Analisa Risiko Prioritas Perbaikan Kegagalan Proses Penjernihan Air Dengan *Metode Fuzzy FMEA*

Mochammad Basjir[1], Suhartini[2]
Universitas Islam Malang[1], Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[2]
Email: m.basjir@unisma.ac.id[1], suhartini@itats.ac.id[2]

Abstrak

Analisa risiko kegagalan proses adalah salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mendeteksi risiko-risiko apa saja yang berpengaruh terhadap kegagalan proses utamanya proses produksi yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap kegagalan sistem. Dari analisa tersebut nantinya akan digunakan sebagai acuan untuk mengatasi risiko yang timbul di masa akan datang dan juga dapat digunakan untuk perbaikan atau menghilangkan kegagalan sebelum kinerja sistem mengalami penurunan. Konsep analisa risiko kegagalan dengan pendekatan metode FMEA (Failure Mode Effect Analysis) konvensional dan Fuzzy FMEA diterapkan pada 5 tahapan proses produksi penjernihan air bersih didapatkan 20 failure mode. Penentuan urutan prioritas perbaikan kegagalan proses dengan menghitung nilai RPN dengan metode FMEA konvensional kemudian menghitung nilai FRPN dengan metode Fuzzy FMEA. Terdapat perbedaan yang signifikan dari perbandingan hasil perhitungan yang disajikan kedua metode tersebut sehingga mengurangi bias yang terjadi dalam menangkap informasi prioritas perbaikan yang harus dilakukan. Hasil akhir diharapkan dapat dihasilkan usulan perbaikan sesuai dengan kondisi riil yang ada pada perusahaan.

Kata kunci: Risiko, Proses Penjernihan Air, FMEA, Fuzzy

Abstract

Failure mode risk analysis is an effort that can be implemented to detect any risk in which it influences failure mode particularly production mode that will effect to system failure. The analysis will be used as a reference to overcome the emerge risk later and it also can be used to improve or minimize the failure before the working system reduces. The concept of failure risk analysis with conventional FMEA method (Failure Mode Effect Analysis) and Fuzzy FMEA that is implemented in 5 (five) stages of production processes of purifying water got 20 failure mode. The determination of priority order of process failure improvement is by calculating the value of RPN with conventional FMEA method and summing up the value of FRPN with Fuzzy FMEA method. There is significant different between the results of the both method as a result it reduces the bias in getting priority improvement information that should be done. The findings are expected to give improvement in real situation of a company.

Keywords: *Risk, Process of Purifying Water, FMEA, Fuzzy*

A. PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia terhadap air bersih sangatlah besar. Disamping sebagai penunjang untuk kebutuhan hidup, air juga berperan dalam aktifitas lainnya seperti irigasi untuk lahan pertanian, sebagai konsumsi peternak di sektor peternakan, sektor industri juga sangat besar ketergantungan terhadap kebutuhan akan air. Jelasnya bahwa segala sesuatu aktifitas di dunia ini tidak terlepas dari kebutuhan akan air.

Kadangkala penyediaan akan air terjadi kegagalan dalam proses produksinya. Kegagalan adalah suatu kejadian dimana terjadi kondisi ketidaksesuaian antara kondisi yang diharapkan dengan kondisi yang terjadi. Proses adalah suatu peristiwa pengolahan atau pemberian nilai dari obyek awal menjadi obyek yang berbeda namun lebih bernilai dan sifatnya berbeda. Dengan kata lain, proses dikatakan mengalami kegagalan apabila terjadinya kondisi yang tidak sesuai dengan yang diharapkan dan berasal dari sebuah manfaat yang diberikan pada kondisi tersebut karena adanya suatu kejadian tertentu juga.

PDAM Kabupaten Malang adalah salah satu perusahaan milik pemerintah daerah yang unit kerjanya di bidang pengolahan air bersih. Dalam wilayah kerjanya, perusahaan tersebut juga mempunyai hubungan langsung dengan masyarakat banyak khususnya penduduk di sekitar kota Malang sehingga kualitas produk serta pelayanan yang terbaik sangat diharapkan oleh publik. Namun, dalam upaya untuk peningkatan kinerja dalam peningkatan kualitas tersebut seringkali terkendala atau menemui hambatan-hambatan seperti mesin gagal beroperasi dan kerusakan fasilitas produksi sehingga berakibat terhadap kegagalan sistem. Disamping itu juga akan menimbulkan faktor-faktor risiko yang dapat mengancam kegagalan pada kinerja dari mesin atau fasilitas produksi tersebut. Kegagalan sistem yang terjadi pada instalasi pengolahan air yang disebabkan oleh risiko-risiko yang dapat menimbulkan kegagalan proses pengolahan seperti kerusakan pada filter target dan juga penanganan yang kurang tepat waktu juga akan mempengaruhi penggunaan sumber daya. Kegagalan pada sistem pada proses tersebut akan menimbulkan biaya yang tinggi akibat production losses dan delay, intervensi yang tidak terencana pada sistem dan safety hazards (Sachdeva, Kumar, & Kumar, 2009)

Target ke depannya yang diharapka oleh perusahaan PDAM ini adalah perusahaan mampu mengantisipasi serta memperbaiki risiko-risiko kegagalan proses penjernihan air sehingga risiko-risiko kegagalan proses yang timbul dapat dihilangkan atau diminimalkan sehingga pemenuhan target produksi baik secara kuantitas maupun kualitas dapat dicapai serta dapat menaikan tingkat kepuasan konsumen. Untuk itu diperlukan adanya ketepatan strategi dalam rangka perbaikan atau pencegahan kegagalan sebelum sistem mengalami penurunan kinerja.

Menentukan strategi pencegahan terbaik terhadap kegagalan yang terjadi bukanlah perkara yang mudah. Strategi tersebut harus menggabungkan persyaratan teknis dan strategi manajemen (Sachdeva et al., 2009). Modus kegagalan setiap komponen harus dipelajari dalam rangka untuk menilai solusi terbaik sesuai dengan pola kegagalan, dampak dan biaya pada keseluruhan sistem.

Salah satu metode yang dapat digunakan sebagai strategi pencegahan terhadap kegagalan proses produksi dan juga dapat memperkirakan masalah yang terjadi serta dapat memberikan alternatif solusi yang paling ekonomis untuk menghentikan kegagalan adalah metode FMEA (*Failure Mode And Effect Analysis*).

Metode FMEA merupakan salah satu tool yang dapat diterima dengan baik dalam menganalisa *realibility* dan *safety* dari fasilitas produksi karena bersifat visible dan mudah digunakan. Namun, tim FMEA akan mengalami kesulitan dan tampak kelemahan-kelemahan dari metode FMEA ketika menerapkannya dalam industri nyata (Wang, Chin, Poon, & Yang, 2009;) (Yeh & Hsieh, 2007)

Untuk itu dikembangkan sebuah metode pendekatan antara metode FMEA dengan teori fuzzy sebagai sebuah sistem penilian resiko oleh para ahli dalam rangka untuk mengatasi kelemahan-kelemahan dari metode FMEA konvensional. Dengan menggunakan himpunan fuzzy dan fungsi keanggotaan, informasi yang tidak tepat dapat diperbaiki untuk menggambarkan situasi yang nyata. Penggunaan aturan fuzzy IF-THEN yang ditampung dari *knowledge* dan pengalaman para ahli dapat digabungkan pada tool penilaian ahli resiko. Lebih lanjut, informasi setiap kegagalan dapat direvisi atau di-update oleh para ahli.

B. METODE

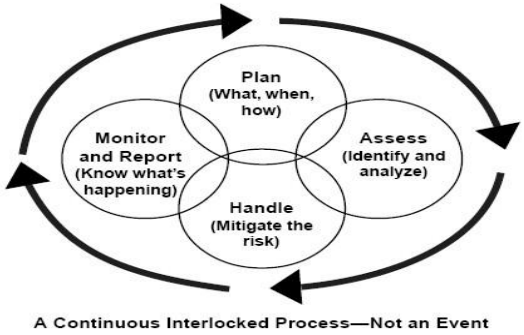
1. Manajemen Risiko

Manajemen risiko adalah suatu kegiatan dalam mengukur atau menilai suatu risiko dimana dari kegiatan tersebut akan dikembangkan strategi pengelolaan terhadap risiko tersebut. Strategi yang bisa digunakan antara lain dengan memindahkan risiko kepada kegiatan atau subyek lain, menghindar dari risiko tersebut, mengurangi efek negatif yang ditimbulkan dari risiko, dan dapat juga menampung konsekuensi baik sebagian atau keseluruhan dari risiko tertentu (Hanafi, 2014).

Tujuan dari manajemen risiko adalah membuat kegiatan pengelolaan terhadap risiko yang terjadi untuk menghasilkan sistem yang handal, dan juga ketidakpastian dari risisko yang muncul akan dioptimalkan.

2. Proses Manajemen Risiko

Ada beberapa tahapan dalam pengelolaan risiko yang ditampilkan seperti pada gambar di bawah ini (Hanafi, 2014).



Gambar 1. Proses Manajemen Risiko

1) Perencanaan Manajemen Risiko (*Plan*).

Plan atau perencanaan adalah memutuskan bagaimana langkah pendekatan dan perencanaa dalam kegiatan manajemen resiko pada

sebuah proyek. Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan ini adalah rencana manajemen proyek, lingkup proyek, dan faktor lingkungan maka tim yang bekerja pada proyek dapat menganalisa dan mendiskusikan kegiatan-kegiatan manajemen resiko untuk proyek khusus.

2) Identifikasi Risiko dan Analisis Risiko Kualitatif (*Asses*)

Pengidentifikasian terhadap risiko diawali dengan pemahaman terhadap pengertian sebenarnya dari suatu risiko. Setelah itu bagaimana risiko yang teridentifikasi tersebut dapat mempengaruhi tingkat kesuksesan dari proyek serta mampu mendokumentasikan ciri khusus atau karakteristik dari masing-masing risiko. Dari kegiatan ini akan dihasilkan apa yang dinamakan dengan risk register.

3) Penanganan Risiko (*Handle*).

Penangan risiko adalah suatu proses kegiatan dalam rangka meminimalkan tingkat risiko yang telah terjadi dan yang dihadapi sampai dihasilkan batas risiko yang dapat diterima. Secara kuantitatif, usaha yang dilakukan dalam meminimalkan risiko diterapkan langkah-langkah dengan menurunkan angka hasil pengukuran yang didapat dari analisa terhadap risiko.

4) Pemantauan dan Pelaporan Risiko (*Monitors And Reports*)

Dalam pemantauan risiko terdiri dari evaluasi dan back testing. Evaluasi dalam pemantauan risiko yaitu mengamati efektifitas tindakan pengendalian yang dilakukan secara berkala dan memastikan bahwa hasil risk mapping telah mencerminkan kondisi yang sebenarnya. Sedangkan Back Testing adalah membandingkan potensi risiko yang diidentifikasi pada awal periode dengan kondisi actual pada akhir periode penilaian.

3. FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) adalah metode yang digunakan dalam pendefinisian, pengindentifikasian dan menghilangkan kegagalan dan permasalahan yang terjadi pada proses utamanya proses produksi, baik yang telah ditemukan dan diketahui maupun yang mempunyai potensial terjadi pada sistem (Zhang & Chu, 2011) (Liu, You, Lin, & Li, 2015).

Pada FMEA konvensional untuk menentukan prioritas perbaikan dilakukan dengan cara menghitung nilai RPN (*Risk Priority Number*) yang didapat dari perkalian dari tingkat keparahan (*severity*), tingkat kejadian (*occurance*), tingkat deteksi (*detection*) yang masing-masing diberi nilai atau skor

Tetapi nilai RPN dalam menentukan prioritas pada FMEA konvesional mempunyai kelemahan yang menuai kritik sehingga banyak penelitian dilakukan untuk mengembangkan metode FMEA dalam penentuan prioritas perbaika. Pengembangan tersebut antara lain dengan mengintegrasikan dengan Fuzzy model (Liu et al., 2015).

4. Teori Fuzzy

Fuzzy atau Fuzzy Logic merupakan suatu proses pengambilan keputusan yang berbasis aturan dengan maksud untuk memberikan solusi terhadap permasalahan yang terjadi apabila sistem tersebut sulit untuk dimodelkan atau dengan kata lain adanya ambiguitas dan ketidak jelasan yang berlimpah (Kusumadewi, 2006).

Dasar penentuan fuzzy logic adalah persamaan logika yang berasal dari pemikiran yang mengidentifikasi dan juga bagaimana

mengambil keuntungan dari grayness yang terjadi antara 2 ekstrem. Sistem fuzzy logic terdiri dari dua hal utama yaitu himpunan fuzzy dan aturan-aturan fuzzy. Subset fuzzy adalah himpunan bagian yang berbeda dari dua variabel yaitu variabel input dan variabel output. Sedangkan aturan fuzzy, berkaitan dengan variabel input dan variabel output yang dihubungkan melalui subset (Wang et al., 2009).

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan dilakukan pada instalasi penjernihan air bersih di PDAM Sumber Air Wendit yang dalam prosesnya untuk mendapatkan produk yang berkualitas melalui 5 tahapan proses yang terdiri dari tahap aerasi, tahap prasedimentasi, tahap koagulasi dan flokulassi, tahap filtrasi dan yang terakhir adalah tahap disinfeksi. Dari lima tahapan proses produksi penjernihan air tersebut teridentifikasi 20 mode kegagalan dan *failure effect*-nya.

Tabel 1. *Failure Mode* dan *Failure Effect* Proses Produksi Instalasi Penjernihan Air

No.	Proses	*Failure Mode*	Kode	*Failure effect*
1	Aerasi (P1)	Hibbon mengalami trouble	F1	Proses aerasi terhambat
				Kadar DO turun
				Udara sulit diinjeksikan
		Lubang pada pipa udara tersumbat	F2	Proses aerasi terhambat
				Kadar DO turun
2	Koagulasi dan Flokulasi (P2)	Penempatan titik injeksi tawas yang kurang tepat	F3	Flok sulit terbentuk
				Kualitas air menurun
				Menurunkan kinerja filter
		Sludgedrain tersumbat	F4	Lumpur akan naik ke permukaan karena turbulensi
				Kualitas air menurun
				Filter tidak bekerja optimal
		Kompresor mengalami	F5	Valve tidak bisa terbuka
				Prose flokulasi tidak

		trouble		optimal
		Kerusakan (kebocoran) pada kolam (bak)	F6	Timbul tekanan
				Tingkat pengadukan tidak dapat stabil
		Pembukaan pintu pengatur debet air yang kurang tepat	F7	Supply air di bagian intake berkurang
				Pompa air baku sulit mendistribusikan air baku dari intake
3	Prasedimentasi (P3)	Bak pengendap tidak dapat mendeteksi volume lumpur	F8	Kualitas air baku menurun
				Flok ikut terbawa ke proses filterasi
		Komposisi pembubuhan yang kurang tepat	F9	Kualitas air baku menurun
				Dapat menurunkan kinerja filter
		Sensor ketinggian debet air baku rusak	F10	Debet supply air ke intake tidak terdeteksi
		Pompa air baku mengalami *trouble*	F11	Distribusi air macet
				Supply air baku ke proses filtrasi menurun
4	Filtrasi (P4)	Valve backwash trouble	F12	Kualitas air menurun
				Media penyaring tidak dapat dapat bekerja secara optimal
		Filter mengalami kloging	F13	Ketinggian air filter naik
				Air tidak bisa didistribusikan ke reservoir
				Air luberan akan mengenai fasilitas lain
		Sistem surface mengalami trouble	F14	Kenaikan ketinggian air filter
				Air tidak bisa didistribusikan ke reservoir
				Luberan air mengenai fasilitas lain
		Kualitas media penyaring kurang bagus	F15	Kualitas air menjadi turun
				Proses filterasi tidak berjalan optimal
5	Desinfeksi (P5)	Dosis gas chlor yang kurang sesuai	F16	Mikroba dalam air masih tersisa
				Mempercepat korosi pada fasilitas yang lain
		Reservoir kurang	F17	Gas chlor akan mudah

	tertutup rapat		menguap
			Lumpur atau tanah di sekitar reservoir akan ikut masuk jika terjadi hujan
	Tempat titik injeksi gas chlor yang kurang tepat	F18	Sisa gas chlor dalam reservoir tidak merata
			Mikroba dalam air masih tersisa
	Kerusakan pada alat injeksi yang kurang tepat	F19	Gas chlor tidak dapat diinjeksikan
			Mikroba dalam air tidak terbunuh
	Kerusakan pada sensor reservoir	F20	Sisa gas chlor dalam reservoir tidak terdeteksi
			Ketinggian air di reservoir tidak terdeteksi

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai RPN dan FRPN dari *Failure Mode* Yang Terjadi Pada Proses Penjernihan Air

No.	Proses	*Failure Mode*	Kode	RPN	FRPN
1	Aerasi (P1)	Hibbon mengalami trouble	F1	150	4,6740
		Lubang pada pipa udara tersumbat	F2	120	5,2045
2	Koagulasi dan Flokulasi (P2)	Penempatan titik injeksi tawas yang kurang tepat	F3	150	4,7132
		Sludgedrain tersumbat	F4	125	4,4815
		Kompresor mengalami trouble	F5	125	4,4214
		Kerusakan (kebocoran) pada kolam (bak)	F6	96	4,0470
		Pembukaan pintu pengatur debet air yang kurang tepat	F7	96	4,5749
3	Prasedimentasi (P3)	Bak pengendap tidak dapat mendeteksi volume lumpur	F8	96	4,5244
		Komposisi pembubuhan yang kurang tepat	F9	100	4,056
		Sensor ketinggian debet air baku rusak	F10	96	4,827

		Pompa air baku *trouble*	F11	96	4,1250
4	Filtrasi (P4)	Valve backwash *trouble*	F12	96	4,625
		Filter mengalami kloging	F13	125	4,6965
		Sistem surface mengalami troble	F14	96	4,712
		Kualitas media penyaring kurang bagus	F15	180	4,610
5	Desinfeksi (P5)	Dosis gas chlor yang kurang sesuai	F16	150	4,512
		Reservoir kurang tertutup rapat	F17	90	4,692
		Tempat titik injeksi gas chlor yang kurang tepat	F18	90	4,274
		Kerusakan pada alat injeksi yang kurang tepat	F19	180	4,726
		Kerusakan pada sensor reservoir	F20	150	4,6593

Analisa Hasil RPN (FMEA) dan FRPN (*Fuzzy* FMEA)

Dari hasil perhitungan dengan metode FMEA dimana akan dinilai masing-masing parameter severity (S), occurance (O) dan detection (D) dari masing-masing failure mode yang terjadi yang nantinya sebagai dasar perhitungan nilai RPN (Risk Priority Number).

Tabel 2 menunjukkan bahwa ada 5 (lima) kelompok yang terdiri dari 18 (delapan belas) mode kegagalan yang memiliki nilai RPN dan peringkat prioritas yang sama. Adanya nilai RPN yang sama dalam kondisi nyata akan menimbulkan representasi risiko yang berbeda sehingga akan membuat kesulitan para pelaku dalam menentukan peringkat prioritas perbaikan terhadap mode kegagalan yang teridentifikasi.

Mode kegagalan F15 dan F19 memiliki nilai RPN yang sama yaitu sebesar 180 dan peringkat prioritas yang sama yaitu 1. Dengan pendekatan fuzzy yang diterapkan, akan menghasilkan kombinasi yang berbeda dari nilai peringkat tiap parameter dapat memberikan kesimpulan risiko yang berbeda. Dengan penerapan pendekatan metode fuzzy pada FMEA, mode kegagalan F15 dan F19 memiliki peringkat 11 dan 3, sehingga dengan menggunakan pendekatan fuzzy pada FMEA, akan lebih mudah bagi pengguna untuk membedakan represantasi risiko dalam mode kegagalan yang memiliki nilai RPN yang sama.

Mode kegagalan F1, F3, F16 dan F20 memiliki nilai RPN yang sama yaitu sebesar 150 dan peringkat prioritas yang sama yaitu 2. Dengan pendekatan metode fuzzy yang diterapkan, mode kegagalan F1, F3, F16 dan F20 yang memiliki tingkat risiko yang berbeda dengan pendekatan yang diusulkan diperoleh 8, 4, 14 dan 9.

Mode kegagalan F4, F5 dan F13 memiliki nilai RPN yang sama yaitu sebesar 125 dan peringkat prioritas yang sama yaitu 3. Dengan pendekatan metode fuzzy yang diterapkan, ketiga mode kegagalan tersebut dengan pendekatan yang diusulkan diperoleh 15, 16 dan 6.

Demikian juga untuk mode kegagalan F6, F7, F8, F10, F11, F12 dan F14 yang memiliki nilai RPN yang sama yaitu 96 dan sama-sama mempunyai peringkat prioritas 6. Dengan pendekatan metode fuzzy yang diterapkan akan menghasilkan tingkat risiko yang berbeda dan peringkat ketujuh mode kegagalan dengan pendekatan yang diusulkan diperoleh 20,12,13, 2, 18, 10 dan 5. Setelah diterapkan metode yang diusulkan, maka peringkat prioritas didapatkan 20, 12, 13, 2, 18, 10 dan 5.

Pertimbangkan untuk mode kegagalan F17 dan F18 mode kegagalan tersebut memiliki nilai RPN yang sama yaitu sebesar 90 dan

peringkat risiko 7. Meskipun nilai RPN untuk kedua mode kegagalan tersebut memiliki nilai yang sama, namun keduanya memiliki risiko yang berbeda. Perbedaan jelas terlihat ketika metode fuzzy diterapkan pada FMEA. Dengan menggunakan pendekatan yang diusulkan, mode kegagalan F17 dan F18 memiliki tingkat risiko yang berbeda dan peringkat keduanya dengan pendekatan yang diusulkan diperoleh 7 dan 17. Sudah jelas bahwa peringkat risiko untuk masing-masing kegagalan dengan pendekatan metode fuzzy diberi peringkat lebih tinggi dibandingkan dengan FMEA konvensional.

D. PENUTUP

Simpulan dan Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan terkait dengan analisis kegagalan proses di PDAM Sumber Air Wendit, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada 5 tahapan proses produksi penjernihan air untuk menghasilkan air bersih yang layak konsumsi didapatkan 20 failure mode dan failure effect yang teridentifikasi sebagai risiko kegagalan proses produksi.
2. Penentukan prioritas dan rekomendasi perbaikan terhadap risiko mode kegagalan proses diterapkan dengan menggunakan pendekatan metode fuzzy pada FMEA konvensional.
3. Terdapat perbedaan urutan prioritas perbaikan terhadap mode kegagalan dan dampaknya pada instalasi proses produksi penjernihan air PDAM Sumber Air wendit ini menunjukkan bahwa penerapan metode fuzzy pada FMEA memberikan nilai yang lebih baik dengan mengurangi bias yang terjadi dari FMEA tradisional.

4. Peringkat prioritas perbaikan dari metode fuzzy pada FMEA mampu memperbaiki peringkat prioritas perbaikan dari FMEA. Sebagai bukti hasil dari peringkat prioritas FMEA ada lima kelompok yang terdiri dari delapan belas mode kegagalan dari dua puluh mode kegagalan memiliki nilai RPN sama. Hal tersebut akan menyulitkan dalam representasi risiko di antara mode kegagalan tersebut.Sedangkan hasil dari peringkat prioritas perbaikan dari fuzzy-FMEA, dari dua puluh mode kegagalan memiliki nilai FRPN yang tidak sama dan tidak ada peringkat yang sama, sehingga mengurangi bias yang terjadi dalam menangkap informasi prioritas perbaikan yang harus dilakukan. Semakin tinggi prioritas perbaikan menunjukkan perhatian yang lebih besar pada bentuk kegagalan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Hanafi, M. M. (2014). Manajemen Risiko. Manajemen Risiko. https://doi.org/DOI 10.1016/j.jorganchem.2005.08.045

Kusumadewi, S. H. (2006). Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (Fuzzy MADM). Graha Ilmu Yogyakarta. https://doi.org/10.1029/96JA03034

Liu, H. C., You, J. X., Lin, Q. L., & Li, H. (2015). Risk assessment in system FMEA combining fuzzy weighted average with fuzzy decision-making trial and evaluation laboratory. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. https://doi.org/10.1080/0951192X.2014.900865

Sachdeva, A., Kumar, D., & Kumar, P. (2009). Multi-factor failure mode critically analysis using TOPSIS Anish. Journal of Industrial Engineering International.

Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy

weighted geometric mean. Expert Systems with Applications. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.028

Yeh, R. H., & Hsieh, M. H. (2007). Fuzzy assessment of FMEA for a sewage plant. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers. https://doi.org/10.1080/10170660709509064

Zhang, Z., & Chu, X. (2011). Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty. Expert Systems with Applications. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.046