

---

---

## ANALISIS PENYEBAB KEGAGALAN *CHLORINATION PLANT* DENGAN METODE FMEA DAN FTA

**Hidayat**

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik  
Jl. Sumatera No. 101, GKB, Gresik, Jawa Timur 61121  
E-mail : hidayat@umg.ac.id

### ABSTRAK

Chlorination Plant adalah suatu alat yang dapat mengelektrolisa air laut dan menghasilkan Sodium Hypochlorite (NaOCl). NaOCl selanjutnya diinjeksikan ke intake air pendingin condenser, untuk melumpuhkan mikroorganisme laut agar tidak bersarang dan merusak peralatan. Dari data riwayat kerusakan di PT. PJB UP Gresik, ada 180 gangguan selama tahun 2001 – 2018 yang mengakibatkan *Chlorination Plant* gagal beroperasi. Untuk mencari penyebab dasar dari kegagalan yang dominan, akan dikaji lebih lanjut dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* dilanjutkan metode *Fault Tree Analysis* kemudian diberikan usulan pencegahan untuk meminimalkan terjadinya kegagalan pada Chlorination Plant. Dari hasil penelitian diketahui bahwa *Rectifier SCR Resistansi Rendah*, *Cell Chlorine Bocor* dan *Sea Water Supply Strainer Buntu* adalah penyebab kegagalan yang paling dominan. Untuk menurunkan resiko kegagalan, selanjutnya disarankan untuk mereview standart job prediktif maintenance pada peralatan tersebut, sedangkan kegagalan yang diakibatkan karena umur diusulkan untuk memetakan remaining useful life peralatan.

Kata kunci : *Chlorination Plant* , *Failure Mode and Effect Analysis* , *Fault Tree Analysis*

### ABSTRACT

*Chlorination Plant is a device that can electrolyze seawater and produce Sodium Hypochlorite (NaOCl). NaOCl is then injected into the condenser cooling water intake, to immobilize marine microorganisms from nesting and damaging the equipment. From the damage history data at PT. PJB UP Gresik, there were 180 disturbances during 2001 – 2018 which resulted in the Chlorination Plant failing to operate. To find the underlying cause of the dominant failure, it will be studied further with the Failure Mode and Effect Analysis method followed by the Fault Tree Analysis method and then the proposed prevention is given to minimize the occurrence of failures in the Chlorination Plant. From the research results, it is known that the Low Resistance SCR Rectifier, Leaking Chlorine Cell and Dead Sea Water Supply Strainer are the most dominant causes of failure. To reduce the risk of failure, it is further recommended to review the standard predictive maintenance job on the equipment, while the failure caused by age is proposed to map the remaining useful life of the equipment.*

**Keywords :** *Chlorination Plant* , *Failure Mode and Effect Analysis* , *Fault Tree Analysis*

---

### Jejak Artikel

Upload Artikel : 20 Maret 2022

Revisi : 25 Maret 2022

Publish : 15 April 2022

---

### PENDAHULUAN

PT PJB Unit Pembangkitan Gresik merupakan Anak Perusahaan dari PT PLN (Persero) yang bergerak dalam bidang usaha pembangkitan ketenagalistrikan. Disamping mesin-mesin utama yang berupa Unit Pembangkit Listrik, UP Gresik

juga mempunyai fasilitas-fasilitas penunjang yang berfungsi untuk mendukung realisasi produk maupun operasional perusahaan, antara lain Chlorination Plant. Chlorination Plant adalah suatu alat yang dapat mengelektrolisa air laut dan

menghasilkan Sodium Hypochlorite (NaOCl). NaOCl selanjutnya diinjeksikan ke intake air pendingin. Pada instalasi pembangkit listrik thermal yang memerlukan air laut untuk pendingin condenser, zat NaOCl dipakai untuk melumpuhkan mikroorganisme laut agar tidak bersarang dan merusak peralatan.

Berdasarkan data operasi di PT PJB UP Gresik didapat sebagai berikut :

1. Kualitas Produk *Chlorination Plant* berdasarkan data Laporan Mutu air Lokal PLTGU pada bulan Oktober 2018
2. Tanggal 18 - 30 Agustus 2018 sempat terjadi gangguan berupa kebocoran pada *Cell Chlorine* sehingga menyebabkan *Chlorination Plant 2* tidak beroperasi, dan mulai beroperasi kembali pada tanggal 31 Agustus 2018
3. Berdasarkan data pemakaian air di Rendal Operasi, pada bulan Juni 2018 pemakaian air pengisi (*make up water*) mengalami peningkatan bila dibandingkan dengan pemakaian air pada bulan Juni 2017 (data diambil pada saat pembebanan penuh), dikarenakan terjadi kebocoran kondensor akibat kekurangan *supply* NaOCl. Kekurangan pasokan NaOCl dapat mengganggu pencegahan laju perkebang biakan tumbuhan dan binatang laut baik yang berukuran mikro maupun makro. Gangguan tersebut meliputi :
  - a. Hambatan pada sistem penukar panas ( sistem pendingin ) kondensor Steam Turbin.
  - b. Terjadinya proses korosi dan kerusakan mekanis pada peralatan pendukung di sistem pendingin Steam Turbin.Berdasarkan data dari bidang rendal niaga

## **METODE PENELITIAN**

### **Pengumpulan Data**

apabila terjadi kebocoran atau kerusakan line sistem pendingin yang mengakibatkan kerusakan sistem siklus air laut dan mengakibatkan unit tidak bisa beroperasi 1 jam setara dengan Rp. 40.808.330 kerugian PT PJB UP Gresik apabila tidak beroperasi 1 bulan sebesar Rp 979.399.931 .

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis menggunakan metode *Failure Mode And Effect Analysis* kemudian dilanjutkan dengan *Fault Tree Analysis* untuk mencari penyebab potensial kegagalan *Chlorination Plant*. Hal itu semua dilakukan untuk meminimalisir kurang efektifnya kinerja *Chlorination Plant*.

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang ada, maka rumusan masalah yang diambil dalam penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mode kegagalan, penyebab kegagalan dan efek kegagalan pada *Chlorination Plant* dengan menggunakan metode Failure Mode Effect Analysis.
2. Apakah akar permasalahan dari mode mode kegagalan, yang dapat menyebabkan kegagalan *Chlorination Plant* dengan menggunakan metode Fault Tree Analysis.

Adapun tujuan analisis ini adalah:

1. Mengidentifikasi dan menentukan penyebab kegagalan yang paling dominan pada *Chlorination Plant*.
2. Mencari penyebab dasar dari kegagalan yang dominan.
3. Mengusulkan pencegahan untuk meminimalkan terjadinya kegagalan pada *Chlorination Plant*.

Data operasi *Chlorination Plant*

Berikutnya adalah data Performance Chlorination Plant Unit 2 :

Tanggal	Unit 2					
	FLOW (m <sup>3</sup> /hr)	TEGANGAN ( Volt )	ARUS ( Ampere )	JUMLAH MODUL	Cl <sub>2</sub> ( ppm )	Cl <sub>2</sub> kg/jam
1	86	64	3000	16	608	52
2	0	0	0	0	0	0
3	86	70	3400	16	788	68
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	80	68	3600	16	875	70
7	0	0	0	0	0	0
8	68	68	3400	16	867	59
9	0	0	0	0	0	0
10	90	66	3200	16	865	78
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	85	68	3200	16	810	69
14	0	0	0	0	0	0
15	76	68	3400	15	980	75
16	0	0	0	0	0	0
17	84	68	3600	15	645	54
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0
31	86	68	4000	18	870	74

Tabel 4.2 Data Performance Test Chlorination Plant Februari

Tabel 4.1 mewakili kondisi operasi chlorination plant saat ini, sedangkan pada tabel 4.2 adalah riwayat operasi unit terdahulu. Dari kedua tabel, terlihat bahwa terjadi penurunan performance unit 2 pada bulan Agustus 2018 bila dibandingkan dengan bulan Februari 2010.

**2. Data Riwayat Kerusakan**

Data riwayat kerusakan alat diambil dari work order (WO). WO didapat dari database program MIM'S ELLIPSE yang diterapkan dan digunakan pada seluruh unit PT PJB. Dari periode 2001 - 2018 didapatkan 183 WO yang berkaitan dengan Chlorination Plant

**4.2. Pengolahan Data**

Dari data operasi dan riwayat kerusakan yang telah didapat kemudian diolah dengan metode yang sudah ditentukan, untuk memahami dan mempermudah menganalisis dari sebuah permasalahan.



Gambar 4.1 Fishbone Diagram Rectifier



Gambar 4.3 Fishbone Diagram Sea Water Supply

Gambar 4.2 Fishbone Diagram Cell Chlorine

Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan tabel FMEA sebagai berikut :

Tabel FMEA Kegagalan Operasi Chlorination Plant

No.	Sub Equipment	Category	Failure Mode	Failure Cause	Failure Effect	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN
1	RECTIFIER	Measurement	Multimeter Abnormal	1. Alat ukur tidak terkalibrasi 2. Probe terbalik	Rectifier Bermasalah	2	3	1	6
			Osilloscope Abnormal	1. Alat ukur tidak terkalibrasi 2. Probe terbalik/ Rusak	Rectifier Bermasalah	2	3	1	6
2		Human	Kurang Kompeten	Operator tidak kompeten	Rectifier Bermasalah	3	1	2	6
			Kurang Koordinasi	Operator kurang koordinasi	Rectifier Bermasalah	2	2	2	8
5		Metode	Prosedur mbingung-kan	Prosedur Tidak Up to Date	Rectifier Bermasalah	2	2	2	8
			Prosedur tidak sesuai	Prosedur tidak terperinci secara jelas	Rectifier Bermasalah	2	2	2	8
4		Machine Tool	Card sistim kontrol rusak	Aging , lembab / kotor	Rectifier Bermasalah	5	2	1	10
			Motherboard SCR Rusak	Aging , lembab / kotor	Rectifier Bermasalah	5	2	1	10
			Card proteksi overcurrent rusak	Aging , lembab / kotor	Rectifier Bermasalah	5	2	1	10
			Card proteksi overload rusak	Aging , lembab / kotor	Rectifier Bermasalah	5	2	1	10
5	Material	SCR Resistansi Rendah	Aging	Rectifier Bermasalah	5	3	1	15	
		SCR short/ putus	Pola beban	Rectifier Bermasalah	5	2	1	10	

			Kerusakan kaki kaki SCR	Pola beban	Rectifier Bermasalah	5	2	1	10
6	CELL CHLORINE	Measurement	Sensor flow abnormal	kondisi sensor tidak terkalibrasi	Cell Chlorine Bermasalah	3	2	2	12
			Sensor temperatur abnormal	kondisi sensor tidak terkalibrasi	Cell Chlorine Bermasalah	3	2	2	12
7		Human	Kurang kompeten	kurang kompeten	Cell Chlorine Bermasalah	3	1	2	6
			Kurang koordinasi	kurang kompeten	Cell Chlorine Bermasalah	3	1	2	6
8		Metode	Prosedur membingungkan	Prosedur Tidak Up to Date	Cell Chlorine Bermasalah	2	2	2	8
			Prosedur tidak sesuai	Prosedur tidak terperinci secara jelas	Cell Chlorine Bermasalah	2	2	2	8
9		Machine Tool	Flow sea water cell rendah	pengerakan pada cell generator	Cell Chlorine Bermasalah	3	3	2	18
			Kisi-Kisi cell rapuh / remuk	aging	Cell Chlorine Bermasalah	3	2	2	12
			Cell generator over temperatur	cell kotor	Cell Chlorine Bermasalah	4	3	2	24
10		Material	Cell korsleting	koneksi terbalik , terminal kendor	Cell Chlorine Bermasalah	2	1	1	2
	Cell bocor		flange koneksi kendor / gasket getas	Cell Chlorine Bermasalah	4	4	2	32	
	Konektor pipa antar modul generator bocor		flange koneksi kendor / gasket getas	Cell Chlorine Bermasalah	4	2	1	8	

11	SEA WATER SUPPLY	Measurem ent	Sensor pressure transmitter abnormal	sensor pressure transmitter tidak terkalibrasi	Sea Water Supply Bermasalah	2	3	1	6
			Sensor flow transmitter abnormal	sensor flow transmitter tidak terkalibrasi	Sea Water Supply Bermasalah	2	3	1	6
12		Human	Kurang kompeten	kurang kompeten	Sea Water Supply Bermasalah	3	1	2	6
			Kurang koordinasi	kurang kompeten	Sea Water Supply Bermasalah	3	1	2	6
13		Metode	Prosedur membangun gkan	prosedur tidak Up to Date	Sea Water Supply Bermasalah	2	2	2	8
			Prosedur tidak sesuai	prosedur tidak terperinci secara jelas	Sea Water Supply Bermasalah	2	2	2	8
14		Machine Tool	PLC failure	card rusak	Sea Water Supply Bermasalah	5	2	1	10
			Pompa sea water abnormal	pompa ngempos	Sea Water Supply Bermasalah	5	1	1	5
			Breaker pompa sea water rusak	breaker terbakar	Sea Water Supply Bermasalah	5	1	1	5
			Control valve abnormal	booster crv kotor	Sea Water Supply Bermasalah	4	2	1	8
15		Material	Pompa sea water trip	arus motor melebihi setting proteksi	Sea Water Supply Bermasalah	5	3	1	15
			Gasket line sea water getas	aging	Sea Water Supply Bermasalah	4	2	1	8
			Strainer buntu	banyak sampah	Sea Water Supply Bermasalah	4	4	1	16
			Flange /koneksi line	seal getas / flange pipa retak	Sea Water Supply Bermasalah	4	2	1	8

			sea water bocor						
--	--	--	-----------------	--	--	--	--	--	--

**ANALISIS DAN INTERPRETASI**

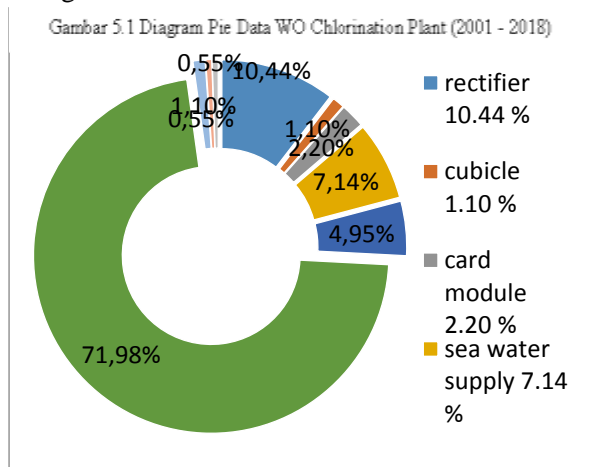
**Hasil Perhitungan RPN**

Hasil pengolahan dengan metode FMEA pada tabel 4.6 diketahui bahwa potensi mode kegagalan tertinggi pada masing-masing *sub equipment* dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 5.1 Risk Priority Number Tertinggi Kegagalan Operasi Chlorination Plant

No.	Sub Equipment	Category	Failure Mode	RPN
1	Rectifier	Material	SCR Resistansi Rendah	15
2	Cell Chlorine	Material	Cell Bocor	32
3	Sea Water Supply	Material	Strainer Buntu	16

Sedangkan bila ditinjau dari tabel 4.3 sebagai dasar pembuatan *pie diagram*, persentase jumlah WO tertinggi yang terdapat dalam MIM'S ELLIPSE untuk periode 2001 – 2018 adalah sebagai berikut :



Dari gambar 5.9 didapatkan persamaan Booleannya :  
 $T = G1 + G2$

**Analisis Menggunakan Metode Fault Tree Analysis**

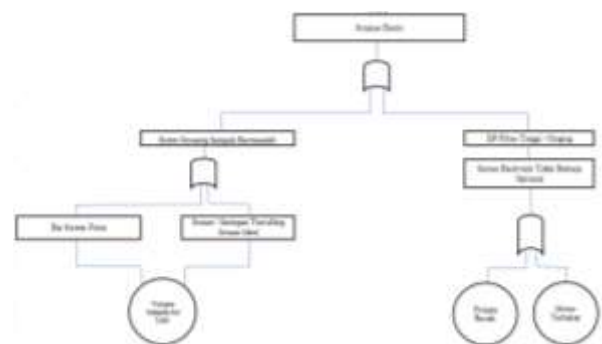
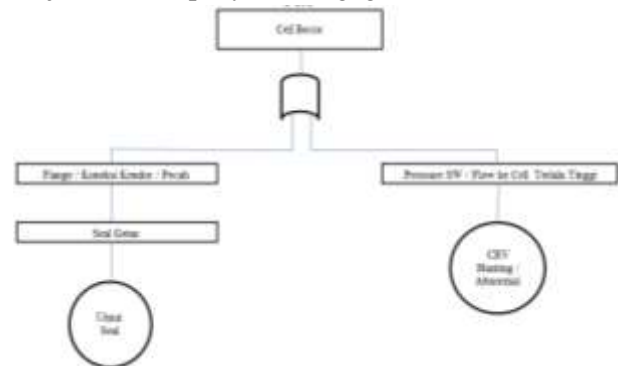
Langkah – langkah FTA :

Langkah 1. Menentukan tujuan yang ingin dicapai dari FTA. Tujuan pembuatan *fault tree analysis*.

Langkah 2. Mendefinisikan *top event*. Setelahnya dimulai membuat struktur dari *fault tree*.

Langkah 3. Mendefinisikan batasan, cakupan dari sistem dengan memperhatikan aturan dari FTA.

Langkah 4. Memulai membuat *fault tree*. Sehingga tersusunlah gerbang logika sebagai wujud analisis penyebab kegagalan.



$G1 = G3 + G4$        $G2 = G5$

$$G3 / G4 = P1 \qquad G5 = P2 + P3$$

- Pompa Rusak
- Motor Terbakar

Dari persamaan di atas disubstitusi menjadi :

$$T = P1 + P2 + P3$$

Maka minimal cut set dari gambar adalah = {P1} , {P2}, {P3}

Diterjemahkan dalam analisis kualitatif yaitu : kegagalan *chlorination plant* yang diakibatkan *sea water supply* terjadi dikarenakan:

- Volume Sampah Air Laut

### 5.3 Usulan Solusi (*Failure Defense Task / FDT*)

*Failure Defense Task (FDT)* adalah sebuah prosedur pencegahan (*preventive*) pemeliharaan untuk menghindari terjadinya suatu kejadian mode kegagalan. Berikut adalah *FDT* dari hasil *FTA* Kegagalan *Chlorination Plant* :

Tabel 5.2 Usulan Solusi Untuk Kegagalan *Chlorination Plant*

No.	Failure Mode	Failure Cause	Failure Defense Task (FDT)
1	Rectifier SCR Resistansi Rendah	Kontak dengan uap air laut	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan pemeliharaan preventive kondisi fan exhaust building plant dan fan exhaust panel cubicle sebulan sekali</li> <li>- Melakukan pengecekan kondisi kebersihan panel dan seal pintu panel cubicle</li> <li>- Mengkondisikan pintu ruang panel rectifier selalu tertutup (normally closed)</li> <li>- Menghindari uap air laut dan uap gas bocoran cell generator</li> </ul>
		Umur SCR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan pengukuran nilai SCR saat chlorine tidak beroperasi dan membuat database atau trending histori hasil pengukuran</li> <li>- Melakukan cleaning preventive permukaan heat sink dan cleaning SCR sebulan sekali</li> <li>- Membuat rekomendasi pembatasan pembebanan SCR apabila ada penurunan nilai hasil pengukuran sambil menunggu proses pengadaan untuk penggantian SCR baru</li> </ul>
2	Cell Chlorine Bocor	Umur Seal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan pengecekan rutin kondisi kekencangan koneksi cell dan kondisi fisik seal</li> <li>- Cleaning rutin cell chlorine 1 minggu sekali</li> <li>- Melakukan penggantian seal koneksi yang sudah getas saat chlorine tidak beroperasi</li> </ul>



		CRV Hunting/ Abnormal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dilakukan loop test open closed setiap 1 bulan sekali , saat chlorine tidak beroperasi</li> <li>- Melakukan greasing /pelumasan pada stem CRV</li> <li>- Membuat rekomendasi penggantian CRV berdasarkan standart life time fabrikasi ±15 tahun</li> </ul>
3	Sea Water Supply Strainer Buntu	Volume sampah air laut	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan pengecekan rutin kondisi barscreen setiap 1 minggu sekali</li> <li>- Melakukan pengecekan rutin kondisi ram traveling screen setiap 1 minggu</li> <li>- Melakukan pengecekan kekencangan baut chain traveling screen setiap 1 minggu</li> <li>- Melakukan penambahan dan pengecekan pelumas gearbox traveling screen setiap 1 bulan sekali</li> </ul>
		Pompa Rusak	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dilakukan pengecekan rutin level pelumas pompa setiap 1 bulan sekali</li> <li>- Melakukan greasing /pelumasan pada bearing pompa 1 bulan sekali</li> <li>- Melakukan pengukuran vibrasi pompa setiap 1 minggu sekali</li> </ul>
		Motor Rusak	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan pengecekan tahanan isolasi /megger motor 1 bulan sekali</li> <li>- Melakukan greasing /pelumasan pada bearing motor 1 bulan sekali</li> <li>- Melakukan pengukuran vibrasi dan temperatur setiap 1 minggu sekali</li> <li>- Melakukan pengecekan kondisi terminal junction box motor 1 bulan sekali</li> </ul>

**KESIMPULAN**

Berdasarkan analisis dan evaluasi yang dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penyebab kegagalan paling dominan pada Chlorination Plant yaitu :
  - Pada *sub equipment Rectifier*, dengan mode kegagalan : SCR resistansi rendah.
  - Pada *sub equipment Cell chlorine*, dengan mode kegagalan : bocor.

- Pada *sub equipment Sea water Supply*, dengan mode kegagalan : strainer buntu.
2. Berdasarkan hasil pengolahan data dengan metode FMEA bersama tim, dilanjutkan dengan analisis FTA, penyebab dasar dari kegagalan yang paling dominan pada Chlorination Plant yaitu:
    - Kontak dengan uap air laut dan umur SCR untuk mode kegagalan SCR resistansi rendah.
    - Umur seal dan CRV Hunting/ abnormal untuk mode kegagalan Cell Chlorine Bocor

DAFTAR PUSTAKA

- Bakhtiar, Arfan; Diana Puspitasari; Diah Ayu Wulandari. 2016, *Analisa Kegagalan Proses Pengolahan Produk Piring Menggunakan Metode Failure Modes, Effect and Analysis dan Fault Tree Analysis di PT. Sango Ceramics Indonesia*, Universitas Diponegoro, Semarang.  
<https://www.neliti.com/id/publications/189524/analisa-kegagalan-proses-pengolahan-produk-piring-menggunakan-metode-failure-mod>  
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ieoj/article/view/11910> , Home > Vol 5, No 2 (2016) > Wulandari
- Gunawan, Indra :. 2017, *Analisa Kegagalan Proses Regenerasi Water Treatment Plant #2 PLTGU Unit Pembangkitan Gresik Dengan Metode FMEA dan FTA*, Universitas Muhammadiyah, Gresik.
- Hidayat, Imam; Swandya Eka Pratiwi. 2013, *Analisa Factor Penyebab Kegagalan Mesin Grinder Pada Proses Produksi Plastik Film di PT. Mutiara Hexagon*, Universitas Mercu Buana, Jakarta.  
SINERGI Vol 17, No 3 (2013) , Publisher : Universitas Mercu Buana  
[http://garuda.ristekdikti.go.id/journal/issue/5726/%20Vol%2017,%20No%203%20\(2013\)?items=10&page=2](http://garuda.ristekdikti.go.id/journal/issue/5726/%20Vol%2017,%20No%203%20(2013)?items=10&page=2)
- Khasanah, S. N., Mahbubah, N., & Hidayat, H. (2021). Deteksi Defect Proses Produksi Sarung Menggunakan ATBM Berbasis Metode Failure Mode and Effect Analysis. *JATI EMAS (Jurnal Aplikasi Teknik dan Pengabdian Masyarakat)*, 5(3), 143-150.
- Lestari, Ning Puji; Siti Syamsiah; Sarto; Wiratni Budhijanto 2016, *Evaluasi Keandalan Reaktor Biogas Skala Rumah tangga di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Metode Analisa Fault Tree*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Purba, H.H. (2008, September 25). *Diagram fishbone dari Ishikawa*. Retrieved from <http://hardipurba.com/2008/09/25/diagram-fishbone-dari-ishikawa.html>
- Surasa, Heru Agus. 2007, *Analisis Penyebab Losses Energi Listrik Akibat Gangguan Jaringan Distribusi Menggunakan Metode Fault Tree Analysis dan Failure Mode and Effect Analysis di PT. PLN (PERSERO) UNIT PELAYANAN JARINGAN SUMBERLAWANG*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Tague, N. R. (2005). *The quality toolbox*. (2th ed.). Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.  
Available from <http://asq.org/quality-press/display-item/index.html?item=H1224>
- Wulandari, Trisya. 2011, *Analisa Kegagalan Sistem Dengan Fault Tree*, Universitas Indonesia, Depok