan *fuzzy inference system* yang merupakan aturan-aturan yang menghubungkan *input* dan *output* sistem *fuzzy*. Nilai *output* dari *fuzzy inference system* kemudian difuzzifikasi untuk memperoleh nilai *Fuzzy-RPN*nya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil identifikasi *mode* kegagalan terhadap sistem pengujian suhu lemari es yang dilakukan dengan metode *brainstorming* oleh tim FMEA, maka diperoleh daftar potensi, pengaruh, penyebab dan metode deteksi kegagalan pada pengujian suhu lemari es yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Pada Tabel 3 ditampilkan 21 (dua puluh satu) *mode* kegagalan yang bersumber dari 7 (tujuh) tahapan proses pelaksanaan pengujian yaitu proses pengukuran dengan RCL meter, *Walkin-Chamber*, *Stopwatch*, *Thermocouple*, *Hybrid Recorder*, *Video Recorder*, dan *Power Source*.

Proses penentuan nilai risiko dengan metode *fuzzy* didahului dengan proses pembobotan pada kriteria risiko. Pada studi kasus ini, hasil pemeringkatan kriteria risiko dengan metode *pairwise comparison* dapat dilihat pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan bahwa bobot terbesar diberikan pada *severity*, kemudian *detection* dan terakhir *occurrence* pada penerapan FMEA untuk analisis risiko pada kasus pengujian kenaikan suhu lemari es.

Bobot terbesar dipilih pada *severity* karena aspek tersebut dianggap memberikan dampak pada validitas hasil uji, efektifitas waktu, sumber daya dan biaya uji. *Detection* lebih didahulukan dari- pada *occurrence* karena kesulitan pendeteksian sumber kegagalan yang jarang terjadi dinilai memberikan resiko lebih besar daripada kegagalan fatal yang sering terjadi namun mudah dideteksi.

Hasil pemeringkatan kriteria-kriteria risiko yang disajikan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa kriteria *severity* memiliki bobot pertimbangan yang paling utama, kemudian kriteria *detection* dan *occurrence*. Hasil pemeringkatan ini dimasukkan sebagai pertimbangan penentuan fungsi keanggotaan variabel *input* pada sistem *Fuzzy* yang dapat dilihat pada Gambar 6 sampai dengan 8. Proses pengolahan dengan *Fuzzy* (fuzzifikasi) diawali konversi variabel numerik pada skala penilaian kriteria S, O, dan D ke dalam variabel linguistik (fungsi keanggotaan). Kemudian dibuat *fuzzy rule base system* sebagai dasar hubungan *input* terhadap *output* nilai *Fuzzy* untuk memperoleh nilai RPN. *Fuzzy rules base system* yang dibuat merupakan dasar penentuan fungsi keanggotaan *output* yang dapat dilihat pada Gambar 9. Hasil penilaian risiko berupa nilai S, O, dan D yang diperoleh dirata-rata dengan rata-rata geometri. Kemudian nilai tersebut diolah untuk memperoleh nilai RPN. RPN adalah nilai prioritas risiko yang mencerminkan nilai risiko masing-masing *mode* kegagalan. Nilai RPN dihitung dengan dua pendekatan yaitu perkalian kriteria $S \times O \times D$ yang merupakan rumus umum perhitungan RPN FMEA tradisional dan RPN yang dihitung dengan *Fuzzy-FMEA* yang disebut *Fuzzy RPN*. *Fuzzy RPN* dihitung dengan menggunakan *fuzzy inference sistem* yang langkahnya dapat dilihat pada Gambar 5. Perbandingan hasil nilai RPN dan *Fuzzy RPN* dapat dilihat pada Tabel 5. Jika melihat pada Tabel 5, terlihat pada kolom nilai RPN tradisional diperoleh beberapa nilai RPN yang sama. Nilai RPN yang sama terjadi pada proses pengukuran RCL-meter dengan *mode* kegagalan nilai terukur tidak terkoreksi dengan proses pemberian tegangan dengan *power source* pada *mode* kegagalan tegangan tidak keluar, nilai RPNnya sama yaitu, 38.

Tabel 3 Daftar potensi, pengaruh, penyebab, dan metode deteksi kegagalan.

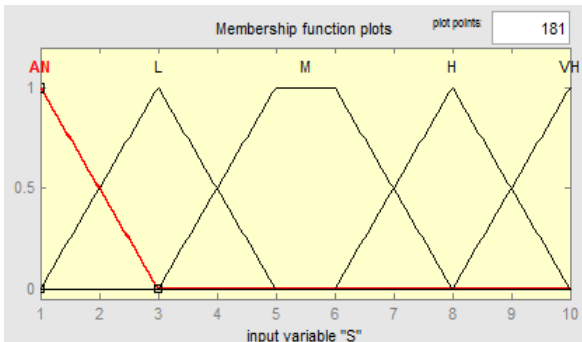
Proses	ID	Potensi Mode Kegagalan	Pengaruh Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Metode Deteksi Kegagalan
RCL meter	1	Resistansi tidak terukur	Pengujian tidak dapat dilakukan	Kabel <i>probe</i> putus	Tidak ada nilai yang ditampilkan saat digunakan untuk pengukuran

Pengujian Suhu Lemari Es dengan Metode Terintegrasi *Fuzzy-Failure Mode and Effect Analysis (Fuzzy-FMEA)*
(Tri Widiandi dan Himma Firdaus)

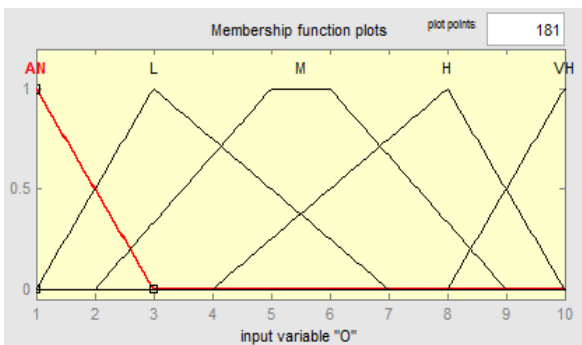
Proses	ID	Potensi Mode Kegagalan	Pengaruh Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Metode Deteksi Kegagalan
Walkin- chamber	2	Meter tidak beroperasi	Pengujian harus diulang	Sekering putus	Meter tidak dapat dinyalakan. Sekering diperiksa menggunakan ohm meter
	3	Nilai terukur tidak terkoreksi	Hasil uji tidak valid	Tidak dilakukan <i>zeroing</i>	Ketika <i>probe</i> dihubungkan indikator tidak nol
	4	Yang terukur bukan resistansi DC	Hasil uji tidak valid	Tidak dilakukan pengaturan awal	Dikenali pada tampilan alat
	5	Pendingin (<i>chiller</i>) tidak bekerja	Pengujian tidak dapat dilakukan	Suplai air mampet, saringan tertutup kotoran	Muncul peringatan pada layar kendali, MCB <i>Chamber trip</i>
Stopwatch	6	Suhu target tidak tercapai	Pengujian tidak dapat dilakukan	<i>Heater</i> rusak	Suhu dapat dipantau di layar kendali, Muncul peringatan pada layar kendali,
	7	Waktu <i>start</i> tertunda	Pengujian diulang	Tombol rusak	<i>Stopwatch</i> tidak merespon saat tombol start ditekan
	8	Layar tidak menyala	Pengujian diulang	Batere kehabisan muatan	Tidak ada indikasi angka pada layar
Thermokopel	9	Penunjukan waktu tidak akurat	Hasil uji tidak valid	<i>Derating</i> komponen	Koreksi alat besar berdasarkan sertifikat kalibrasi.
	10	Suhu terukur tidak tepat	Pengujian diulang	Perekat lepas	Diketahui saat pembongkaran, suhu tidak berubah secara normal
	11	Suhu tidak terukur	Pengujian diulang	Ujung termokopel terbuka, Kawat termokopel putus di dalam	<i>Warning Open TC</i> pada <i>hybrid recorder</i>
Hybrid recorder	12	Suhu terukur mengalami anomali	Pengujian ditunda sejenak	Pemasangan kawat termokopel pada <i>hybrid recorder</i> terbalik, penyambungan termokopel pada <i>hybrid recorder</i> tidak ketat	Suhu terukur berkebalikan dengan suhu sebenarnya
	13	Gagal <i>remote access</i> ke PC	Pengujian tertunda	Kabel <i>control</i> tidak terpasang, <i>memory card error</i> .	Muncul peringatan pada PC
Perekam video	15	Kamera mati di tengah pengukuran	Pengujian diulang	Muatan baterai habis,	Layar kamera mati
	16	Perekaman berhenti saat pengukuran	Pengujian diulang	<i>memory card</i> penuh	Muncul peringatan di layar camera
	17	Gambar tidak jelas	Pengujian diulang	Kamera tidak fokus	Diketahui saat pemutaran ulang hasil rekaman
	18	Data rekaman tidak dapat di simpan	Pengujian diulang	<i>Memory card</i> penuh atau rusak	Diketahui saat mentransfer data dari kamera ke PC
	19	Perekaman tertunda	Hasil uji tidak akurat	Salah <i>setting</i> kamera	Diketahui saat memulai merekam
Power Source	20	Tegangan tidak keluar	pengukuran tidak dapat dilakukan	Alat belum diset, fuse putus	Diketahui saat menghidupkan alat
	21	<i>Power source</i> tiba-tiba <i>shut-down</i> saat pengujian	Pengukuran diulang/dihentikan	<i>Overload</i> , Tegangan <i>input</i> melebihi batas	Alat <i>shut-down</i>

Tabel 4 Pembobotan kriteria *severity*, *occurrence* dan *detection*.

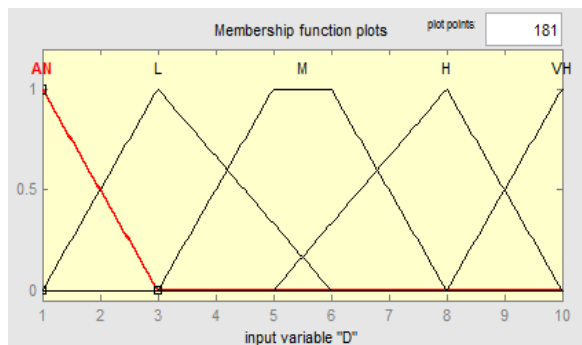
No.	Kriteria	Nilai Bobot	Prioritas
1.	Severity	0.731	1
2.	Occurrence	0.081	3
3.	Detection	0.188	2



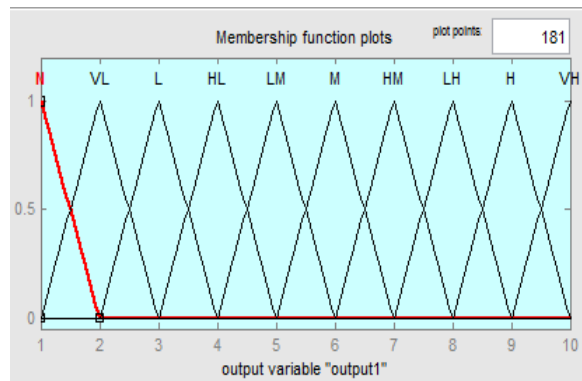
Gambar 6 Fungsi keanggotaan variabel masukan *severity*.



Gambar 7 Fungsi keanggotaan variabel masukan *occurrence*.



Gambar 8 Fungsi keanggotaan variabel masukan *detection*.



Gambar 9 Fungsi keanggotaan variabel keluaran.

Kesamaan nilai RPN yang dihasilkan juga terjadi pada proses perekaman dengan video dan pengukuran waktu dengan *stopwatch* yaitu sebesar 35. Hal serupa terulang pada proses pengukuran RLC meter dengan *mode* kegagalan: yang terukur bukan resistansi DC dan proses perekaman video dengan *mode* kegagalan: data rekaman tidak dapat di simpan, dengan nilai RPN sebesar 30. Fenomena tersebut tidak dapat dihindari pada analisis risiko dengan FMEA tradisional. Temuan sesuai dengan pernyataan Chang, dkk. (2013); Chang & Cheng (2010); dan Seyed-Hosseini, dkk. (2006) yang menyatakan bahwa pada FMEA tradisional kemungkinan nilai RPN sama bisa terjadi. Adanya nilai RPN yang sama pada analisis risiko proses pengujian suhu lemari es ini dapat menimbulkan kesulitan pihak manajemen laboratorium untuk melakukan prioritas nilai risiko. Hal tersebut dapat berdampak pada sulitnya penentuan tindakan pencegahan yang akan dibuat.

Berbeda dengan nilai RPN FMEA tradisional, nilai *Fuzzy RPN* yang terdapat pada Tabel 5 tidak ada nilai yang sama. Sehingga keseluruhan nilai dapat menunjukkan prioritas risiko yang jelas. Hal tersebut karena pada proses perhitungan nilai RPN dengan *Fuzzy-FMEA* bobot pada masing-masing kriteria (S,O,D) digunakan ke dalam fungsi keanggotaan variabel *input fuzzy* dan pada pengolahan nilai RPNnya. Hasil pada Tabel 5 menunjukkan metode *Fuzzy-FMEA* terbukti dapat menyelesaikan permasalahan analisis risiko pada FMEA tradisional sesuai dengan pernyataan Silva, dkk. (2014), Mandal & Maiti (2014), Kumru & Kumru (2013), Jong, dkk. (2013), Dinmohamadi & Safiee (2013), dan Chang & Cheng (2010).

Tabel 5 Perbandingan matriks pemeringkatan FMEA tradisional dengan *Fuzzy- FMEA*.

Proses	ID	Potensi Mode Kegagalan	S	O	D	RPN	Prioritas	Fuzzy RPN	Fuzzy Prioritas
RCL meter	1	Resistansi tidak terukur	8,00	3,11	2,29	57	6	5,6178	4
	2	Meter tidak beroperasi	4,58	3,91	2,29	41	9	4,5846	10
	3	Nilai terukur tidak terkoreksi	3,48	4,72	2,29	38	11	3,7327	18
	4	Yang terukur bukan resistansi DC	4,38	3,04	2,29	30	17	4,1938	15
Walkin-chamber	5	Pendingin (<i>chiller</i>) tidak bekerja	8,00	5,43	1,59	69	3	5,7944	2
	6	Suhu target tidak tercapai	6,84	4,31	1,59	47	8	4,939	8
Stopwatch	7	Waktu start tertunda	3,63	4,16	1,59	24	20	3,5562	20
	8	Layar tidak menyala	4,58	4,76	1,59	35	13	4,3153	12
	9	Penunjukan waktu tidak akurat	5,94	3,42	2,52	51	7	5,1612	6
Termokopel	10	Suhu terukur tidak tepat	5,01	5,43	3,11	85	1	5,0696	7
	11	Suhu tidak terukur	7,65	5,43	1,82	75	2	5,6274	3
	12	Suhu terukur mengalami anomali	5,01	6,21	2,00	62	5	5,2411	5
Hybrid recorder	13	Gagal remote access ke PC	4,38	5,19	1,59	36	12	4,1493	16
	14	Software tidak dapat di-run untuk memonitor suhu	3,48	4,00	2,29	32	16	3,9864	17
Perekam video	15	Kamera mati di tengah pengukuran	3,63	4,93	1,59	28	19	3,6448	19
	16	Perekaman berhenti saat pengukuran	4,58	4,82	1,59	35	13	4,3172	11
	17	Gambar tidak jelas	4,58	4,58	1,59	33	15	4,3097	13
	18	Data rekaman tidak dapat di simpan	4,58	4,16	1,59	30	18	4,3004	14
	19	Perekaman tertunda	3,48	3,30	1,59	18	21	3,4694	21
Power Source	20	Tegangan tidak keluar	5,77	5,24	1,26	38	10	4,9155	9
	21	Power source tiba-tiba <i>shut-down</i> saat pengujian	7,96	6,32	1,26	63	4	5,8887	1

Nilai Fuzzy-RPN pada Tabel 5 menjawab tujuan penelitian yaitu penerapan analisis risiko Fuzzy-FMEA pada pengujian suhu lemari es. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat nilai lima prioritas besar *mode* kegagalan (RPN) berturut-turut yaitu 5,8887 (*mode* kegagalan *power source* tiba-tiba *shut-down* saat pengujian); 5,7944 (*mode* kegagalan: pendingin atau *chiller* tidak bekerja); 5,6274 (*mode* kegagalan: suhu tidak terukur); 5,6178 (*mode* kegagalan: resistansi tidak terukur); dan 5,2411 (*mode* kegagalan: suhu terukur mengalami anomali). Lima besar nilai RPN tersebut merepresentasikan bahwa pada pengujian suhu lemari es, lima risiko paling prioritas secara berturut-turut adalah pada *mode* kegagalan *power source* tiba-tiba *shut-down*, pendingin atau *chiller* tidak bekerja, suhu tidak terukur, resistansi tidak terukur dan suhu terukur mengalami anomali.

Kelima *mode* kegagalan tersebut merupakan prioritas risiko yang harus diperhatikan dan ditindaklanjuti agar proses

pengujian suhu lemari es dapat terhindar dari kegagalan.

Penerapan analisis risiko dengan *Fuzzy-FMEA* ini juga menjawab tujuan spesifik penelitian ini terkait kelemahan skala pemeringkatan risiko pada FMEA tradisional. Skala pemeringkatan yang sulit ditentukan karena kesamaan nilai RPN pada FMEA tradisional, dapat diatasi dengan metode *Fuzzy-FMEA*. *Fuzzy-FMEA* mampu melakukan pemeringkatan secara keseluruhan nilai RPN dari urutan prioritas risiko nomor 1 (satu) sampai dengan nomor prioritas 21 (dua puluh satu) yang terdapat pada proses pengujian lemari es sehingga manajemen laboratorium mudah memutuskan prioritas tindakan pencegahan yang harus diambil untuk mencegah kegagalan pada proses pengujian suhu lemari es.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian penerapan *Fuzzy-FMEA* pada pengujian suhu lemari es, maka dapat diambil kesimpulan bahwa analisis risiko dengan *Fuzzy-FMEA* diketahui bahwa risiko kegagalan yang paling tinggi pada pengujian suhu lemari es terjadi pada komponen *power source* dengan *mode* kegagalan *power source* tiba-tiba *shut-down* yang ditunjukkan dengan nilai RPN paling tinggi yaitu 5,8887. Risiko kegagalan ini dapat berdampak pada harus dihentikannya proses pengujian. Selain itu, *mode* kegagalan yang harus diperhatikan adalah suhu tidak terukur, resistansi tidak terukur dan suhu terukur mengalami anomali karena keempat *mode* kegagalan ini memiliki nilai RPN yang tinggi yaitu secara berturut-turut 5,7944; 5,6274; 5,6178; dan 5,2411. Berdasarkan hasil pengujian, manajemen laboratorium harus fokus untuk membuat tindakan pencegahan pada *mode* kegagalan tersebut.

Penerapan *Fuzzy-FMEA* terbukti dapat mengatasi kelemahan skala pemeringkatan risiko pada FMEA tradisional. Hal ini ditunjukkan dengan kemampuan *Fuzzy-FMEA* memeringkatkan *mode* kegagalan mulai dari prioritas kegagalan paling tinggi (*mode* kegagalan: *power source* tiba-tiba *shut-down* saat pengujian) sampai prioritas paling rendah yaitu *mode* kegagalan: perekaman tertunda (urutan ke 21). Faktor pembobotan terhadap kriteria S, O, dan D pada *Fuzzy-FMEA* dapat mencegah timbulnya nilai RPN yang sama yang selama ini muncul pada analisis risiko dengan FMEA tradisional sehingga *Fuzzy-FMEA* dapat mengatasi kelemahan analisis risiko yang terdapat pada FMEA tradisional.

Penerapan analisis risiko terhadap proses pengujian di laboratorium dengan *Fuzzy-FMEA*, merupakan contoh penerapan baru. Berdasarkan penelusuran yang dilakukan, diketahui bahwa metode ini belum pernah diterapkan dalam proses pengujian. Hal ini menjadi keunikan tersendiri mengingat temuan dapat dimanfaatkan untuk kondisi yang serupa, sehingga berdasarkan penelitian ini diketahui bahwa metode *Fuzzy-FMEA* dapat diterapkan sebagai salah satu metode analisis risiko dalam lingkup layanan di laboratorium pengujian pada proses pengujian suhu lemari es agar sesuai dengan standar SNI ISO/IEC 17025:2008 dalam hal pengendalian ketidaksesuaian yang salah satu tindakan pencegahannya dapat dilakukan dengan analisis kecenderungan dan risiko.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada penyelia dan pelaksana pengujian lemari es laboratorium pengujian Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia atas kesediaannya menjadi narasumber dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asl, A. G. & Ahmadzadeh. (2013). Risk prioritization based on health, safety and environmental factors by using *Fuzzy FMEA*. *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering*, 1, 4, 233-237.
- Aven, T. (2008). Risk analysis. England: John Wiley & Sons.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI ISO/IEC 17025:2008 - Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi. Jakarta: BSN
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). SNI IEC 60335-1:2009 - peralatan listrik rumah tangga dan peralatan listrik serupa – keselamatan – bagian 1: persyaratan umum. Jakarta: BSN
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). SNI IEC 60335-2-24:2009 - Peralatan listrik rumah tangga dan peralatan listrik serupa – keselamatan – bagian 2-24: persyaratan khusus untuk peralatan pendingin, peralatan es krim dan pembuat es. Jakarta: BSN
- Braglia, M. Frosolini, M. & Montanari, R. (2003). *Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis*. *Quality and Reliability Engineering International*, 19, 5, 425-443.
- Chen, Z. dkk. (2014). Risk assessment of an oxygen-enhanced combustor using a structural model based on the FMEA and *Fuzzy fault tree*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 32, 349-357.
- Chen, P. S. & Wu, M. T. (2013). A modified failure mode and effects analysis method for supplier selection problems in the supply chain risk environment: a case study. *Computers and Industrial Engineering*, 66, 634-642,
- Chang, K. H. dkk. (2013). Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial and

- evaluation laboratory approach. *Engineering Failure Analysis*, 31, 211-224.
- Chang, K. H. & Cheng, C. H. (2010). A risk assessment methodology using intuitionistic Fuzzy set in FMEA. *International Journal of Systems Science*, 41, 12,1457–1471.
- Chiarini, A. (2012). Risk management and cost reduction of cancer drugs using Lean Six Sigma tools. *Leadership in Health Services*, 25, 4, 318 – 330.
- Chin, K. S. Chan, A. & Yang, J. B. (2008). Development of a Fuzzy FMEA based product design system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36, 633–649.
- Chung, P. T. (2010). Incorporating disservice analysis to enhance perceived service quality. *Industrial Management & Data System*, 110, 3, 368–391.
- Dinmohamadi, F. & Shafiee, M. (2013). A Fuzzy-FMEA risk assessment approach for offshore wind turbines. *International Journal of Prognostics and Health Management*, 4, 1-10.
- Firdaus, H. & Widiandi, T. (2015). Failure mode and effect analysis (FMEA) sebagai tindakan pencegahan pada kegagalan pengujian. *Prosiding Ilmiah AMTeQ 2015*.
- Gargama, H. & Chaturvedi, S.K. (2011). Criticality assessment models for failure mode effects and criticality analysis using fuzzy logic. *IEEE Transactions on Reliability*, 60, 1, 102–110.
- Geum, Y., Shin, J. & Park, Y. (2010). FMEA-based portfolio approach to service productivity improvement”, *The Service Industries Journal*, 31, 11, 1825-1847.
- Guimaraes, A. C. F. & Lapa, C. M. F. (2004a). Fuzzy FMEA applied to PWR chemical and volume control system. *Progress in Nuclear Energy*, 44, 3,191-213.
- Guimaraes, A. C. F. & Lapa, C. M. F. (2004b). Effects analysis fuzzy inference system in nuclear problems using approximate reasoning. *Annals of Nuclear Energy*, 31,107-115.
- Hadi-Vencheh, A. & Aghajani, M. (2013). Failure mode and effects analysis: a fuzzy group MCDM approach. *Journal of Soft Computing and Applications*, 1-14.
- Jong, C. H. dkk. (2013). Application of the fuzzy failure mode and effect analysis methodology to edible bird nest processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 96, 90-108.
- Karuturi, P. C. (2013). Application of fuzzy logic on understanding of risks in supply chain and supplier selection. Unpublished master's thesis, National Institute of Technology, Rourkela.
- Kemenperin.go.id.(2014). Menperin resmikan pabrik baru PT. Sharp Electronics Indonesia di Karawang. Retrieved 30 Juni 2015 Pkl. 15.33 WIB from <http://www.kemenperin.go.id/artikel/8563/Menperin-Resmikan-Pabrik-Baru-PT.-Sharp-Electronics-Indonesia-di-Karawang>.
- Keskin, G. A. & Özkan, C. (2009). An alternative evaluation of FMEA: fuzzy ART algorithm, *Quality and Reliability Engineering International*, 25, 647–661
- Khalegi, S., Givehchi, S. & Karimi, S. (2013). Fuzzy risk assessment and categorization, based on event tree analysis (ETA) and layer of protection analysis (LOPA): case study in gas transport system. *World Applied Programming*, 3, 9, 417-426.
- Kurt, L. & Ozilgen, S. (2013). Failure mode and effect analysis for dairy product manufacturing: practical safety improvement action plan with cases from Turkey. *Safety Science*, 55, 195-206.
- Kumru, M. & Kumru, P. Y. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Applied Soft Computing*, 13, 721-733.
- Kusumadewi, S. & Purnomo, H. (2004). Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan. Edisi pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kutlu, A. C. & Ekmekcioglu, M. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 39, 61–67.
- Liao, C. J. & Ho, C. C. (2014). Risk management for outsourcing biomedical waste disposal – using the failure mode and effects analysis. *Waste Management*, 34,1324-1329.
- Lopez-Tarjuelo, J. dkk. (2014). Failure mode and effect analysis oriented to risk-reduction interventions in intraoperative electron radiation therapy: the specific impact of patient transportation, automation, and treatment planning availability. *Radiotherapy and Oncology*, 113, 283-289.
- Liu, H. C. dkk. (2014). Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid TOPSIS approach. *Soft Computing*, 18, 6, 1085-1098.
- Liu, H. C., Liu, L., Liu, N. & Mao, L. X. (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method

- under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 39, 12926–12934.
- Lv, Y. & Liang, Y. (2014). Application of FMEA based on fuzzy multi-criteria decision-making for HVAC in a pharmaceutical plant. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6, 6, 1116-1123.
- Mandal, S. & Maiti, J.(2014). Risk analysis using FMEA: fuzzy similarity value and possibility theory based approach. *Expert Systems with Applications*, 41, 3527-3537.
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J. & Beauregard, M. R. (2009). The basic of FMEA. 2nd Ed, New York: Taylor and Francis Group.
- Muehlen, M. Z. & Ho, D. T. (2006). Risk management in bpm lifecycle. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Nassimbeni, G., Sartor, M. & Dus, D. (2012). Security risks in service offshoring and outsourcing. *Industrial Management & Data Systems*, 112, 3, 405-440.
- Nielsen, T. & Aven, T. (2003). Models and model uncertainty in the context of risk analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 79, 309-317.
- Ookalkar, A. D., Joshi, A. G. & Ookalkar, D. S. (2009). Quality improvement in haemodialysis process using FMEA. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26, 8, 817-830.
- Parameshwaran, R., Srinivasan, P. S. S. & Punniyamoorthy, M. (2010). An integrated approach for performance enhancement in automobile repair shops. *International Journal of Business Excellence*, 3, 1, 77-104.
- Raftary, J. (1994). Risk analysis in project management. London: E & FN Spon.
- Rafie, M. & Namin, F. S. (2015). Prediction of subsidence risk by FMEA using artificial neural network and fuzzy inference system. *International Journal of Mining Science and Technology*, 1-9.
- Republik Indonesia. (2013).Peraturan Menteri Perindustrian No. 34/M-IND/PER/7/2013 tentang pemberlakuan standar nasional indonesia (SNI) pendingin ruangan, lemari pendingin, dan mesin cuci secara wajib. Jakarta.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytical hierarchy process. *International Journal of Servicess Sciences*, 1, 1, 83-98.
- Seyed-Hosseini, S. M. dkk. (2006). Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique. *Reliability Engineering System Safety*, 91, 8, 872-881.
- Silva, M. M. dkk. (2014). A multidimensional approach to information security riskmanagement using FMEA and fuzzy theory. *International Journal of Information Management*, 34, 733-740.
- Shirouyehzad, H. dkk. (2010). Fuzzy FMEA analysis for identification and control of failure preferences in ERP implementation. *The Journal of Mathematics and Computer Science*, 1, 4, 366-376.
- Sant'Anna, A. P. (2012). Probabilistic priority numbers for failure modes and effects analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 29, 3, 349-362.
- Sharma, V., Kumari, M. & Kumar, S. (2011). Reliability improvement of modern aircraft engine through failure modes and effects analysis of rotor support system. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 28, 6, 675-687.
- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modeling. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 22, 9, 986-1004.
- Supriyadi, C. (2014). Tingkatkan kapasitas produksi, sharp ekspansi pabrik di karawang. [Increase of product capacity, fabric expention of sharp in karawang]. Retrieved June 30, 2015 from <http://www.marketing.co.id/tingkatkan-kapasitas-produksi-sharp-ekspansi-pabrik-di-karawang/>.
- Tay, K. M. & Lim, C. P. (2006). Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23, 8, 1047-1066.
- Ustundag, A. (2012). Risk evaluation of warehouse operations using fuzzy FMEA. *Communication in Computer and Information Science*, 300, 403-412.
- Wang, Y. M. dkk. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert Systems with Applications*, 36, 1195-1207.
- Xu, K. dkk. (2002). Fuzzy assessment of FMEA for engine systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 75, 1, 17–29.
- Yang, Z., Bonsall, S. & Wang, J. (2008). Fuzzy rule-based bayesian reasoning approach for prioritization of failures in FMEA. *IEEE Transactions on Reliability*, 57, 3, 517-528.

- Yeh, R. H. & Hsieh, M. H. (2007). *Fuzzy assessment of FMEA for a sewage plant. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24, 6, 505-512.
- Yucel, G. dkk. (2011). A fuzzy risk assessment model for hospital information system implementation. *Expert Systems with Applications*, 3, 1211-1218.
- Zadeh, L. A. (2008). Is there a need for fuzzy logic. *Information Sciences*.178, 2751-2779.
- Zaman, M. B. dkk. (2014). *Fuzzy-FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the Malacca strait: based on AIS data. Journal of Simulation*, 8, 91-104.

