

IDENTIFIKASI KERUSAKAN KOMPONEN KENDARAAN RODA EMPAT DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS* PADA PT. XYZ

Ilham Akbar Ferdianto¹, Dr. Ir. Heru Prastawa, DE *¹
e-mail : ilhamakbarf@students.undip.ac.id

¹Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Kecelakaan lalu lintas merupakan permasalahan yang cukup serius dimana berdasarkan dari data WHO mengatakan bahwa setiap detiknya terdapat manusia yang meninggal akibat kecelakaan lalu lintas. Hal tersebut juga diperkuat dengan adanya data dari Kementerian Perhubungan Indonesia yang mengatakan angka kecelakaan lalu lintas di Indonesia termasuk tinggi. Peningkatan kasus kecelakaan terjadi pada tahun 2020 yang tadinya dari 100.028 perkara menjadi 103.645 perkara. Penyebab terjadinya kecelakaan ada 3 yang tertinggi, yaitu sekitar 61 % kecelakaan disebabkan oleh faktor manusia, 30 % disebabkan oleh faktor lingkungan, dan 9 % karena faktor kemampuan serta karakter pengemudi. Menanggapi permasalahan tingginya kasus kecelakaan, teknologi otomotif modern saat ini menghadirkan fitur keselamatan yang saat ini komponen utama dan penting dari mobil. Selain itu, perawatan mobil secara rutin juga merupakan salah satu cara untuk mengurangi tingkat kecelakaan lalu lintas. Penelitian ini memiliki berbagai tujuan mulai dari mengidentifikasi kerusakan komponen pada kendaraan roda empat dengan menggunakan metode FMEA, mengidentifikasi perbedaan kerusakan komponen pada PT. XYZ yang berada di Kota Semarang dan Kabupaten Pati, mengidentifikasi akar penyebab terjadinya kerusakan components pada mobil di Kota Semarang dan Kabupaten Pati berdasarkan karakter demografi, mengidentifikasi risiko dan bahaya yang dapat terjadi jika tidak segera melakukan perbaikan components tersebut. Penelitian ini dilakukan pada PT. XYZ yang berkawasan di Semarang Barat, Kota Semarang. Di tempat tersebut, dilakukan identifikasi resiko dan bahaya pada suatu komponen. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisis Efek Kegagalan Mode (FMEA).

Kata kunci: Kecelakaan lalu lintas, Distribusi Frekuensi, FMEA, Diagram Blok Fungsional

Abstract

Traffic accident is a serious problematic, proven by a statement from WHO that said at least one person per second who died because of traffic accident. Ministry of Transportation in Indonesia stated that Indonesia is also categorized as one of the highest traffic accident rate in the world. Based on the data from Statistic Organization in Indonesia (BPS), the elevating case in 2020 is pretty significant (from 100.028 cases into 103.645 cases). Top 3 causes of Traffic accident is 61 % of human factors, 30 % of environment factors, and 9 % of driver skills. In order to response, automotive industry start to create a technology which focusing on passenger's safety. Besides, a periodical service is also required to identify some engine's trouble. The aim of this research is to make an identification of broken components in PT. XYZ that located in Semarang and Pati, analyze the root cause of the damaging components, and elaborate the risk and hazardous for not doing an early service toward the broken components. This research is hold in PT. XYZ in Semarang and Pati using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) methods.

Keywords: Traffic Accident, Frequency's distribution, FMEA, Functional Bloc Diagram

1. Pendahuluan

Kecelakaan lalu lintas merupakan permasalahan dunia yang belum terselesaikan. Berdasarkan data yang dipaparkan oleh WHO setiap detiknya terdapat 1 orang tewas karena kecelakaan bahkan kasus kecelakaan selalu meningkat sebesar 100 ribu setiap tiga tahun. Dalam laporan data terakhir pada tahun 2013, 1.25 juta orang tewas akibat kecelakaan lalu lintas di seluruh dunia (WHO, 2018). Menanggapi permasalahan tersebut maka didapatkan beberapa alternatif untuk menurunkan tingkat kecelakaan di lalu lintas, seperti pembatasan kecepatan maksimal, larangan mengemudi dengan keadaan mabuk, dan penggunaan sabuk pengaman. Selain itu, pembangunan infrastruktur untuk meningkatkan keamanan lalu lintas pada beberapa negara juga dilakukan seperti membangun jalur sepeda, trotoar, dan standar kendaraan yang layak. Namun, banyak negara berkembang yang belum berfokus dalam meningkatkan keamanan lalu lintas. Di Afrika, angka kematian lalu lintas cukup tinggi yaitu 26,6 kematian sedangkan di Eropa hanya mencatatkan 9,3 korban jiwa akibat kecelakaan lalu lintas. Untuk wilayah Amerika pada tahun 2009, sekitar 30.000 kehilangan nyawa akibat kecelakaan lalu lintas. Bahkan kecelakaan lalu lintas merupakan pembunuh nomor satu rentang usia dibawah 34 tahun di Amerika Serikat. Ditambah lagi kecelakaan juga menyebabkan kerugian ekonomi karena kecelakaan lalu lintas berpengaruh terhadap produktivitas pekerja, biaya medis, biaya asuransi, dan lain-lain, dapat diperkirakan lebih dari \$230 miliar (Ervan Hardoko, 2018).

Mengacu pada data Kepolisian di Indonesia, setiap jam terdapat 3 korban jiwa akibat kecelakaan lalu lintas. Terdapat beberapa penyebab terjadinya kecelakaan, seperti sekitar 9 % karena faktor kemampuan serta karakter pengemudi, 30 % disebabkan oleh faktor lingkungan, dan 61 % kecelakaan disebabkan oleh faktor manusia. Kementerian Perhubungan Indonesia mengatakan angka kecelakaan lalu lintas di Indonesia termasuk tinggi. Pada tahun 2020, terdapat kenaikan dari 100.028 perkara menjadi 103.645 perkara. Pada kasus tersebut, menimbulkan korban jiwa sebesar 25.266 korban jiwa dengan kerugian materi mencapai Rp 246 miliar. Sementara pada tahun 2019, yang memiliki luka berat sebesar 10.553 orang dan korban ringan sebesar 117.913 orang. Sedangkan di Provinsi Jawa Tengah, pada tahun 2018 memiliki angka korban jiwa dalam kecelakaan lalu lintas sebanyak 4.115 jiwa, tahun 2019 memakan 4.141 korban jiwa, dan pada tahun 2020 memakan 3.508 korban jiwa. Memang, dapat diketahui pada tahun 2020 mengalami penurunan korban jiwa tetapi dapat diketahui bahwa Covid-19 bermula pada tahun tersebut yang dimana berkurangnya jumlah kendaraan di jalan raya (Badan Pusat Statistik, 2021).

Menanggapi permasalahan tingginya kasus kecelakaan, teknologi otomotif modern saat ini menghadirkan fitur keselamatan yang saat ini komponen utama dan penting dari mobil. Saat ini seluruh mobil mulai dari yang harganya terjangkau sampai yang mahal sudah memiliki fitur ini. Selain itu, pentingnya merawat mobil merupakan salah satu cara untuk menurunkan resiko kecelakaan lalu lintas salah satunya adalah dengan melakukan service rutin sehingga dapat mengetahui kerusakan pada mobil agar kondisi kendaraan selalu aman untuk dikendarai. Kerusakan yang terjadi akibat kurangnya perawatan mobil juga menimbulkan risiko kecelakaan seperti komponen rem, kopling, oli mesin, overheating pada mesin, dan malfunction kelistrikan (Angel, 2022).

Salah satu perusahaan yang sangat mempertimbangkan teknologi untuk faktor keselamatan yaitu Perusahaan XYZ. Perusahaan XYZ hadir di Indonesia pertama kali pada tahun 1960. Sebagai produsen kendaraan yang melayani konsumen secara global, perusahaan XYZ juga bertanggungjawab untuk memastikan produk yang digunakan konsumennya selalu berada dalam kondisi prima dan aman sehingga berdampak pada penurunan jumlah kecelakaan lalu lintas. Salah satu lokasi perusahaan XYZ, berada daerah Semarang Barat. Perusahaan tersebut, melayani dalam bidang sales, service, dan sparepart yang disebut triple s (3S). Yang artinya, menyediakan jasa dalam penjualan mobil baru, perbaikan, dan penyediaan sparepart. Dari data service record yang diketahui dari perusahaan XYZ, penulis ingin mengetahui akar penyebab dari terjadinya kerusakan pada komponen atau teknologi yang berkaitan dengan keselamatan pada kendaraan roda empat di Kota Semarang dengan menggunakan metode FMEA yang diharapkan untuk penurunan tingkat resiko kecelakaan lalu lintas. Pada penelitian ini memiliki 4 tujuan yaitu untuk mengidentifikasi kerusakan komponen pada kendaraan roda empat dengan menggunakan metode FMEA, mengidentifikasi perbedaan kerusakan components pada Perusahaan XYZ yang berada di Kota Semarang dan Kabupaten Pati, mengidentifikasi akar penyebab terjadinya kerusakan components pada mobil di Kota Semarang dan Kabupaten Pati berdasarkan karakter demografi, mengidentifikasi risiko dan bahaya yang dapat terjadi jika tidak segera melakukan perbaikan components tersebut.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Sejarah PT. XYZ di Indonesia

Pertama kali PT. XYZ masuk ke Indonesia pada tahun 1960 dengan meluncurkan kendaraan roda empat yang bernama T360. Model ini langsung memikat minat orang-orang untuk menggunakannya. Pada tahun 1972, PT. XYZ meluncurkan mobil dengan versi yang unik yang hanya memiliki dua pintu. Kemudian meluncurkan

kembali mobil tersebut dengan versi tiga pintu berjenis hatchback pada tahun yang sama. Perkembangan PT. XYZ pun semakin berkembang pesat sehingga mengancam pasar otomotif bagi perusahaan mobil lainnya. Hingga mendirikan PT. Imora Motor pada tahun 1974 dan berganti nama menjadi XYZ yang merupakan agen tunggal sejak tahun 1999 hingga sekarang. Selain itu, PT. XYZ mendirikan pabrik yang berlokasi di Karawang, Jawa Barat pada tahun 2003. Bahkan PT. XYZ selalu meluncurkan produk mobil terbaru di setiap tahun yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat di Indonesia (XYZ Ciledug, 2020).

2.2. Sejarah Perkembangan Mobil

Diawali pada tahun 1769 Nicolas J. Cugnot yang merupakan ilmuwan dari Perancis, menciptakan kendaraan 3 roda yang digerakkan oleh mesin uap dengan ukuran cukup besar. Kendaraan tersebut merupakan mobil ciptaan pertama didunia yang bertujuan untuk alat angkut meriam dan berpartisipasi dalam perang. Mobil tersebut masih belum sempurna sehingga menimbulkan beberapa kecelakaan karena prinsipnya sangat sederhana. Tahun 1784, William Murdock bekerja sama dengan James Watt menciptakan kendaraan sejenis dengan tenaga uap dan diikuti oleh beberapa ilmuwan lain seperti Richard Trevithick dan Sir G. Gurnay. Tahun 1830, terciptalah suatu mobil yang mampu melaju dengan kecepatan 20 km/jam (Rizky, 2020).

Pada pertengahan abad ke 19, Ilmuwan mulai merancang konsep kendaraan yang memanfaatkan bahan bakar lain. Tahun 1860, Joseph E. Lenoir berhasil menciptakan mesin dengan bahan bakar yang berasal dari pencampuran antara batu bara, gas dan juga udara atmosfer. Tahun 1886, Carl mengembangkan mobil dengan bahan bakar bensin bersamaan dengan Gottlieb Daimler dan Wilhelm Maybach dari Stuttgart. Tahun 1902, Oldsmobil memperkenalkan prinsip *Mass Production* yang dilakukan dalam produksi mobil sehingga harganya dapat lebih. Tahun 1910 pengembangan besar-besaran oleh Henry Ford. Mulai ada peningkatan kecepatan mobil dimana mobil mampu mencapai kecepatan 15-20 km/jam. Pada dekade 1920, mobil sudah mulai menjadi bagian dari kehidupan manusia. Pada dekade ini, mulai diperkenalkan radio mobil. Sehingga pemilik mobil tidak lagi merasa kesepian ketika berkendara seorang diri (Rizky, 2020).

Pada dekade 1940, Industri otomotif terkena dampak dari kondisi peperangan dunia sehingga fokus penciptaan terpusat pada kendaraan di medan perang. Salah satu penemuan paling penting di dekade ini adalah kendaraan dengan penggerak empat roda karena kendaraan ini dapat dipakai saat kondisi tanah bergelombang khususnya saat di medan perang. Kendaraan ini biasanya disebut dengan nama Jeep.

Kemudian tahun 1950-an perang dunia telah selesai dan membuat industri otomotif dapat melakukan pengembangan teknologi. Januari 1951, muncul mobil dengan menggunakan mesin injeksi dimana tipe pertama yang menggunakan prinsip ini adalah *Gutbrod Superior* dan *Goliath GP 700 E sports coupe* yang disambut secara antusias oleh masyarakat. Awal tahun 1956 mulai adanya pembuatan prototipe *catalytic converter* yang mana berdasar pada kepedulian masyarakat terhadap lingkungan. Seiring dengan pertumbuhan jumlah kendaraan maka peningkatan jumlah karbondioksida juga tak terhindarkan maka muncul teknologi tersebut. Teknologi ini dirancang Eugene Houdry yang pada saat itu masih uji coba pada mesin dengan bahan bakar bensin.

Tahun 1960-an, mobil dengan desain yang semakin *compact* dan fungsional seperti VW Beetle yang merupakan inspirasi dari seri Focus, Corolla, dan Civic. Mobil-mobil tersebut merupakan mobil pionir yang memiliki desain simpel dan ukurannya juga tidak besar. Tahun 1974, mulai adanya teknologi *airbag* dan sabuk pengaman yang mana muncul karena adanya pertimbangan mengenai keamanan penumpang. Fitur keamanan ini juga selaras dengan perkembangan mobil yang mampu mencapai kecepatan karena kapasitas mesin kendaraan yang semakin besar. Terbukti pada tahun 1970, kendaraan-kendaraan yang memiliki mesin khusus dapat melaju hingga 1.000 km/jam. Kendaraan tersebut bernama "Blue Flame" dan merupakan kendaraan tercepat di bumi (Rizky, 2020).

Tahun 1980-an sampai 1990-an, Jepang mulai bangkit. Mobil buatan Jepang yang terkenal seperti Honda dan Toyota juga telah menembus pasar Amerika Serikat dengan teknologinya yang mampu bersaing. Tahun 1997 ketika pertama kali launching Toyota Prius, mobil ini merupakan mobil *hybrid* pertama di dunia dan menjadi inspirasi dari mobil di masa depan. Tahun 2000-an, pengembangan teknologi yang bertujuan untuk menciptakan kendaraan yang lebih ramah lingkungan dan efisien pun mulai muncul. Hal ini terbukti saat Peugeot mampu membuat pemerintah dan produsen otomotif di Eropa memakai filter pada mesin yang akhirnya ditetapkan sebagai standar mobil di Eropa. Tahun 2007 Honda mulai memproduksi mobil berbahan bakar hidrogen yang ramah lingkungan yang diberi nama FCX Clarity. Pada dekade 2010 dan 2020, perkembangan mobil bermesin ramah lingkungan terus dikembangkan. Dari mobil berteknologi *hybrid* (bahan bakar bensin dan listrik), hingga ke tahap mobil bertenaga listrik. Salah satu perusahaan mobil listrik yang fenomenal adalah Tesla.

2.3. Fitur Keselamatan Pada Mobil

Beberapa ini merupakan fitur-fitur keselamatan pada mobil (Andaru, 2022) :

1. *Anti-Lock Braking System* (ABS)

Kegunaan Fitur ABS adalah memungkinkan kita untuk mengerem secara mendadak, selain itu ketika kecepatan tinggi mobil menjadi lebih mudah dikendalikan.

2. *Electronic Stability Control (ESC)*

Electronic Stability Control berguna untuk pencegahan hilangnya kontrol dari pengemudi. Saat mobil mulai kehilangan kontrol, ESC membantu secara otomatis untuk mengerem dan meletakkan segala sesuatu kembali ke jalur.

3. *Automatic Emergency Braking (AEB)*

Sistem AEB memiliki kegunaan untuk mendeteksi kecepatan dan jarak benda yang ada pada jalur kendaraan dengan menggunakan bantuan kamera dan sensor.

4. *Blind Spot Monitoring (BSM)*

Sistem BSM bekerja untuk mendeteksi benda-benda di sekitar mobil dengan sensor-sensor yang berada disekitar kendaraan. Apabila terdapat kendaraan mendekati salah satu *blind spot* mobil maka sistem peringatan menyala. Sistem BSM juga dapat memberikan navigasi perubahan jalur.

5. *Seat Belt*

Seat Belt yang lebih modern dan lebih nyaman dipakai, mampu mengurangi risiko cedera leher.

6. *Airbag*

Airbag akan keluar dan mengembang setelah tabrakan yang mana muncul dari dari setir atau roda kemudi atau dasbor sehingga kepala, leher, dan dada aman dari tabrakan. *Airbag* akan kempes perlahan setelah kepala menyentuh airbag sehingga memungkinkan pengemudi dan penumpang keluar dari mobil.

7. *Daytime Running Lights (DRLS)*

DRL merupakan sebuah teknologi yang berfungsi untuk meningkatkan visibility atau jarak pandang mata pengemudi.

2.4. Service Rutin pada Mobil

Bagi pemilik kendaraan, service mobil berkala menjadi suatu kewajiban dan sudah tercantum pada buku manual. Sebelum melakukan service berkala pada mobil, penting untuk mengetahui komponen yang harus diperhatikan dan diperbaiki jika ada kerusakan. Berikut adalah komponen-komponen yang perlu diperhatikan saat melakukan service rutin pada mobil (Rizky, 2021):

- a. Oli
- b. Ban
- c. Kampas Rem
- d. Filter Angin
- e. Kampas Kopling

Apabila tidak dilakukan service rutin maka akan berdampak pada keamanan pengendara, penurunan performa mobil dengan adanya pembakaran yang tidak optimal, mengurangi umur mobil, kemudian adanya penurunan harga jual mobil, dan meningkatnya biaya perbaikan mobil

2.5. Distribusi Frekuensi

Perolehan data dari suatu penelitian dan masih berupa data acak yang nantinya akan diubah menjadi data kelompok. Data yang telah disusun berkelompok disebut distribusi frekuensi atau tabel frekuensi. Distribusi frekuensi merupakan suatu susunan data berdasarkan suatu kelas interval atau kategori tertentu (Hasan, 2001). Jenis distribusi frekuensi ada 3 yaitu distribusi frekuensi biasa, distribusi frekuensi relatif dan distribusi frekuensi kumulatif.

- a. Menyusun dan mengurutkan data.
- b. Menentukan jangkauan data yang didapatkan dengan mengurangkan data terbesar dengan data terkecil.
- c. Menentukan banyaknya kelas (k) dengan rumus sturges yaitu $k = 1 + 3.3 \log n$; (Keterangan: k = banyaknya kelas, n = banyaknya data).
- d. Menentukan panjang interval kelas dengan rumus, panjang interval kelas (i) = Jumlah Kelas (k)/ Jangkauan (R).
- e. Menentukan batas bawah kelas pertama. Tepi bawah kelas pertama biasanya dipilih dari data terkecil atau data yang berasal dari pelebaran jangkauan (data yang lebih kecil dari data data terkecil) dan selisihnya harus kurang dari panjang interval kelasnya.
- f. Menulis frekuensi kelas dalam kolom turus atau tally (sistem turus) sesuai banyaknya data.

2.6. Diagram Blok Fungsional (DBF)

Diagram Blok Fungsional (DBF) merupakan bentuk gambar dari fungsi yang dilakukan suatu komponen dan aliran sinyalnya. Diagram blok adalah suatu interkoneksi dari beberapa blok fungsional dan membentuk sistem loop tertutup maupun loop terbuka. Dalam suatu diagram blok, semua variabel dalam sistem suatu komponen dihubungkan dengan blok fungsional. Diagram blok berisikan informasi perilaku dari sebuah variabel sistem namun tidak berisikan informasi mengenai konstruksi fisik sehingga beberapa sistem berbeda dan tidak mempunyai relasi satu sama lain dapat diklasifikasikan kedalam diagram blok yang sama. Penggambaran sistem dengan diagram blok yang berbeda tergantung pada titik pandang analisis. Diagram blok dari suatu sistem pada umumnya terdiri dari blok fungsional, titik penjumlahan, dan titik cabang. Diagram blok biasanya merupakan gabungan blok-blok fungsional setiap komponen sistem dengan memperhatikan aliran sinyalnya.

2.7. Analisis Efek Mode Kegagalan (FMEA)

Analisis Efek Mode Kegagalan merupakan teknik untuk mengidentifikasi probabilitas kegagalan pada proses, fungsi dan design produk sehingga diketahui cara untuk meningkatkan mutu dan reliabilitas

produk. FMEA dikenalkan mulai tahun 1940-an oleh militer AS, yang merupakan suatu pendekatan untuk mengidentifikasi keseluruhan kemungkinan kegagalan dalam desain, proses manufaktur atau perakitan, atau produk atau layanan. Kegagalan adalah setiap kesalahan atau cacat, terutama yang berpengaruh terhadap kepuasan pelanggan, dan dapat bersifat potensial atau aktual. Efek adalah cara kegagalan ini dapat menyebabkan pemborosan, cacat, atau hasil yang berbahaya bagi pelanggan. "Analisis efek" merupakan cara untuk mempelajari konsekuensi dari kegagalan tersebut. Kegagalan diprioritaskan menurut derajat keseriusan konsekuensinya, frekuensi terjadi, dan kemudahan dalam mendeteksi. FMEA memiliki 2 jenis, yaitu Desain FMEA (DFMEA) dan Proses FMEA (PFMEA).

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di perusahaan XYZ yang berkawasan di Semarang Barat, Kota Semarang. Di tempat tersebut, dilakukan identifikasi risiko dan bahaya pada suatu komponen untuk dilakukan identifikasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah FMEA. Penelitian ini dilakukan sejak Februari 2022

Langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data primer dan sekunder dimana data primernya berupa hasil observasi lapangan dan wawancara dengan General Repair PT. XYZ yang bertujuan untuk mendapatkan data history service.. Untuk data sekundernya menggunakan data jumlah kecelakaan lalu lintas dari BPS Jawa tengah tahun 2018-2020. Kemudian data diolah dengan langkah awal adalah pengidentifikasian kerusakan kendaraan roda empat dengan metode Distribusi Frekuensi, kemudian mengidentifikasi mekanisme dasar komponen yang memiliki frekuensi kerusakan tertinggi, dengan menggunakan Diagram Blok Fungsional. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dengan metode Analisis Efek Mode Kegagalan (FMEA) dari komponen yang memiliki frekuensi kerusakan tertinggi. Langkah akhirnya adalah mengidentifikasi perbedaan kerusakan komponen pada PT. XYZ berdasarkan demografi Kota Semarang dan Kabupaten Pati.

4. Pengumpulan dan Pengolahan Data

4.1. Data Primer

Data primer yang dikumpulkan oleh penulis adalah data history service oleh pihak PT. XYZ yang berlokasi di Semarang. Data historis mengacu pada pengumpulan data yang melibatkan peristiwa dan keadaan masa lalu dari berbagai dokumen (seperti, antara lain, posting media sosial, korespondensi email, catatan harian dan persediaan). Data tersebut biasanya dianalisis dan disintesis untuk membantu bisnis membuat keputusan mengenai operasi sehari-hari, memecahkan masalah dan memprediksi tren di masa

depan. Ini dapat membantu bisnis mengubah operasi sehari-hari mereka dan melakukan penyesuaian berdasarkan evaluasi *real-time* dan kegiatan pemantauan untuk meningkatkan kepuasan pelanggan dan memenuhi kebutuhan mereka. Data historis juga melengkapi penelitian pasar jangka panjang yang lebih banyak dan kegiatan analisis bisnis yang bertujuan untuk melihat gambaran yang lebih besar, sementara juga mengurangi biaya dan proses analisis yang tidak efisien (Telkom, 2021).

4.2. Data Sekunder

Data sekunder adalah jenis data yang dikumpulkan melalui sumber primer oleh penelitian sebelumnya dan tersedia bagi peneliti sehingga penulis tidak mengumpulkan data langsung dari objek yang diteliti. Contoh jenis data sekunder seperti data sensus penduduk, data penyakit dan data yang dikeluarkan oleh pemerintah (Jevi, 2021).

Peneliti melakukan pengumpulan data sekunder yaitu data kecelakaan lalu lintas Badan Pusat Statistik di Provinsi Jawa Tengah pada tahun 2018 yang dapat dilihat pada tabel 4.2. Dari hasil pengumpulan data sekunder pada tabel 4.2, peneliti melakukan penelitian pada PT. XYZ yang berlokasi di Kota Semarang. Dengan alasan, Kota Semarang salah satu kota yang mendapati angka kecelakaan korban jiwa salah satu yang tertinggi dibandingkan dengan kota lain pada tahun 2018 hingga 2020.

Tabel 1 Jumlah Korban Kecelakaan Lalu Lintas di Wilayah Polda Jawa Tengah

Kabupaten / Kota	Jumlah Korban Kecelakaan Lalu Lintas di Wilayah Polda Jawa Tengah Tahun (Jiwa)								
	Meninggal			Luka Berat			Luka Ringan		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
PROVINSI JAWA TENGAH	4 115	4 141	3 508	97	96	48	21 967	30 555	24 495
Kota Tegal	42	23	17	0	-	0	251	353	254
Kota Surakarta	61	65	50	1	-	0	883	1 150	852
Kota Semarang	189	193	121	5	2	1	1 086	1 434	539
Kota Salatiga	31	39	33	4	8	0	103	294	264
Kota Pekalongan	32	35	25	1	-	2	84	115	117
Kota Magelang	33	27	25	0	-	0	185	309	227
Kabupaten Wonosobo	58	45	53	16	25	2	239	311	319
Kabupaten Wonogiri	97	86	65	1	-	0	673	955	754
Kabupaten Temanggung	60	86	59	1	1	0	370	600	350
Kabupaten Tegal	157	161	134	0	-	0	516	636	506
Kabupaten Sukoharjo	103	107	80	0	3	1	650	1 486	1 186
Kabupaten Sragen	136	141	126	0	-	0	1 249	1 564	909
Kabupaten Semarang	158	130	121	3	1	1	493	665	539
Kabupaten Rembang	132	113	93	0	-	0	475	585	397
Kabupaten Purworejo	107	119	87	1	3	0	511	644	561
Kabupaten Purbalingga	104	77	75	1	-	0	633	715	497
Kabupaten Pemalang	136	138	100	2	-	1	348	467	507
Kabupaten Pekalongan	64	64	53	8	7	1	257	276	254
Kabupaten Pati	186	208	153	0	-	1	1 342	1 754	1 446
Kabupaten Magelang	170	169	135	1	5	2	1 024	1 440	941
Kabupaten Kudus	114	98	109	0	1	0	780	1 072	890
Kabupaten Klaten	164	161	142	10	5	7	1 448	2 308	1 712
Kabupaten Kendal	105	125	114	1	2	2	270	330	426
Kabupaten Kebumen	129	161	121	0	-	0	468	838	732
Kabupaten Karanganyar	119	124	99	3	2	4	951	1 687	1 208
Kabupaten Jepara	103	116	97	4	-	0	317	626	363
Kabupaten Grobogan	163	145	123	0	-	2	533	773	577
Kabupaten Demak	141	161	154	4	-	5	604	721	582
Kabupaten Cilacap	208	189	172	2	-	1	1 147	1 263	1 035
Kabupaten Brebes	211	182	171	6	3	1	753	1 006	972
Kabupaten Boyolali	112	98	91	2	1	1	843	1 245	1 087
Kabupaten Blora	65	83	70	11	2	6	547	560	357
Kabupaten Batang	109	155	118	5	13	3	418	655	453
Kabupaten Banyumas	220	224	217	1	7	1	1 030	1 149	1 765
Kabupaten Banjarnegara	96	93	75	3	5	4	486	569	528

5. Analisis dan Pembahasan

5.1. Distribusi Frekuensi PT. XYZ Kota Semarang dan Kabupaten Pati

Dalam penelitian ini, peneliti ingin membuktikan perbedaan kerusakan komponen yang terjadi dari kedua wilayah PT. XYZ di Kota Semarang dan Kabupaten Pati. Setelah melakukan pengambilan data history service di PT. XYZ yang berlokasi di Kabupaten Pati, peneliti melakukan pengolahan data dengan Distribusi Frekuensi. Berdasarkan perhitungan distribusi frekuensi dari data *history service* didapati 4 jenis mobil yang berbeda dengan frekuensi kerusakan. Pertama adalah jenis mobil hatchback. Kedua adalah jenis mobil sedan. Ketiga adalah jenis mobil SUV (Sport Utility Vehicle). Keempat adalah jenis mobil MPV (Multi Purpose Vehicle). Untuk rincian distribusi frekuensi PT. XYZ Kota Semarang dapat dilihat pada tabel 2. sedangkan untuk rincian distribusi frekuensi PT. XYZ Kota Pati ada pada tabel 3.

Tabel 2 Distribusi Frekuensi Data PT. XYZ Kota Semarang

Jenis Cacat	Frekuensi
Hatchback	4550
Rem	1824
Kopling	46
Shock Breaker	23
Airbag	0
Mesin Overheat	0
Lampu Rem & Fog Lamp	36
As Balk	0
Lower Arm	50
Spoooring	120
Sedan	349
Rem	75
Kopling	11
Shock Breaker	7
Airbag	2
Mesin Overheat	0
Lampu Rem & Fog Lamp	0
As Balk	7
Lower Arm	35
Spoooring	37
SUV	1100
Rem	252
Kopling	0
Shock Breaker	0
Airbag	0
Mesin Overheat	4
Lampu Rem & Fog Lamp	44
As Balk	0
Lower Arm	0
Spoooring	16
MPV	3315
Rem	400
Kopling	88
Shock Breaker	28
Airbag	0
Mesin Overheat	0
Lampu Rem & Fog Lamp	151
As Balk	0
Lower Arm	7
Spoooring	22
Total	3285

Tabel 3 Distribusi Frekuensi PT. XYZ Kabupaten Pati

Jenis Cacat	Frekuensi
Hatchback	1679
Rem	269
Kopling	110
Shock Breaker	0
Airbag	0
Mesin Overheat	0
Lampu Rem & Fog Lamp	51
As Balk	0
Lower Arm	14
Spoooring	77
Sedan	108
Rem	12
Kopling	5
Shock Breaker	0
Airbag	0
Mesin Overheat	0
Lampu Rem & Fog Lamp	1
As Balk	0
Lower Arm	0
Spoooring	23
SUV	534
Rem	15
Kopling	15
Shock Breaker	0
Airbag	0
Mesin Overheat	0
Lampu Rem & Fog Lamp	2
As Balk	0
Lower Arm	0
Spoooring	55
MPV	1817
Rem	418
Kopling	121
Shock Breaker	34
Airbag	3
Mesin Overheat	0
Lampu Rem & Fog Lamp	188
As Balk	1
Lower Arm	82
Spoooring	172
Total	1668

5.2. Komponen Pengereman pada Mobil

Dapat kita ketahui pada tabel 2 bahwa tingkat kerusakan komponen pada mobil tertinggi selama akhir periode 2020 pada PT. XYZ adalah pada bagian pengereman dari semua jenis mobil yang ada. Sesuai dengan tujuan penulis, maka dari itu pengolahan data akan dilakukan berfokus kepada komponen rem tersebut. Tapi sebelum itu kita perlu mengetahui mekanisme dasar pada rem beserta komponen tersebut sehingga penulis dapat menyampaikan informasi yang

lebih mudah untuk dimengerti, yang dapat dilihat pada gambar 1.

Komponen pertama adalah pedal rem. Pedal rem merupakan komponen dalam sistem pengereman yang digunakan oleh pengemudi untuk melakukan pengereman. Tinggi pedal harus sesuai dengan ketinggian yang ditetapkan. Sebaliknya, jika posisi pedal rem terlalu rendah, jarak cadangan akan berkurang dan gaya pengereman tidak mencukupi (Auto2000, 2022).

Selanjutnya adalah silinder utama. Fungsi master silinder mobil sendiri adalah untuk menaikkan tekanan dari pedal ketika diinjak, ke piston pada kaliper atau silinder di setiap roda mobil. Perubahan tekanan ke gaya hidrolis ini terjadi demikian cepat dan efisien sehingga pengereman bisa dilakukan dengan efektif (Cesar, 2022).

Katup pada sistem pengereman. Sistem rem bekerja pada keempat roda dikendaraan, namun tekanan yang terjadi pada semua silinder roda tidaklah sama besar. Tekanan yang diterima oleh setiap rem berbeda-beda, ini berfungsi untuk mencegah mobil oleng karena pembagian tekanan yang tidak sama sedangkan beban kendaraan tidak rata serta untuk mengatur tekanan roda belakang. Ini berlaku untuk kendaraan yang mempunyai beban lebih berat pada bagian depan kendaraan (letak mesin di depan). Jika tidak menggunakan katup pengimbang (*without proportioning valve*), tekanan pada silinder roda belakang sangat tinggi. Hal ini mengkhawatirkan roda menjadi mengunci. Dengan menggunakan katup pengimbang (*with proportioning valve*), tekanan rem belakang hampir mendekati tekanan yang ideal (Juliandi, 2018).

Sub-komponen selanjutnya adalah piston pada sistem rem. Komponen ini membantu kampas rem agar dapat bekerja dengan baik saat melakukan pengereman. Piston rem memiliki bentuk silinder. Ketika pengemudi menginjak pedal rem, hal tersebut yang mendorong piston rem untuk bekerja dengan menekan kampas rem. Bersamaan dengan pedal rem yang diinjak, tekanan yang timbul dari piston rem akan semakin kuat

Teknologi hidrolis pada sistem rem. Rem hidrolis mengacu pada sistem pengereman yang memanfaatkan tekanan minyak tuas rem agar piston terdorong dan dapat bekerja dengan baik. Sistem pengereman yang satu ini menggunakan material fluida yang dapat menghentikan mobil, baik secara perlahan ataupun tiba-tiba tergantung pada tekanan yang diberikan pengemudi ke pedal rem. Fungsi utama dari rem hidrolis yaitu untuk menjaga kecepatan laju mobil pengemudi. Ketika keadaan sedang macet, maka rem berguna untuk menahan mobil agar tetap berada pada posisi supaya tidak mundur kebelakang atau maju kedepan (Auto2000, 2022).

Solenoid valve merupakan salah satu komponen ABS (*Anti-lock Brake System*) yang memiliki fungsi untuk mengatur fluida yang mengalir ke silinder roda

dengan membuka dan menutup saluran. Pada sistem rem biasa, fluida akan diteruskan langsung ke master silinder menuju silinder roda. Namun pada rem ABS, fluida akan diteruskan ke solenoid valve assembly untuk memanipulasi aliran fluida yang mengalir ke silinder roda (Sekolahkami, 2019).

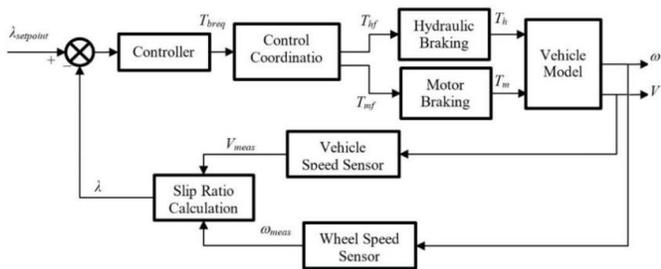
Selanjutnya adalah komputer pada rem atau ABS control module. Fungsi ABS control module adalah sebagai perangkat “processing unit” untuk mengatur kapan waktunya, berapa lama interval katup terbuka dan tertutup. Selain itu, ABS control module ini juga mengatur kapan ABS pump harus bekerja. ABS control module ini mirip ECM pada sistem EFI mesin, bedanya ABS control module ini hanya mengatur pada area sistem pengereman. Jadi ABS control module akan menerima info dari wheel speed sensor, lalu melakukan perhitungan dan hasilnya akan digunakan untuk memberi perintah ke aktuatur dalam hal ini valve dan ABS pump (Amrie, 2018).

Silinder roda tersebut merupakan salah satu komponen pada rem tromol hidrolis yang merupakan jenis rem yang banyak digunakan pada mobil di masa sekarang. Rem tromol memiliki sistem yang menyalurkan tenaga dari pedal rem menggunakan tekanan hidrolis. Agar sistem ini bekerja dengan baik, diperlukan komponen yang sangat penting, yaitu silinder roda. Letak silinder roda sendiri berada di atas roda dan menempel pada backing plate. Fungsi dari silinder roda adalah untuk menyalurkan tekanan hidrolis dari master silinder ke mekanisme yang ada pada rem tromol. Selain itu, silinder roda berfungsi untuk mengubah tekanan hidrolis menjadi mekanis sehingga kampas rem dapat bergerak. Ketika kampas rem bergerak, gesekan dan panas akan tercipta dan kemudian hal tersebut akan memperlambat kecepatan kendaraan (Auto2000, 2022).

Wheel speed sensor yang berfungsi untuk mendeteksi seberapa cepat laju dari masing-masing roda. *Wheel Speed sensor* terdapat pada masing-masing roda mobil dan terhubung oleh bagian piston rem. Untuk cara kerjanya, sensor kecepatan memanfaatkan induksi elektromagnet roda bergigi dan pick-up coil. Sensor kecepatan juga dapat mendeteksi adanya roda yang selip atau terkunci (Luthfi, 2018).

5.3. Diagram Blok Fungsional pada Sistem Rem

Untuk memahami jenis kerusakan yang terkait dengan komponen yang rusak, seseorang harus memiliki pemahaman dasar tentang mekanisme komponen. Dalam kasus ini adalah pada komponen rem, dikarenakan memiliki frekuensi paling tinggi yang dapat dilihat pada tabel 2. Mekanisme dasar dapat digambarkan dengan diagram blok fungsional pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram Blok Fungsional pada Rem Mobil

Mekanisme dasar pengereman melalui beberapa langkah. Yang pertama adalah controller, yang dimana saat pengemudi melakukan pengereman dengan menginjak pedal rem dengan tekanan yang sesuai dengan kebutuhan. Selanjutnya adalah control coordination. Setelah melakukan menginjakkan pedal rem oleh pengemudi, koordinasi rem hidrolik dan rem penggeraklah yang menjadi energi output pengereman sehingga laju mobil tetap terkendali dengan baik. Tidak sampai disitu bagi mobil yang mempunyai sistem pengereman dengan teknologi ABS. Setelah energi output dikeluarkan, vehicle speed sensor dan wheel speed sensor membaca kecepatan laju mobil dan kecepatan perputaran masing-masing roda yang diterjemahkan menjadi slip ratio calculation yang berfungsi untuk melakukan perhitungan tenaga yang menjadi output saat pengereman. Sehingga dapat mencegah roda mobil tergelincir saat melakukan pengereman.

5.4. Analisis Efek Mode Kegagalan (FMEA) dari Rem

Analisis FMEA saat ini mengidentifikasi mode kerusakan potensial berdasarkan kerusakan kendaraan yang diteliti dalam hal akar penyebab dan diagram blok fungsional. Untuk kasus kerusakan yang diketahui, kasus kerusakan dapat diterjemahkan ke dalam pernyataan FMEA pada tabel 4.

Seperti yang ditunjukkan pada tabel 2, kolom pertama menyatakan sub-komponen beserta fungsi, yang dapat diilustrasikan dengan diagram blok fungsional. Mode kegagalan diidentifikasi berdasarkan keluhan pengguna atau ditemukan adanya kerusakan oleh mekanik PT. XYZ. Contoh kasus pertama pada tabel 2 adalah kerusakan pada kampas rem (kampas rem aus) yang dimana tidak dapat melakukan pengereman dengan semestinya sehingga dapat mengakibatkan bahaya dan resiko kecelakaan terutama saat melaju. Selanjutnya adalah kerusakan pada selenoid valve yang tidak dapat menyempatkan minyak rem ke kaliper sesuai kebutuhan dikarenakan pipa pembuka atau penutup aliran minyak rem tidak bekerja optimal. Mengakibatkan kampas rem menerima panas yang berlebih, mengakibatkan kampas rem aus sehingga tidak dapat melakukan pengereman secara optimal.

Selanjutnya kerusakan pada wheel speed sensor yang tidak dapat membaca perputaran pada roda yang disebabkan oleh kabel sensor putus, mengakibatkan abs tidak berfungsi yang ditandai dengan lampu indikator abs menyala sehingga mobil dapat tergelincir saat melakukan pengereman yang agresif (roda terkunci saat pengereman). Kerusakan selanjutnya yang terjadi adalah vacuum booster yang memiliki tekanan pengereman yang tidak sesuai dengan standar ATPM (tekanan melebihi standar), dikarenakan melakukan perbaikan di bengkel tidak resmi sehingga mengakibatkan mobil dapat melakukan pengereman yang agresif, menimbulkan bahaya dan resiko tertabrak dengan pengendara yang ada di belakang.

5.5. Perbedaan Kerusakan Komponen PT. XYZ di Kota Semarang dan Kabupaten Pati Berdasarkan Demografi

Setelah peneliti melakukan metode distribusi frekuensi terhadap data history service PT. XYZ yang berlokasi di Kota Semarang dan Kabupaten Pati, peneliti menemukan perbedaan kerusakan yang terjadi akibat perbedaan karakter demografi masing-masing wilayah tersebut. Demografi berasal dari gabungan kata Bahasa Yunani, yaitu demos memiliki arti rakyat atau penduduk, sedangkan graphein memiliki arti kata tulisan atau cacatan. Paling utama dari mempelajari tentang kependudukan adalah mempelajari tentang kelahiran, kematian, dan mobilitas. Dalam penelitian ini, peneliti berfokus kepada mobilitas pengemudi yang dapat mempengaruhi kerusakan komponen pada mobil pengendara sehingga dapat menimbulkan bahaya dan resiko akibat dari dampak tersebut (Ananda, 2019).

Dapat kita lihat dari hasil distribusi frekuensi kedua wilayah tersebut yang dapat dilihat pada tabel 2 dan 3, kerusakan atau perbaikan komponen tertinggi dari kedua kota adalah kerusakan rem. Tetapi, ada perbedaan kerusakan tertinggi lain yang menjadi perhatian peneliti yaitu kerusakan lampu rem dan lampu kabut di PT. XYZ Kota Semarang. Sedangkan di PT. XYZ yang berlokasi di Kabupaten Pati, memiliki kerusakan tertinggi kedua yaitu perbaikan sporing balancing.

Tabel 4 Analisis Efek Mode Kegagalan (FMEA) dari Rem

Fungsi Komponen	Mode Gagal	Penyebab	Efek
Kampas Rem			
Berguna sebagai sistem pengereman untuk menghentikan kendaraan, kampas rem juga berfungsi mengatur laju ban mobil.	Tidak dapat melakukan pengereman dengan baik	Kampas rem aus akibat umur kampas rem dan pengereman yang agresif	Menyebabkan pengereman tidak maksimal, dapat mengakibatkan kontrol laju berkendara tidak dapat dikendalikan sepenuhnya dan dapat menyebabkan mobil menabrak pada objek yang akan dilalui
Solenoid valve			
Mengontrol membuka atau menutupnya katup penyemprotan minyak rem ke caliper	Penyemprotan minyak rem tidak sesuai kebutuhan	ECU tidak dapat membaca informasi dari wheel speed sensor	Pengereman yang dilakukan kaliper rem tidak bekerja dengan baik sehingga pengereman yang dilakukan pengemudi tidak sesuai kebutuhan (rem aus)
Wheel Speed Sensor			
Menginformasikan kecepatan perputaran di masing-masing roda	Tidak dapat melihat/membaca keadaan (perputaran) roda	Kabel sensor pada roda putus	Mengakibatkan abs tidak berfungsi dengan tanda lampu indikator abs menyala, sehingga mobil dapat tergelincir saat pengereman karena roda terkunci
Booster Rem			
Berfungsi sebagai booster pada pengereman sehingga membantu saat menginjak pedal rem (tidak perlu menginjak pedal rem dengan tenaga berlebih)	Pengereman tidak sesuai dengan semestinya (terlalu agresif)	Vakum booster rem tidak bekerja dengan baik dikarenakan pengaturan booster rem tidak sesuai standar, akibat melakukan perbaikan di bengkel tidak resmi	Pengereman tidak sesuai dengan kehendak pengemudi. Mengakibatkan mobil dapat melakukan pengereman yang agresif, menimbulkan bahaya dan resiko tertabrak dengan pengemudi yang ada di belakang

6. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil dari analisis menggunakan metode FMEA, peneliti mendapati hasil akar penyebab terjadinya kerusakan pada kerusakan rem. Setelah melakukan metode distribusi frekuensi pada data *history service* PT. XYZ yang berlokasi di Kota Semarang dan Kabupaten Pati, peneliti mendapatkan hasil jumlah kerusakan tertinggi terdapat pada rem. Kerusakan tertinggi kedua yang diketahui adalah komponen stop lamp untuk Kota Semarang, dan sporing balancing untuk Kabupaten Pati.

Kerusakan komponen berdasarkan karakter demografi Kota Semarang dan Kabupaten Pati, tingkat kerusakan kedua tertinggi memiliki perbedaan yaitu pada *stop lamp* dan *sparing balancing*. Banyaknya dilakukan sporing balancing di PT. XYZ Kabupaten Pati adalah kerusakan pada Jalan Pantura yang menyebabkan ban cepat aus, stir tidak stabil akibat benturan yang cukup keras menghantam lubang, hingga kerusakan shock breaker.

Salah satu faktor terjadinya kecelakaan adalah keadaan mobil mengalami slip saat melaju yang menyebabkan mobil tergelincir. Slip adalah lepasnya kontak roda kendaraan dengan permukaan jalan atau saat melakukan pengereman roda kendaraan memblokir sehingga pengemudi tidak bisa mengendalikan kendaraan. Faktor teknis yang mendukung terjadinya slip pada kendaraan, yakni lemahnya shock breaker, ban

tidak memenuhi syarat, tekanan ban yang kurang, dan penyeterlan sporing yang kurang sempurna (Dandi, 2021).

Sebelum berkendara, faktor desain sistem pengendalian sangat diperlukan. Perangkat sistem pengendalian ini berupa fasilitas keamanan yang harus terpasang dan dipastikan dapat berfungsi sebelum mengemudikan kendaraan untuk mengurangi resiko kecelakaan yang fatal akibat terjadinya benturan dari tabrakan kendaraan. Sistem pengendalian tersebut bisa terdiri dari spion, lampu sein, indikator kecepatan, lampu depan dan lampu belakang, dan lampu rem (Pamungkas, 2014).

Daftar Pustaka

- Azizur Rahman (2018). Analisis Resiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analys (FMEA) dan Fault Tree Analys (FTA). Teknik Industri Yayasan Muhammad Yamin Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND).
- Chia-Fen Chi, , Davin Sigmund, & Martin Octavianus Astardi (2020). Classification Scheme for Root Cause and Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) of Passenger Vehicle Recalls. , National Taiwan University of Science and Technology.
- Fatini Hanim , Zulhafiza, & Siti Zubaidah (2016). Safety And Health Practices And Injury

- Management In Manufacturing Industry. University Tenaga Nasional.
- G. Sanz-Calcedoa, A.G. González, O. López, D.R. Salgado, I. Camberob, & J.M. Herrera (2015). Analysis on Integrated Management of The Quality, Environment and Safety on The Industrial Projects. The Manufacturing Engineering Society International Conference 2015.
- Gerasimos Papadopoulos, Paraskevi Georgiadou, Christos Papazoglou, & Katerina Michaliou (2010). Occupational and Public Health and Safety in a Changing Work Environment: An Integrated Approach for Risk Assessment and Prevention. *Safety Science Journal*.
- HUANG Lin-juna & LIANG Dong (2013). Development of Safety Regulation and Management System in Energy Industry of China: Comparative and Case Study Perspectives. Sun Yat-sen University.
- Jian Kang, Jixin Zhang, & Jiancun Gao (2016). Improving Performance Evaluation of Health, Safety and Environment Management System by Combining Fuzzy Cognitive Maps and Relative Degree Analysis. *Beijing Institution of Petrochemical Technology*.
- M. Mirza Ebrahim Tehrani & N. Izadshenasan (2018). Determining The Effectiveness of Health, Safety and Environmental (HSE) Management System Based on Anomaly Report Measurement in Oil Projects. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2019.
- Mohammadfam , S. Mahmoudi, & A. Kianfar (2012). Development of The Health, Safety and Environment Excellence Instrument: a HSE-MS Performance Measurement Tool. *International Symposium on Safety Science and Technology* 2012.
- Ningcong Xiao, Hong-Zhong Huang, Yanfeng Li, Liping He, & Tongdan Jin (2011). Multiple Failure Modes Analysis and Weighted Risk Priority Number Evaluation in FMEA. University of Electronic Science and Technology of China, Texas State University, & University Drive.
- Projo Mukti Rifai & Sriyanto (2016). Analisis Kecelakaan Kerja dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Universitas Diponegoro.
- Qiqi Azwani Syauqi & Aries Susanty (2016). Analisis Potensi Kecelakaan Kerja pada CV. Automotive Workshop dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Universitas Diponegoro.
- S. Torpa & B.E. Moen (2006). The Effects of Occupational Health and Safety Management on Work Environment and Health: A Prospective Study. Elsevier 2005.
- Samuel Yousefifia, Arash Alizadeha, Jamileh Hayatia, & Majid Bagheri (2018). HSE Risk Prioritization Using Robust DEA-FMEA Approach with Undesirable Outputs: A Study of Automotive Oarts Industry in Iran. Urmia University of Technology & Allameh Tabatabai University.
- Swiss Re Cooperation Solution (2022). Automotive Product Recalls: Risk Management in a Time of Industry Transformation. Swiss Re Corporate Solution.
- United States National Highway Traffic Safety Administration (2022). Motor Vehicle Defects and Safety Recalls: What Every Vehicle Owner Should Know.
- Weijun Li, Wei Liang, Laibin Zhang, & Qian Tang (2015). Performance Assessment System of Health, Safety and Environment Based on Experts Weights and Fuzzy Comprehensive Evaluation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.
- Yongqin Feng, Xiaorui Zhang, & Wenzhao Li (2020). Research on the Effect of Automobile Recall System on Quality Improvement. *Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Economic Management and Cultural Industry (ICEMCI 2020)*.