PENILAIAN RISIKO DALAM PENGUJIAN MESIN CUCI BERDASARKAN STANDAR SNI IEC 60335-2-7:2010

Risk Assessment in Washing Machine Testing Based on SNI IEC 60335-2-7:2010

Himma Firdaus¹ dan Tri Widiyanti²

^{1,2} Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Jl. Jendral Gatot Subroto 10, Jakarta 12710

E-mail: himma.firdaus@gmail.com

Abstrak

Mesin cuci merupakan salah satu alat rumah tangga kelistrikan yang digunakan oleh hampir semua rumah tangga. Jaminan keselamatan menggunakan mesin cuci tersebut mengacu pada SNI IEC 60335.2.7-2010. Mesin cuci dapat beredar di pasaran jika telah lolos uji terhadap standar. Proses pengujian harus mengikuti prosedur yang ditetapkan di dalam SNI ISO/IEC 17025 untuk menjamin keabsahan hasil pengujian serta menghindari penyimpangan hasil pengujian selama proses pengujian. Seluruh kegiatan di laboratorium pengujian harus dinilai risikonya untuk menghindari, mencegah, dan mengurangi dampak kegagalan proses pengujian. Tujuan penelitian ini adalah melakukan penilaian risiko; memeringkatkan nilai risiko; dan menentukan prioritas mitigasi risiko. Metode *Analytic Network Process-Failure Mode and Effect Analysis* (ANP-FMEA) digunakan untuk menilai risiko. Hasil menunjukkan nilai *Weighted Risk Priority Number* (WRPN) tertinggi adalah 9,61. Nilai WRPN tertinggi diperoleh pada mode kegagalan kerusakan RCL meter. Nilai WRPN tertinggi menjadi prioritas utama mitigasi risiko.

Kata kunci: Pengujian Mesin Cuci, Penilaian Risiko, ANP-FMEA

Abstract

The washing machine is one of the electrical home-appliances used by almost all households. Safety guarantee for using washing machines refers to SNI IEC 60335.2.7-2009. The washing machine can be on the market if it has passed testing toward the standard. The testing process must follow the procedures stipulated in SNI ISO/IEC 17025 to ensure the testing results' validity and avoid deviations during the testing process. All activities in the testing laboratory should be risk assessed to avoid, prevent, and reduce the unwanted impacts. The research purposes are to conduct a risk assessment, prioritize risk values, determine risk mitigation priorities. The Analytic Network Process-Failure Mode and Effect Analysis (ANP-FMEA) method is used to assess risk. The results showed that the highest WRPN value is 9.61. The highest WRPN value is obtained in the RCL meter failure mode. The highest WRPN score is the top priority for risk mitigation.

Keywords: washing machine testing, risk assessment, ANP-FMEA

1. PENDAHULUAN

Mesin cuci adalah alat rumah tangga kelistrikan yang menawarkan kemudahan dalam aktivitas rumah tangga. Mesin cuci mempermudah aktivitas rumah tangga masa kini yang membutuhkan kecepatan dan kepraktisan. Produksi mesin cuci tahun ke tahun semakin meningkat. Tentunya dengan penawaran teknologi yang semakin canggih. Bahkan saat ini mesin cuci dapat terkoneksi ke jaringan internet serta dapat beroperasi secara daring. Terlepas dari segala kecanggihan teknologi dan fitur-fitur tambahan yang ditawarkan, memastikan keselamatan pengguna mesin cuci adalah utama. Peran pemerintah sebagai regulator yaitu memastikan produk yang beredar di masyarakat telah memenuhi standar keamanan dan keselamatan

(Herjanto, 2011). Setiap produk mesin cuci yang dipasarkan harus mencantumkan logo SPPT SNI sebagai bukti pemenuhan terhadap standar keselamatan SNI IEC 60335-2-7:2010.

Serangkaian tahapan pengujian mesin cuci dilakukan untuk memenuhi standar SNI IEC 60335-2-7:2010. Proses pengujian dilakukan di laboratorium pengujian yang mengacu pada SNI ISO 17025:2017. Standar ini merupakan *general requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. Hasil pengujian yang valid dan terpercaya diharapkan diperoleh dengan diterapkannya standar tersebut. SNI ISO 17025:2017 menekankan pada *risk-based thinking*. Pemikiran ini memiliki konsep bahwa seluruh aktivitas terkait pengujian harus mempertimbangkan risiko. Penilaian risiko harus dilakukan untuk mencegah atau mengurangi

dampak yang tidak diinginkan serta mencapai peningkatan perbaikan (SNI ISO/IEC 17025: 2017).

Penilaian risiko adalah *“the overall process of risk identification, risk analysis and risk evaluation”* (ISO 31000:2018). Dari definisi tersebut penilaian risiko dibagi menjadi 3 (tiga) tahapan, yaitu: identifikasi, analisis, dan evaluasi risiko. Penilaian risiko dapat menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Metode ini memenuhi kebutuhan tahapan penilaian risiko pada ISO 31000:2018. FMEA memiliki tahapan identifikasi dengan membuat matriks risiko yang terdiri dari mode kegagalan, penyebab kegagalan, dampak kegagalan serta metode deteksinya. Analisis risiko dinilai dengan 3 (tiga) kriteria yaitu *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D). Tahapan evaluasi ditunjukkan dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN). McDermott dkk (2008) menjelaskan FMEA dapat digunakan untuk menilai risiko pada desain maupun risiko pada proses. Fleksibilitas metode ini menjadi salah satu pertimbangan banyak bidang lain yang kemudian menerapkan penilaian risiko dengan metode ini. Beberapa penerapan FMEA diantaranya pada industri makanan (Wu and Hsiao, 2020), pengujian (Firdaus & Widiyanti, 2015), *oil and gas* (Petrovsky dkk, 2015); medis (Thornton dkk 2010), manufaktur (Lo dkk 2018), konstruksi (Wehbe dan Hamzeh, 2013), dan *photovoltaic system* (Colli, 2015).

Terlepas dari kelebihan yang ditawarkan, tentunya metode ini tidak dapat lepas dari kritikan. Beberapa peneliti seperti Braglia dkk (2003), Chin dkk (2009), Gilchrist (1993), Pillay dan Wang (2003), Sankar dan Prabhu (2001), Sharma dkk (2005), Tay dan Lim (2006), Wang dkk (2009), Karamoozian dan Wu (2020); Alrifayy dkk (2019) memberikan berbagai kritik terhadap metode ini. Salah satu kritiknya pada perhitungan nilai RPN. Pengaruh dan hubungan timbal balik antar mode kegagalan diabaikan pada perhitungan nilai RPN (Karamoozian dan Wu, 2020; Alrifayy dkk, 2019). Nilai RPN yang diperoleh tidak mencerminkan nilai risiko yang sesungguhnya. Hal ini akan berdampak pada kesalahan mitigasi risiko yang ujungnya menyebabkan kerugian.

Namun demikian FMEA tetap dapat digunakan untuk penilaian risiko. Tentunya dengan perbaikan agar masalah yang diidentifikasi di atas dapat diselesaikan. Jalan keluarnya adalah melakukan hibridasi antara FMEA tradisional dengan metode *Analytic Network Process* (ANP). ANP adalah salah satu metode *multiple criteria decisions making* (MCDM) yang dikenalkan oleh Saaty pada tahun 1996. ANP mampu membantu pengambilan

keputusan pada sistem yang memiliki hubungan saling ketergantungan dan timbal balik (Saaty, 1996). Kemampuan ANP dapat diaplikasikan pada penilaian risiko (Chen dan Khumpaisal 2009; Thilini dan Wickramaarachchi 2019) untuk memperbaiki kelemahan FMEA tradisional (Alrifayy dkk, 2009). Hibridasi FMEA dengan ANP dapat mengidentifikasi dan mengevaluasi pengaruh antarmode kegagalan yang ada dengan perbandingan berpasangan dalam bentuk supermatriks (Alrifayy dkk 2019).

Sepanjang pengetahuan peneliti, penerapan ANP FMEA telah dilakukan pada beberapa bidang (Alrifayy dkk, 2009; Karamoozian 2020; Mirzaei dan Avakhdarestani 2016; Rahmatin dkk 2018; Mzougu dan El Felsoufi, 2019). Namun penerapan ANP FMEA pada proses pengujian belum dapat ditemukan. Mengingat pentingnya penilaian risiko pada proses pengujian maka penerapan ANP FMEA menjadi sama pentingnya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran penilaian risiko ANP FMEA pada proses pengujian dengan studi kasus pengujian mesin cuci. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan nilai prioritas risiko yang akurat sehingga mitigasi yang dipilih menjadi efektif dan dapat menurunkan nilai risiko. Penerapan ANP FMEA pada bidang ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi laboratorium pengujian lain yang ingin melakukan penilaian risiko.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengujian Mesin Cuci

Penilaian kesesuaian produk mesin cuci terhadap standar keselamatan SNI IEC 60335-2-7:2010 dilakukan melalui serangkaian pengujian yang merujuk pada SNI IEC 60335-1:2010. Penilaian risiko dilakukan pada klausul 10, 11, 13, 15, dan 18. Klausul tersebut dipilih karena merupakan klausul uji utama yang paling menentukan kesesuaian pada uji keselamatan penggunaan mesin cuci. Klausul tersebut juga dinilai sebagai *critical point* pada proses pengujian yang menentukan kualitas mesin cuci. Mesin cuci tidak boleh menimbulkan bahaya kejutan listrik dan bahaya luka pada kondisi pengoperasian normal.

Berikut adalah deskripsi tentang klausul pengujian yang akan dianalisis.

a. Uji daya dan arus masukan (klausul 10)

Pengujian daya dan arus masukan dilakukan untuk menilai kesesuaian antara daya dan arus yang dinyatakan oleh pabrik dengan daya dan arus hasil pengukuran. Selama pengujian ini, mesin cuci dioperasikan pada kondisi normal

menurut kaidah standar. Peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian ini adalah *power meter*, *regulator tegangan*, *AC power source*.

b. Uji pemanasan (klausul 11)

Klausul uji pemanasan bertujuan untuk menguji atau mengukur bahwa kenaikan suhu pada berbagai bagian atau komponen dari mesin cuci tidak melebihi batas suhu pada penggunaan normalnya. Mesin cuci dioperasikan sesuai kondisi normal pengujian dan dioperasikan secara terus menerus hingga tiga kali pengulangan. Peralatan yang digunakan pada pengujian ini adalah *temperature data logger*, termokopel, Ohmmeter/RCL meter, pemanas, dan *stopwatch*.

c. Uji kebocoran arus dan kuat listrik (klausul 13)

Pengujian kebocoran arus dilakukan saat mesin cuci beroperasi pada kondisi operasi normal sedangkan uji kuat listrik dilakukan saat mesin cuci tidak beroperasi. Pengujian ini bertujuan untuk menilai tingkat keamanan terhadap bahaya kejutan listrik yang menyebabkan aliran arus berlebihan ke dalam tubuh manusia. Peralatan yang digunakan pada pengujian klausul 13 adalah *leakage current meter*, *withstanding voltage tester*, *regulator tegangan/AC power source*, dan lembaran aluminium.

d. Uji ketahanan terhadap kelembaban (klausul 15)

Uji ketahanan terhadap kelembaban dilakukan pada kondisi mesin cuci tidak beroperasi. Uji ketahanan terhadap kelembaban meliputi uji *Ingress Protection* (IP), dan uji kelembaban. Uji IP bertujuan untuk mengukur sejauh mana penutup mesin cuci dapat melindungi terkumpulnya air pada bagian bertegangan setelah mendapatkan percikan air dari bagian atas dan samping. Uji kelembaban bertujuan untuk mengukur tingkat perlindungan terhadap bahaya kejutan listrik atau hubungan singkat akibat kondisi lembab di dalam dan sekitar mesin cuci. Peralatan utama yang diperlukan pada uji ketahanan terhadap kelembaban adalah *IP test system* dan *climatic chamber* serta didukung dengan *leakage current meter* dan *withstanding voltage tester*.

e. Uji daya tahan (klausul 18)

Uji daya tahan terdiri atas dua item uji yaitu uji buka tutup dan uji pengereman. Uji buka tutup diterapkan sebanyak 10.000 kali tanpa kain uji, sedangkan uji pengereman sebanyak 1000 kali dengan pembasahan kembali kain uji pada setiap 250 kali

ulangan. Mesin cuci dianggap memenuhi kriteria standar apabila setelah pengujian ini mesin cuci masih dapat berfungsi seperti semula tanpa mempengaruhi kesesuaian dengan bagian yang lain. Peralatan yang digunakan pada uji daya tahan adalah sistem uji buka tutup, dan tachometer.

2.2 Risiko dan Penilaian Risiko

ISO Guide 73:2009 *Risk Management – Vocabulary* mendefinisikan risiko sebagai “*effect of uncertainty on objectives*”. Definisi lain diberikan oleh Charette (2019) yaitu “*risk is the probability of unwanted consequences of an event and decision*”. Risiko oleh Raftery (1994) dapat memiliki 2 (dua) arah yaitu *upside* (keluaran sesuai harapan) dan *downside risk* (keluaran tidak sesuai harapan).

Risiko diuraikan oleh Kerzner (2003) menjadi 2 (dua) komponen yaitu *likelihood* (peluang terjadinya kejadian) dan *impact* (dampak kejadian). Berbeda dengan Kerzner (2003), Aven (2008) membaginya menjadi 5 (lima) komponen, yaitu *future events* (A), *consequence* (C), *probability* (P), *uncertainty* (U), dan *background knowledge* (K). Risiko secara matematis merupakan fungsi dari komponen risiko. Berikut fungsi risiko menurut Aven (2008).

$$\text{Risk} = f(A, C, P, U, K)$$

Untuk memperoleh nilai risiko maka dilakukan proses penilaian risiko. Penilaian risiko yaitu “*the overall process of risk identification, risk analysis and risk evaluation*” (ISO 31000:2018). Definisi lain disampaikan oleh Zhou dan Reniers (2020), penilaian risiko adalah “*a technology to detect hazards, analyze harmful factors and identify possible consequences, predict the risk of a system, and suggest reasonable safety measures*”. Secara spesifik Ostrom dan Wilhelmsen (2019) menyebutkan tujuannya penilaian risiko yaitu: “*to reduce risks to tolerable or acceptable levels*”. Hasil penilaiannya biasanya digunakan sebagai *input* bagi manajemen dalam mengambil keputusan (Rausand, 2011). Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penilaian risiko disebutkan Yirenkyi-Fianko dan Chileshe (2015) yaitu; meningkatkan produktivitas dan moral tim, meningkatkan persepsi masyarakat, mengurangi kecelakaan, dan membantu memenuhi persyaratan produk dan pelanggan.

Selain manfaat, dampak negatif juga dapat dialami organisasi ketika terjadi kesalahan pada penilaian risiko (Zhou dan Reniers, 2020). Kerugian dapat dihindari dengan memilih metode penilaian risiko yang memadai (Zhou dan

Reniers, 2020) serta cocok dengan karakteristik organisasi (Lichtenstein, 1996). Hal tersebut dapat tercapai jika setidaknya tujuh karakteristik metode penilaian risiko dapat dipenuhi (Lichtenstein, 1996). Karakteristik tersebut dipaparkan Lichtenstein (1996) sebagai berikut:

- Dapat dioperasikan pada setiap tingkat yang diinginkan.
- Adaptable* atau memiliki fleksibilitas dengan kebutuhan organisasi.
- Mampu menghasilkan nilai yang *reliable* dan akurat (Lichtenstein, 1996).
- Mudah digunakan atau tidak memerlukan keahlian khusus.
- Murah atau terjangkau dari sisi biaya penerapan.
- Waktu yang dibutuhkan relatif singkat.
- Mampu memberikan masukan yang jelas, tepat dan benar kepada manajemen organisasi.

2.3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

US States Department of Defense memperkenalkan FMEA pada tahun 1949. Kemudian pada tahun 1960-an mulai diterapkan di industri (McDermott dkk 2009). Penerapan FMEA terbukti memberikan manfaat. Paciarotti dkk (2014) dan Chang dkk (2013) menyebutkan FMEA dapat meningkatkan kualitas dan reliabilitas produk. Chang dan Sun (2009) menyebutkan FMEA dapat membantu peningkatan kinerja sistem dan produk. Peneliti lain menyebutkan FMEA mampu menurunkan nilai risiko dengan melakukan tindakan mitigasi risiko (Sant'Anna, 2012).

FMEA biasanya digunakan sebagai salah satu input bagi organisasi dalam pengambilan keputusan (Chang dan Sun, 2009). Kemampuan FMEA melakukan pemeringkatan risiko memudahkan organisasi menentukan prioritas tindakan perbaikan yang harus dilakukan baik pada proses maupun produk (Chang dan Sun, 2009). Dampak dan manfaat yang dirasakan dengan diaplikasikannya FMEA mendorong semakin banyaknya penerapan FMEA dalam berbagai bidang (Mohideen dan Ramachandran, 2014; Kolich, 2014; Vinodh dan Santhosh, 2012; Lopez-Tarjuelo dkk, 2014; Chiarini, 2012; Nassimbeni dkk, 2012; Sharma dkk, 2011; Chung, 2010).

Menurut McDermott (2009) berdasarkan objek analisisnya FMEA dapat dikategorikan menjadi 2 (dua), yaitu FMEA produk/desain dan FMEA proses. FMEA produk/desain adalah yang diterapkan pada proses desain produk baik barang ataupun jasa sebelum proses produksi dilakukan. FMEA ini berfokus pada analisis mode kegagalan yang disebabkan karena

ketidakefisienan pada perancangan (McDermott dkk, 2009). Sedangkan FMEA proses digunakan untuk menganalisis mode kegagalan pada tahapan proses produksi baik di manufaktur maupun pelayanan (McDermott dkk, 2009). FMEA proses menganalisis secara detail mode kegagalan pada peralatan yang dipergunakan pada proses. Sekaligus memperhatikan letak mode kegagalan tersebut dapat berpengaruh pada kualitas, kekuatan, dan produk akhir yang dihasilkan (McDermott dkk, 2009).

McDermott dkk (2009) menjelaskan ada 10 (sepuluh) tahapan penilaian risiko dengan FMEA. Tahapannya adalah kaji ulang proses atau produk, *brainstorming* mode kegagalan (*potencial failure mode*), identifikasi efek kegagalan, penilaian dengan kriteria *severity*(S), *occurrence* (O) dan *detection*(D). Selanjutnya perhitungan nilai *Risk Priority Number*(RPN), penentuan prioritas mode kegagalan, pengambilan tindakan perbaikan dan pencegahan serta perhitungan RPN setelah tindakan perbaikan.

Pada FMEA nilai risiko dinyatakan dalam nilai *Risk Priority Number* (RPN). Nilai RPN ini diperoleh dari mengalikan nilai kriteria S, O, dan D. Nilai S menunjukkan keseriusan dari akibat kegagalan yang terjadi. Nilai O menggambarkan tingkat keserangan terjadinya kegagalan. Sedangkan nilai D melihat apakah risiko yang ada dapat diketahui sebelum terjadinya kegagalan dan apakah kontrol yang dimiliki dapat mengurangi risiko kegagalan yang dapat terjadi (McDermott dkk, 2009).

Nilai S, O, dan D diperoleh dari penilaian dengan menggunakan skala pengukuran 1-10. Skala pengukuran S, O, dan D dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3. Evaluasi nilai Nilai RPN yang diperoleh digunakan untuk melakukan pemeringkatan tingkatan risiko serta menentukan prioritas perbaikannya. Semakin tinggi nilai RPN, menunjukkan tingkat risiko yang tinggi serta prioritas yang tinggi untuk melakukan tindakan pencegahan dan perbaikan (McDermott dkk, 2009).

Tabel 1 Skala Pengukuran Kriteria *Severity*

Rank	Severity	Deskripsi
10	Berbahaya tanpa peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek sangat berbahaya
9	Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek berbahaya
8	Sangat tinggi	Sistem tidak beroperasi
7	Tinggi	Sistem beroperasi tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh
6	Sedang	Sistem beroperasi dan aman tetapi mengalami penurunan kinerja sehingga mempengaruhi keluaran
5	Rendah	Mengalami penurunan kinerja

Rank	Severity	Deskripsi
		secara bertahap
4	Sangat Rendah	Efek yang kecil pada kinerja sistem
3	Kecil	Sedikit berpengaruh pada kinerja sistem
2	Sangat Kecil	Efek yang diabaikan pada kinerja sistem
1	Tidak ada efek	Tidak ada efek

(Sumber: Cicek dan Celik, 2013)

Tabel 2 Skala Pengukuran Kriteria Occurrence

Rank	Occurrence	Deskripsi
10	Very High	≥ 100 per seribu atau ≥ 1 dalam 10
9	High	50 per seribu atau 1 dalam 20
8		20 per seribu atau 1 dalam 50
7		10 per seribu atau 1 dalam 100
6	Moderate	2 per seribu atau 1 dalam 500
5	Low	0.5 per seribu atau 1 dalam 2000
4		0.1 per seribu atau 1 dalam 10.000
3		0.01 per seribu atau 1 dalam 100.000
2		≤ 0.001 per seribu atau 1 dalam 100.000
1	Very Low	Kegagalan dihilangkan melalui pengendalian preventif

(Sumber: McDermott, 2009)

Tabel 3 Skala Pengukuran Kriteria Detection

Rank	Detection	Kriteria
10	Absolutely impossible	Sistem kontrol akan selalu tidak mampu untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
9	Very Remote	Sistem kontrol memiliki kemungkinan "very remote" untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
8	Remote	Sistem kontrol memiliki kemungkinan "remote" untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
7	Very Low	Sistem kontrol memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan.

(Sumber: Cicek dan Celik, 2013)

Tabel 3 Skala Pengukuran Kriteria Detection(lanjutan)

Rank	Detection	Kriteria
6	Low	Sistem kontrol memiliki kemungkinan rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
5	Moderate	Sistem kontrol memiliki kemungkinan "moderate" untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
4	Moderately High	Sistem kontrol memiliki kemungkinan "moderately high" untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.

Rank	Detection	Kriteria
3	High	Sistem kontrol memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
2	Very High	Sistem kontrol memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.
1	Almost Certain	Sistem kontrol akan selalu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.

(Sumber: Cicek dan Celik, 2013)

2.4 Analytic Network Process (ANP)

ANP merupakan metode yang mampu memeringkatkan kepentingan hingga level subkriteria sebagai perbaikan dari kelemahan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 1999). Banyak masalah-masalah dalam pengambilan keputusan tidak dapat diurutkan secara hierarki karena mereka memerlukan interaksi dan ketergantungan antar subkriteria dalam kriteria yang lain. ANP merupakan solusi untuk menyelesaikan kompleksitas pengambilan keputusan dengan multikriteria karena ANP memiliki pola keterkaitan dalam bentuk jaringan bukan hierarki (Saaty & Vargas, 2006). Keterkaitan pada metode ANP ada 2 (dua) jenis, yaitu: keterkaitan dalam satu set elemen dan antar elemen yang berbeda (Saaty, 1999). Adanya keterkaitan tersebut menyebabkan metode ANP lebih kompleks dibanding metode AHP.

ANP memiliki struktur umpan balik yang menghubungkan antarelemen dalam suatu jaringan. Suatu jaringan yang sempurna dapat mencakup beberapa komponen meliputi simpul sumber, simpul penghubung yang terletak dalam suatu siklus atau menghubungkan sumber dan keluaran, dan simpul keluaran. Namun, ada jaringan yang hanya terdiri atas simpul sumber dan simpul keluaran. Masalah pengambilan keputusan seringkali melibatkan proses umpan balik yang direpresentasikan dengan interkoneksi komponen-komponen jaringan tersebut. Tantangan yang muncul adalah bagaimana menentukan prioritas setiap elemen dalam jaringan khususnya alternatif keputusan yang diambil dan kemudian menjustifikasi validitas keluaran yang didapatkan (Saaty & Vargas, 2006).

Penilaian kriteria dalam ANP dilakukan dengan menggunakan skala fundamental AHP 1-9. Proses penilaian tersebut memerlukan dua pertimbangan sekaligus untuk menentukan level dominasi kriteria. Pertama, seseorang perlu mempertimbangkan manakah dari dua elemen yang berpengaruh lebih dominan terhadap kriteria tertentu. Kedua, manakah dari dua elemen yang berpengaruh lebih dominan kepada

elemen ketiga dalam suatu kriteria tertentu. Dalam ANP semua pengaruh antarelemen dipertimbangkan sehubungan dengan kriteria yang sama sehingga mereka dapat disintesis. Kriteria yang sama digunakan untuk membuat perbandingan untuk semua pasangan elemen. Kriteria seperti itu disebut kriteria kontrol. Kriteria kontrol merupakan cara penting untuk memfokuskan pemikiran untuk menjawab pertanyaan terkait dominasi. Dengan kriteria kontrol ini, masalah yang kompleks diuraikan dengan cara menilai tingkat pengaruh, dan kemudian menyatukannya kembali dengan menggunakan bobot pengaruh tersebut (Saaty, 2004).

ANP memiliki beberapa kelebihan. Pembobotan dan pemeringkatan pada setiap kriteria dan subkriteria dapat menyederhanakan masalah yang kompleks. Meskipun metode ini sangat bergantung pada penilaian dan pengalaman para ahli, penilaian subjektif yang diberikan pada setiap kriteria dapat dideskripsikan secara kuantitatif. ANP juga menutup keterbatasan *Principle Component Analysis* yang hanya tergantung pada data berwujud (*tangible*) karena ANP dapat mencakup faktor berwujud maupun faktor tidak berwujud (*intangible*) dalam menganalisis pemeringkatan (Gu, Saaty, & Wei, 2018). Langkah pembobotan adalah sebagai berikut:

- Pembentukan model untuk mendefinisikan konteks persoalan yang akan diselesaikan, menentukan kriteria dan subkriteria yang terlibat sekaligus menetapkan pola hubungannya.
- Melakukan perbandingan berpasangan antara kriteria dan subkriteria dengan skala penilaian 1 sampai 9 yang dikembangkan oleh Saaty (Saaty & Vargas, 2006).
- Melakukan penilaian konsistensi pembobotan dengan cara menentukan nilai *Eigen Vector*, λ_{max} , dan rasio konsistensi (CR). Jika nilai $CR \leq 0.1$ maka hasil perbandingannya konsisten dan dapat dilanjutkan dengan pembuatan supermatriks. Model ANP dan supermatriks diilustrasikan pada Gambar 1.
- Setelah supermatriks terbentuk kemudian dibuat matriks batas, normalisasi matriks batas, dan akan diperoleh bobot masing-masing kriteria dan subkriteria. (Saaty & Vargas, 2006)

Gambar 1 Ilustrasi Model *Cluster* dan Supermatriks
(Sumber: Tzeng dan Huang, 2011)

3. METODE PENELITIAN

Tahapan-tahapan penilaian risiko dengan ANP-FMEA pada pengujian mesin cuci dapat dilihat pada gambar 2.

Gambar 2 *Flowchart* Penelitian

Penelitian ini terdiri dari 2 (dua) tahapan utama, yaitu penilaian risiko dengan FMEA untuk memperoleh nilai RPN, penentuan bobot risiko dengan ANP, serta pemeringkatan dan evaluasi risiko berdasarkan nilai WRPN. Penjelasannya sebagai berikut:

3.1 Penilaian Risiko dengan FMEA

Penilaian risiko diawali dengan meninjau proses serta penentuan batas prosesnya. Pada penelitian ini proses yang ditinjau adalah pengujian mesin cuci dengan batas prosesnya klausul 10, 11, 13, 15, dan 18. Kemudian dilakukan *brainstorming* dan diskusi untuk menentukan mode kegagalan, dampak kegagalan, serta metode deteksinya. Hasilnya dimasukkan ke dalam matriks penilaian risiko untuk menilai kriteria S, O, dan D. Penilaian S, O, dan D dilakukan oleh tim ahli pengujian mesin cuci. Nilai S, O, dan D yang diperoleh kemudian dirata-rata dengan rata-rata geometrik. Rataan geometrik dipilih karena angka penilaian dalam FMEA merupakan rentang dan memiliki sifat yang berbeda (Sahu dkk, 2016). Nilai rata-rata geometrik S, O, dan D kemudian dikalikan untuk memperoleh nilai RPN.

3.2 Pemeringkatan dan Evaluasi Risiko

Untuk melakukan pemeringkatan risiko maka terlebih dahulu dilakukan pembobotan dengan ANP. Penentuan bobot risiko diawali dengan proses pembentukan model ANP untuk pengujian mesin cuci. Berdasarkan model ANP dibuat kuesioner *pairwise comparison* yang kemudian akan dinilai oleh tenaga ahli

pengujian. Hasil kuesioner akan diolah dengan menggunakan *Software Superdecision*. *Software* akan melakukan perhitungan nilai *eigen value*, CI dan CR untuk mengevaluasi konsistensi isian kuesioner. Jika diperoleh CR 0,1 maka data kuesioner dapat diolah untuk memperoleh nilai bobot kriteria dan sub kriteria. Bobot yang diperoleh akan dipakai untuk menghitung WFRN.

Pemeringkatan nilai risiko dan evaluasi risiko diawali dengan perhitungan nilai WRPN dengan mengalikan bobot ANP terhadap nilai RPN. Nilai WRPN ini merupakan nilai risiko terbobot ANP. Nilai ini kemudian diperingkatkan untuk menentukan prioritas risiko. Semakin besar nilai WRPN menunjukkan makin prioritas mitigasi risikonya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penilaian Risiko

Hasil penilaian risiko terdiri dari 3 (tiga) hal, pertama adalah matriks risiko (mode kegagalan, dampak, penyebab kegagalan, dan metode deteksi risiko); nilai S, O, dan D; serta nilai RPN. Matriks risiko dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4 Matriks Identifikasi Risiko

ID	Mode Kegagalan	Dampak Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Metode Deteksi
11.3a	Kerusakan multimeter	Tegangan tidak dapat dimonitor	<i>Fuse</i> putus	Monitor tidak menyala
11.3b			baterai habis	
11.3c			batas kalibrasi terlewat	
11.3d	Kerusakan RLC meter	Pengujian kenaikan suhu lilitan tidak dapat dilakukan	<i>Probe</i> putus	Indikator mati, indikator tidak berubah-ubah
11.4b			<i>over voltage</i>	
11.5	Suhu ruang tidak sesuai dengan persyaratan uji	Hasil pengujian tidak valid	AC mati	<i>Termohy-grometer</i> menunjukkan suhu yang tidak sesuai
13.1a	Kerusakan <i>leakage current tester</i>	Pengukuran kebocoran arus tidak dapat dilakukan	<i>Fuse</i> putus	Layar tidak menyala
13.1b			<i>over current</i>	
13.2a	Kerusakan <i>withstand voltagehi tester</i>	Uji ketahanan isolasi tidak dapat dilakukan	<i>Fuse</i> putus	Layar tidak menyala
13.2b			monitor mati	
13.3a	Kerusakan adjustable power source	Pemberian tegangan input ke piranti tidak dapat diatur	<i>Fuse</i> putus	Tegangan output tidak dikeluarkan
13.3b			<i>over voltage</i>	
13.4	Tidak tersedianya aluminium foil	Pengukuran kebocoran arus di bagian non logam tidak valid	Persediaan bahan tidak dikontrol	<i>Aluminium foil</i> tidak tersedia di gudang
15.1	Suhu Air untuk uji IP tidak memenuhi syarat	Pengujian ditunda sampai suhu air memenuhi syarat	Suhu ruang terlalu panas	Suhu terukur tidak mencapai suhu uji
15.2a	Kerusakan alat uji IP/spray nozzle	Uji IP tidak dapat dilakukan	<i>Nozzle</i> tertutup	Terlihat air yang keluar dari <i>nozzle</i> tidak merata
15.2b			pompa air rusak	
15.3a	Kerusakan pompa air	Debit air untuk uji IP tidak bisa diatur	Kapasitor rusak	Pompa tidak mengeluarkan air
15.3b			lilitan terbakar	
15.3c			<i>impeller</i> aus	
15.4a	Kerusakan <i>stop watch</i>	Durasi uji IP tidak diukur dengan akurat	Tombol tidak berfungsi	<i>Stop-watch</i> berulang-kali tidak merespon tombol yang ditekan
15.4b			baterai habis	
15.4c			layar rusak	
15.5a	Kerusakan <i>climatic chamber</i>	Uji kelembaban 98% tidak dapat dilakukan	Tisu kelembaban kering	Muncul peringatan-peringatan pada layar monitor waktu terjadi kegagalan
15.5b			<i>chiller</i> kehabisan air	
15.5c			saluran <i>heater</i> mampet	
15.5d			<i>strainer</i> kotor	
18.1a	Alat uji buka tutup	Pengujian daya tahan	Aktuator rusak	Tali tidak bisa

ID	Mode Kegagalan	Dampak Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Metode Deteksi	ID	S	O	D	RPN
18.1b	penutup mesin cuci tidak berfungsi	pengering mesin cuci tidak bisa dilakukan	timer rusak	bergerak naik turun	11.3b	7,23	3,78	2,88	78,83
18.2	Kesalahan penentuan siklus uji	Pengujian diulang	Tidak dilakukan pemeriksaan ulang persyaratan uji	Diketahui pada saat pengujian	11.3c	7,23	3,42	2,88	71,33
18.3a	Sudut bukaan pintu tidak tepat	Hasil pengujian tidak valid, pengujian diulang	Tekanan angin terlalu kecil	Diketahui saat pengecekan ulang	11.4a	8,32	3,98	3,30	109,30
18.3b			pengaturan timer untuk aktuator berubah		11.4b	8,32	2,62	3,30	72,00
18.3c			mesin cuci berubah posisi		11.5	5,94	5,85	2,00	69,52
18.4	Tegangan uji tidak sesuai dengan persyaratan	Arus yang terukur tidak valid	Tegangan input peralatan tidak dikendalikan	Penunjukan nilai indikator tegangan pada layar alat	13.1a	8,32	4,16	3,18	109,90
					13.1b	8,32	3,04	3,18	80,21
					13.2a	8,32	4,16	3,18	109,90
					13.2b	8,32	3,04	3,18	80,21
					13.3a	7,23	4,16	3,18	95,50
					13.3b	7,23	3,04	3,18	69,70
					13.4	6,87	5,43	2,08	77,56
					15.1	8,00	4,48	3,18	113,80
					15.2a	6,95	6,08	2,62	110,80
					15.2b	6,95	5,04	2,62	91,82
					15.3a	6,32	4,33	2,71	74,18
					15.3b	6,32	3,18	2,71	54,43
					15.3c	6,32	2,52	2,71	43,20
					15.4a	6,32	4,58	3,04	87,82
					15.4b	6,32	4,00	3,04	76,72
					15.4c	6,32	3,63	3,04	69,71
					15.5a	7,27	4,82	1,59	55,62
					15.5b	7,27	4,38	1,59	50,53
					15.5c	7,27	3,98	1,59	45,91
					15.5d	7,27	3,78	1,59	43,61
					18.1a	7,65	4,16	3,18	101,10
					18.1b	7,65	3,63	3,18	88,29
					18.2	7,23	4,16	3,83	115,10
					18.3a	6,65	5,43	3,98	143,60
					18.3b	6,65	4,93	3,98	230,50
					18.3c	6,65	4,82	3,98	127,50
					18.4	6,87	4,76	3,18	103,80

Berdasarkan hasil identifikasi diperoleh 23 mode kegagalan, 23 dampak kegagalan, dan 23 metode deteksinya. Dampak kegagalan digunakan untuk menilai tingkat keparahan risiko atau *severity* (S). Metode deteksi digunakan untuk mengukur nilai tingkat kemudahan deteksi risiko atau nilai *detection* (D). Penyebab kegagalan ini bervariasi pada masing-masing klausul dan mode kegagalan. Penyebab kegagalan berjumlah 45 buah. Masing-masing pada klausul 10 sebanyak 7 buah, klausul 11 sebanyak 12 buah, klausul 13 sebanyak 7 buah, klausul 15 sebanyak 13 buah dan klausul 18 sebanyak 7 buah. Penyebab kegagalan ini akan menjadi input pada mitigasi risiko setelah pemeringkatan risiko dilakukan. Setelah matriks risiko Nilai S, O, dan D yang diperoleh dari penilaian matriks risiko oleh tim pelaksana pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Penilaian S, O, D, dan RPN

ID	S	O	D	RPN
10.1a	7,56	4,33	3,30	108,00
10.1b	7,56	3,18	3,30	79,25
10.2a	8,62	3,78	3,18	103,40
10.2b	8,62	2,52	3,18	68,94
10.3	7,27	4,48	2,29	74,57
10.4	7,61	5,94	2,15	97,47
10.5	6,32	5,31	4,31	144,60
11.1a	5,52	4,93	2,88	78,51
11.1b	5,52	4,64	2,88	73,88
11.2a	7,27	3,78	2,88	79,25
11.2b	7,27	3,30	2,88	69,23
11.2c	7,27	3,11	2,88	65,15
11.3a	7,23	4,16	2,88	86,77

Nilai S, O, dan D pada tabel 5 merupakan rata-rata geometrik dari hasil penilaian tim pelaksana pengujian. Masing-masing nilai S, O, dan D kemudian dikalikan untuk memperoleh nilai RPN (*Risk Priority Number*). Nilai RPN pada klausul 10 bervariasi antara 68,94 -144,60. Pada klausul 11 nilai RPN bervariasi antara 65,15-109,3. RPN pada klausul 13 bervariasi dari 67,70-109,30. Kemudian pada klausul 15 nilai RPN mulai dari 43,20-113,80. Sedangkan nilai RPN pada klausul 18 bernilai 88,29-143,60. Sehingga secara keseluruhan nilai RPN paling tinggi yaitu 144,60 pada mode kegagalan kalibrasi power meter kadaluarsa dengan penyebabnya pemeriksaan sertifikat kalibrasi tidak dilakukan. Kemudian RPN paling rendah 43,20 yaitu pada mode kegagalan kerusakan pompa air dengan penyebab kegagalannya impeller aus.

4.2 Pemeringkatan dan Evaluasi Risiko

Pemeringkatan risiko dilakukan berdasarkan hasil pembobotan mode kegagalan pada klausul 10, 11, 13, 15, dan 18 pada proses pengujian mesin cuci. Sebelum dilakukan pembobotan dilakukan pemodelan *clustering* kriteria dan subkriteria disertai dengan hubungan satu sama lain. Pemodelan dilakukan dengan bantuan *Software Superdecisions*. Bagan pemodelan kriteria dan subkriteria serta relasinya dapat dilihat pada gambar 3.

Model pada gambar 3 menjadi acuan dalam menentukan jumlah *pairwise* yang ada pada matriks penilaian bobot mode kegagalan pada pengujian mesin cuci. Pengisian matriks dilakukan oleh tim pelaksana pengujian. Data yang diperoleh kemudian diolah dengan *Software Superdecisions*. Untuk memperoleh pembobotan ANP, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai *eigen value*, nilai CI dan CR untuk melihat besarnya nilai inkonsistensi. Jika nilai $CR \leq 0,1$ maka hasil penilaian dapat dilanjutkan untuk perhitungan bobot. Berdasarkan hasil analisis, nilai CR seluruhnya

bernilai di bawah 0,1 sehingga perhitungan bobot dapat dilakukan. Bobot yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung nilai RPN terbobot atau WRPN. Nilai WRPN kemudian diperingkatkan untuk memperoleh nilai peringkat risiko. Bobot ANP, WRPN dan pemeringkatan risiko dapat dilihat pada tabel 6. Nilai RPN pada Tabel 6 diperoleh dari Tabel 5. Perkalian antara nilai RPN dengan bobot ANP menghasilkan WRPN. Nilai WRPN diperingkatkan mulai dari yang terbesar sampai yang terkecil.

Berdasarkan Tabel 6 diperoleh bobot ANP terbesar pada klausul 11 dengan mode kegagalan tidak cukupnya termokopel sebesar 0,104. Kemudian pada posisi kedua bobotnya adalah 0,088 yaitu mode kegagalan kerusakan RLC meter pada klausul 11. Sedangkan bobot terendah pada mode kegagalan sudut bukaan pintu tidak tepat klausul 18 yaitu 0,002. Nilai-nilai bobot tersebut menunjukkan mode kegagalan dengan nilai tertinggi dianggap mode kegagalan yang pengaruhnya paling prioritas dalam menentukan nilai risiko.

Gambar 3 Model ANP Penilaian Risiko

Tabel 6 Bobot ANP, WFRN dan Peringkat Risiko

ID	RPN	Bobot ANP	WRPN	Rank
10.1a	108,00	0,028	3,07	19
10.1b	79,25		2,25	25
10.2a	103,40	0,089	9,22	2
10.2b	68,94		6,15	10
10.3	74,57	0,064	4,80	15
10.4	97,47	0,031	6,27	9
10.5	144,60	0,018	4,48	16
11.1a	78,51	0,104	1,44	38
11.1b	73,88		7,65	3
11.2a	79,25	0,094	7,47	4
11.2b	69,23		6,52	6
11.2c	65,15		6,14	11
11.3a	86,77	0,072	6,27	8
11.3b	78,83		5,70	12
11.3c	71,33		5,16	14
11.4a	109,30	0,088	9,61	1
11.4b	72,00		6,33	7
11.5	69,52	0,031	2,13	27
13.1a	109,90	0,025	2,75	21
13.1b	80,21		2,01	32
13.2a	109,90	0,067	7,34	5
13.2b	80,21		5,35	13
13.3a	95,50	0,022	2,08	28
13.3b	69,70		1,52	36
13.4	77,56	0,022	1,73	33
15.1	113,80	0,068	2,54	23
15.2a	110,80	0,019	2,06	30
15.2b	91,82		1,70	34
15.3a	74,18	0,048	3,56	17
15.3b	54,43		2,61	22
15.3c	43,20		2,07	29
15.4a	87,82	0,029	2,54	24
15.4b	76,72		2,22	26
15.4c	69,71		2,02	31
15.5a	55,62	0,029	1,64	35
15.5b	50,53		1,49	37
15.5c	45,91		1,35	40
15.5d	43,61		1,28	41
18.1a	101,10	0,033	3,29	18
18.1b	88,29		2,87	20
18.2	115,10	0,004	0,44	43
18.3a	143,60	0,002	0,35	44
18.3b	230,50		0,56	42
18.3c	127,50		0,31	45
18.4	103,80	0,013	1,36	39

Setelah keseluruhan bobot diperoleh maka perhitungan WRPN pun dapat dilakukan. Nilai WRPN diperoleh dari perkalian RPN dengan bobot ANP. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai WRPN bervariasi dari 0,31-9,61. Semakin besar nilai WRPN maka menunjukkan paling prioritas diperhatikan mode kegagalannya. Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai WRPN terbesar 9,61 terjadi pada mode kegagalan kerusakan RLC meter klausul 11. Nilai WRPN kedua tertinggi adalah 9,22 pada mode kegagalan kerusakan *power meter*. Ketiga nilai WRPN 7,56 dengan mode kegagalan tidak cukupnya termokopel. Nilai WRPN keempat yaitu 7,47 dengan mode kegagalan kerusakan *data logger*. Nilai WRPN kelima yaitu 7,34 dengan mode kegagalan kerusakan *withstand voltage hi tester*. Kemudian nilai WRPN terendah 0,31 dengan mode kegagalan sudut bukaanpintu tidak tepat. Semakin besar nilai WRPN maka prioritas mitigasi risiko makin tinggi. Maka berdasarkan data pada tabel 2 prioritas mitigasi pada penilaian risiko pengujian mesin cuci mode kegagalan kerusakan RCL meter merupakan risiko yang paling prioritas dimitigasi. Kemudian selanjutnya prioritas mitigasi berturut-turut yaitu pada mode kegagalan kerusakan *power meter*, tidak cukupnya termokopel, kerusakan *data logger* dan *withstand voltage hi tester*. Prioritas mitigasi risiko paling rendah tentunya pada mode kegagalan sudut bukaan pintu tidak tepat.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penilaian risiko dengan ANP-FMEA pada proses pengujian mesin cuci klausul 10, 11, 13, 15, dan 18 maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Metode penilaian risiko ANP-FMEA dapat diterapkan pada proses pengujian mesin cuci di laboratorium pengujian.
2. Metode ANP-FMEA mampu menjadi solusi kelemahan FMEA tradisional dengan koreksi pembobotan pada perhitungan nilai RPN tradisional menjadi WRPN.
3. Nilai WRPN tertinggi yaitu 9,61 (pada mode kegagalan kerusakan RCL meter). Mode kegagalan ini harus menjadi prioritas tertinggi dalam tindakan mitigasi risiko pada proses pengujian mesin cuci.
4. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penilaian risiko ANP-FMEA pada pengujian mesin cuci, maka prioritas mitigasi risiko secara berturut-turut yaitu kerusakan RCL meter, kerusakan *power meter*, tidak cukupnya termokopel, kerusakan *data logger* dan *withstand voltage hi-tester*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada Nanang Kusnandar dan Bayu Utomo atas kerjasamanya dalam proses pengambilan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alrifae, M., Hong, T. S., Supeni, E. E., As'array, A., & Ang, C. K. (2019). Identification and Prioritization of Risk Factors in an Electrical Generator Based on the Hybrid FMEA Framework. *Energies*, 12(649).
- Aven, T. (2008). *Risk Analysis: Assessing Uncertainties beyond Expected Values and Probabilities*. West Sussex, England: John Wiley & Sons.
- Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003). Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects criticality analysis. *Quality Reliability Engineering International*, 19(5), 425–443.
- BSN. (2009). *SNI IEC 60335.2.7-2009 mengenai Piranti Listrik Rumah Tangga dan Sejenis-Keselamatan- Bagian 2.7: Persyaratan Khusus untuk Mesin Cuci*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. (2017). *SNI ISO IEC 17025:2007 Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Chang, K.-H., Chang, Y.-C., & Tsai, I.-T. (2013). Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial and evaluation laboratory approach. *Engineering Failure Analysis*, 31, 211–224.
- Charette, R. (1990). *Applications Strategies for Risk Management*. McGraw-Hill, New York.
- Chen, Z., & Khumpaisai, S. (2009). An analytic network process for risks assessment in commercial real estate development. *Journal of Property Investment & Finance*, 27(3), 238-258.
- 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., Wang, Y.-M., K, G., Poon, K., & Jian-BoYang. (2009). Failure mode effects analysis by data envelopment analysis. *Decision Support Systems*, 48(1), 246–256.
- Cicek, K., & Celik, M. (2013). Application of failure modes and effects analysis to main engine crankcase explosion failure on-board ship. *Safety Science*, 51, 6–10.
- Colli, A. (2015). Failure mode and effect analysis for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 804–809.
- Firdaus, H., & Widiyanti, T. (2015). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) sebagai tindakan pencegahan pada kegagalan pengujian. *10th Annual Meeting on Testing and Quality 2015* (hal. 131-142). Tangerang: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia-Pusat Penelitian Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian.
- Gu, W., Saaty, T. L., & Wei, L. (2018). Evaluating and Optimizing Technological Innovation Efficiency of Industrial Enterprises Based on Both Data and Judgments. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 9–43.
- Herjanto, E. (2011). Pemberlakuan SNI secara wajib di sektor industri: efektivitas dan berbagai aspek dalam penerapannya. *Jurnal Riset Industri*, 5(2), 121-130.
- ISO. (2009). *ISO Guide 73:2009 Risk Management – Vocabulary*. Jenewa: International Organization for Standardization.
- ISO. (2018). *ISO 31000:2018 Risk management-Guidelines*. Jenewa: The International Organization for Standardization.
- Karamoozian, A., & Wu, D. (2020). A hybrid risk prioritization approach in construction projects using failure mode and effective analysis. *Engineering, Construction and Architectural Management*. doi:<https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2019-0535>
- Kerzner, H. (2008). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (8 ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Kolich, M. (2014). Using failure mode and effects analysis to design a comfortable automotive driver seat. *Applied Ergonomics*, 45, 1087-1096.
- Liao, C.-J., & Ho, C. (2014). Risk management for outsourcing biomedical waste disposal – Using the failure mode and effects analysis. *Waste Management*, 34, 1324-1329.
- Lichtenstein, S. (1996). Factors in the selection of a risk assessment method. *Information Management & Computer Security*, 4(4), 20-25.
- Lo, H.-W., Liou, J. J., Huang, C.-N., & Chuang, Y.-C. (2018). A novel failure mode and effect analysis model for machine tool

- risk analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 183, 173-183.
- López-Tarjuelo, J., Bouché-Babiloni, A., Santos-Serra, A., Morillo-Macías, V., Calvo, F. A., Kubyshev, Y., & Ferrer-Albiach, C. (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.
- McDermott, R. M. (2009). *The Basic of FMEA* (2 ed.). New York: Taylor and Francis Group.
- Mirzaei, S., & Avakhdarestani, S. (2016). Development of failure mode and effects analysis using fuzzy analytical network process. *Int. J. Productivity and Quality Management*, 17(2), 215-235.
- Mohideen, P., & Ramachandran, M. (2014). Strategic approach to breakdown maintenance on construction plant – UAE perspective. *Benchmarking: An International Journal*, 21(2), 226-252.
- Mzougui, I., & FelSoufi, Z. E. (2019). Proposition of a modified FMEA to improve reliability of product. *29th CIRP Design 2019* (hal. 1003-1009). Elsevier.
- Nassimbeni, G., Sartor, M., & Dus, D. (2012). Security risks in service offshoring and outsourcing. *Industrial Management & Data Systems*, 3, 405-440.
- Paciarotti, C., Mazzuto, G., & D'Ettorre, D. (2014). A revised FMEA application to the quality control management. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 31(7), 788 – 810.
- Petrovskiy, E. A., Buryukin, F. A., Bukhtiyarov, V. V., Savich, I. V., & Gagina, M. V. (2015). The FMEA-Risk Analysis of Oil and Gas Process Facilities with Hazard Assessment Based on Fuzzy Logic. *Modern Applied Science*, 9(5), 25-37.
- Pillay, A., & Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering and System Safety*, 79, 69–85.
- Pinnarat Nuchpho, S. N. (2014). Risk Assessment in the Organization by Using FMEA Innovation: A Literature Review. *Proceedings of the 7th International Conference on Educational Reform*, (hal. 781-787). Hue, Vietnam.
- Raftery, J. (1994). *Risk Analysis in Project Management*. London: E & FN Spon.
- Rahmatin, N., Santoso, I., Indriani, C., Rahayu, S., & Widyaningtyas, S. (2008). Integration of the fuzzy failure mode and effect analysis (fuzzy FMEA) and the analytical network process (ANP) in marketing risk analysis and mitigation. 4, 809-818.
- Rausand, M. (2011). *Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications*. Hoboken, New Jersey.: John Wiley & Sons.
- Saaty, T. (1996). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh, PA, USA: RWS Publications.
- Saaty, T. L. (1999). Fundamentals of the analytic network process. *Proceedings of International Symposium on Analytical Hierarchy Process*. Kobe, Japan.
- Saaty, T. L. (2004). Fundamentals of the analytic network process—dependence and feedback in decision-making with a single network. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 129-157.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. (2006). *The Analytic Network Process*. doi:10.1007/0-387-33987-6_1
- Sahu, A. D. (2016). Evaluation and selection of resilient suppliers in fuzzy environment: exploration of fuzzy-VIKOR. *Benchmarking: An International Journal*, 23(3), 651-673.
- Sankar, N., & Prabhu, B. (2001). Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode effects analyses. *Journal of Quality & Reliability Management*, 18(3), 324–336.
- Seyed-Hosseini, S. S. (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.
- Sharma, R., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using Fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(9), 986–1004.
- 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.

- Tay, K., & Lim, C. (2006). Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23(8), 1047–1066.
- Thilini, M., & Wickramaarachchi, N. C. (2019). Risk assessment in commercial real estate development: An application of analytic network process. *Journal of Property Investment & Finance*, 37(5), 427-444.
- Thornton, E., Brook, O. R., Mendiratta-Lala, M., Hallett, D. T., & Kruskal, J. B. (2010). Application of Failure Mode and Effect Analysis in a Radiology Department. *Quality Initiatives*, 31, 281-293.
- Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Vinodh, S., & Santhosh, D. (2012). Application of FMEA to an automotive leaf spring manufacturing organization. *The TQM Journal*, 24(3), 260 – 274.
- Wang, Y.-M., Chin, K.-S., Poon, G. K., & Yang, J.-B. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert Systems with Applications*, 36, 1195–1207.
- Wehbe, F. A., & Hamzeh, F. R. (2013). Failure mode and effect analysis as a tool for risk management in construction planning. *Proceedings IGLC*, (hal. 481-490). Fortaleza, Brazil. doi:10.13140/RG.2.1.3935.4409.
- Wu, J.-Y., & Hsiao, H.-I. .. (2020). Food quality and safety risk diagnosis in the food cold chain through failure mode and effect analysis. *Food Control*. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107501.
- Yang, C.-C., Wen-Tsaan Lin, M.-Y. L., & Huang, J.-T. (2006). A study on applying FMEA to improving ERP Production: an example of semiconductor related industries in Taiwan. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23(3), 298-322.
- 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.
- Yirenkyi-Fiango, A. B., & Chileshe, N. (2015). An analysis of risk management in practice: the case of Ghana's construction industry. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 13 (2), 240-259.
- Zhou, J., & Reniers, G. (2020). Modeling and application of risk assessment considering veto factors using fuzzy Petri nets. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 67, 104216.