

Analisis FMEA terhadap Kegagalan Komponen Sistem Pneumatik pada Kendaraan Utama Unit PKP-PK Kenbri Tipe IV di Bandar Udara Lede Kalumbang, Nusa Tenggara Timur

Arif Setiawan^{1*}, Erwan Eko Prasetyo¹

¹ Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

*Corresponding email: 180102139@stkdd.ac.id

Abstrak

Salah satu elemen penting dalam pemenuhan keselamatan penerbangan yaitu keberadaan unit pertolongan kecelakaan penerbangan dan pemadam kebakaran (PKP-PK). Unit pertolongan tersebut harus selalu bersiaga ketika terjadi suatu kecelakaan di sekitar bandara, dengan demikian maka fasilitas penunjang harus beroperasi dengan baik. Salah satu fasilitas yang dimaksud yaitu mobil pemadam kebakaran. Pada penelitian ini dilakukan *failure mode and effect analysis* (FMEA) pada mobil pemadam kebakaran Kenbri tipe IV untuk mengetahui potensi kegagalan dan dampaknya. Kemudian merekomendasikan untuk pencegahan agar kegagalan yang sama tidak terjadi lagi, mengingat pentingnya mobil pemadam kebakaran yang harus selalu siap untuk beroperasi ketika terjadi hal yang darurat di sekitar bandara. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan maka terdapat 7 komponen pada kendaraan Kenbri tipe IV yang berpotensi tinggi mengalami kegagalan, yaitu komponen terminal masukan (*inlet port*), terminal keluaran (*outlet port*), *plunger*, gigi pengunci, pipa pneumatik, *valve* pengatur tekanan, dan indikator tekanan. Setelah dilakukan FMEA maka komponen *plunger* pada *solenoid valve* memiliki nilai *risk priority number* (RPN) tertinggi, sehingga perlu diprioritaskan dalam hal perawatan daripada komponen lain. Dalam menjaga kondisi komponen tetap baik maka disarankan untuk melakukan *maintenance* pada kendaraan Kenbri tipe IV secara berkala.

Kata kunci : keselamatan, pemadam, kegagalan, perawatan

Abstract

One of the critical elements in ensuring aviation safety is the presence of an Aircraft Rescue and Firefighting (ARFF) unit. This unit must always be on standby in the event of an accident near the airport, which necessitates the proper functioning of supporting facilities. One such essential facility is the firefighting truck. This study conducts a Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) on a Kenbri Type IV firefighting truck to identify potential failures and their impacts. Subsequently, preventive measures are recommended to avoid the recurrence of similar failures, given the crucial role of firefighting trucks in maintaining operational readiness for emergencies near airports. Based on field observations, seven components of the Kenbri Type IV vehicle were identified as having a high potential for failure: the inlet port, outlet port, plunger, locking gear, pneumatic pipe, pressure control valve, and pressure indicator. After performing FMEA, the plunger component in the solenoid valve was found to have the highest Risk Priority Number (RPN), necessitating prioritized maintenance over other components. To ensure optimal component condition, periodic maintenance of the Kenbri Type IV vehicle is strongly recommended.

Keywords : safety, firefighting, failure, maintenance

PENDAHULUAN

Keselamatan penerbangan merupakan aspek fundamental dalam penyelenggaraan transportasi udara sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2009, yang mencakup pemenuhan persyaratan pada pesawat udara, bandar udara, navigasi, serta fasilitas penunjang lainnya. Salah satu elemen penting dalam mendukung keselamatan tersebut adalah Unit Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK). Unit ini memiliki tanggung jawab utama dalam menangani keadaan darurat seperti kecelakaan atau kebakaran pesawat, sekaligus melaksanakan kegiatan mitigasi, evakuasi, dan penyelamatan di area bandara. Meskipun telah tersedia sistem keamanan dan keselamatan yang canggih, kecelakaan penerbangan tetap dapat terjadi karena faktor eksternal seperti cuaca ekstrem maupun faktor *human error* (Umar et al., 2017). Oleh karena itu, keberadaan dan kesiapan fasilitas PKP-PK di bandara menjadi sangat vital.

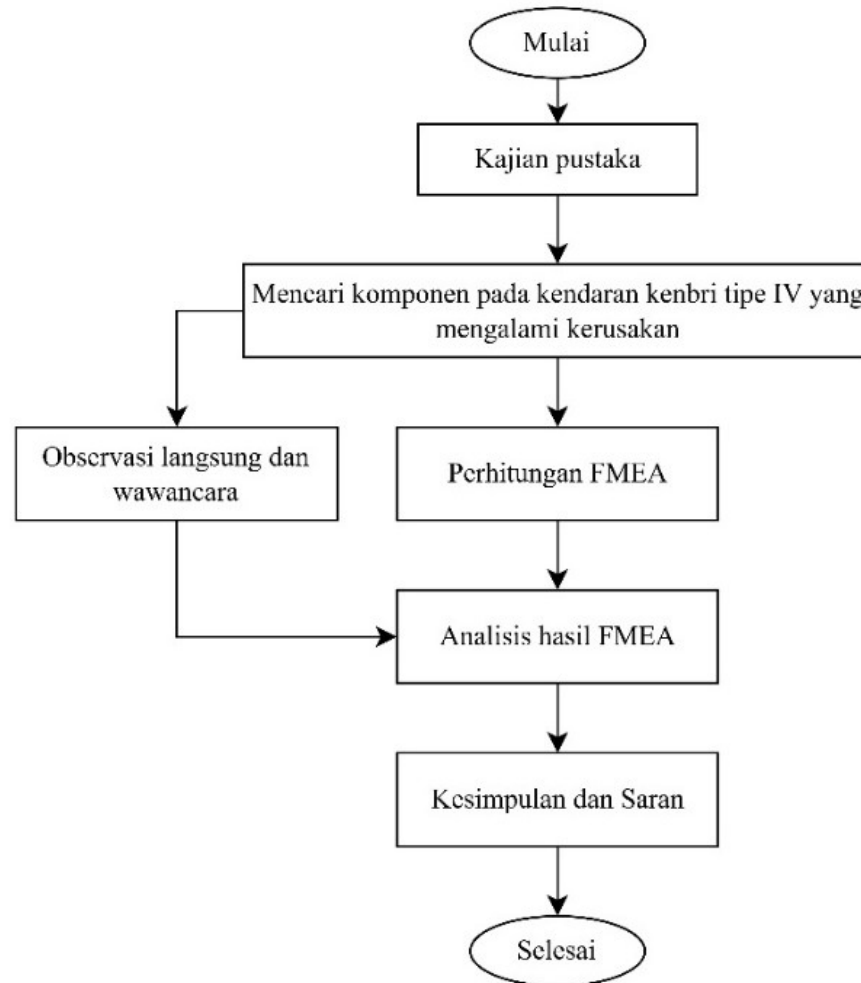
Dari segi fasilitas unit PKP-PK di bandara maka keandalan atau *reliability* harus selalu terjaga, mengingat harus selalu dalam kondisi yang optimal ketika terjadi keadaan darurat. Manajemen sumber daya manusia dan fasilitas yang baik, termasuk pemeliharaan rutin dan penambahan personel sesuai kebutuhan, merupakan langkah esensial dalam strategi keselamatan penerbangan (Adinnagara et al., 2024). Pada penelitian ini salah satu fasilitas unit PKP-PK yang menjadi objek penelitian yaitu mobil pemadam kebakaran Kenbri tipe IV. Salah satu sistem penting yang menunjang operasional kendaraan ini adalah sistem pneumatik, yang digunakan untuk mengoperasikan *Power Take-Off* (PTO) secara otomatis. Namun, dalam praktiknya sistem ini rentan mengalami kegagalan seperti kebocoran, kontaminasi, atau kerusakan aktuator (Given et al., 2024). Kegagalan ini berdampak signifikan terhadap respon waktu dan efektivitas kendaraan dalam penanganan darurat, sehingga dapat menghambat proses tanggap darurat pada suatu kejadian.

Dalam menganalisis kegagalan pada sistem pneumatik maka digunakan metode *failure mode and effect analysis* (FMEA). FMEA merupakan salah satu metode yang secara terperinci melakukan identifikasi dan analisis terhadap moda kegagalan hingga dapat diketahui penyebab dan dampak dari tiap kegagalan yang ada, sehingga didapatkan usulan perbaikan yang tepat (Budi Puspitasari et al., 2017). Selain itu, tujuan FMEA yaitu meminimalisir kegagalan serupa di masa mendatang, sehingga dari sisi keandalan dan keselamatan dapat lebih terjamin (Aprianto et al., 2021). Dalam konteks sistem pneumatik, metode ini memungkinkan teknisi dan analis sistem untuk mendokumentasikan kemungkinan penyebab kegagalan seperti kebocoran udara, katup macet, tekanan tidak stabil, serta kontaminasi dari kelembapan atau partikel asing (Mangkona et al., 2020).

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui potensi kegagalan sistem pneumatik di mobil pemadam kebakaran Kenbri tipe IV, analisis ini menjadi skrining awal dalam identifikasi komponen sistem pneumatik yang paling rentan mengalami kegagalan. Dari hasil tersebut akan menjadi usulan perbaikan preventif terhadap komponen sistem yang berpotensi gagal.

METODE

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk keperluan FMEA didapatkan menggunakan 2 cara yaitu sebagai observasi langsung dan pengisian kuesioner. Observasi langsung bertujuan untuk menilai kondisi fisik kendaraan dan mendokumentasikan potensi masalah yang mungkin terjadi. Sedangkan kuesioner diisi oleh petugas yang bertanggung jawab atas pemeliharaan kendaraan PKP-PK, dengan pengisian kuesioner ini maka didapatkan data yang lebih reliabel.

Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode FMEA, metode tersebut menghasilkan data berupa *risk priority number* (RPN). RPN merupakan produk matematis dari keseriusan *effects* (*severity*), kemungkinan terjadinya *cause* akan menimbulkan kegagalan yang berhubungan dengan *effects* (*occurrence*), dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi pada pelanggan (*detection*) (Ghavaris, A. G., K. Soemadi, K., & Arie, 2015).

Perhitungan RPN menggunakan persamaan berikut:

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection$$

Severity merupakan hal untuk mengidentifikasi dampak potensial suatu kegagalan dengan cara meranking kegagalan sesuai dengan akibat yang ditimbulkan. Tingkat pengaruh kegagalan (*severity*) memiliki ranking 1 sampai dengan 10. Untuk ranking 1 adalah tingkat keseriusan terendah (resiko kecil) dan ranking 10 adalah tingkat keseriusan tertinggi (resiko besar).

Tabel 1. Skor penentuan tingkat *severity*

Skor (S)	Tingkat Keparahan	Deskripsi Dampak
1	Tidak Signifikan	Tidak ada dampak terhadap fungsi atau keselamatan.
2	Sangat Ringan	Dampak kecil, tidak memengaruhi performa.
3	Ringan	Sedikit mengganggu, sistem tetap bisa digunakan.
4	Sedang	Menurunkan efisiensi atau kualitas kerja.
5	Cukup Serius	Kerusakan sebagian, fungsi terganggu.
6	Serius	Gangguan signifikan terhadap kinerja sistem.
7	Cukup Berat	Kerusakan besar pada komponen, memerlukan perbaikan.
8	Berat	Potensi cedera ringan, kerusakan besar.
9	Sangat Berat	Potensi bahaya tinggi, keselamatan terancam.
10	Kritis/Fatal	Kegagalan total, dapat menyebabkan kematian.

Occurrence diartikan sebagai probabilitas terjadinya suatu penyebab yang dapat menimbulkan kegagalan selama siklus penggunaan produk. Penilaian tingkat *occurrence* umumnya dilakukan dengan skala peringkat dari 1 hingga 10, di mana peringkat 1 menggambarkan kemungkinan kejadian yang sangat rendah atau jarang terjadi, sedangkan peringkat 10 menunjukkan frekuensi kejadian yang sangat tinggi atau sering.

Tabel 2. Skor penentuan tingkat *occurrence*

Skor (S)	Tingkat Keparahan	Deskripsi Dampak
1	Hampir Tidak Pernah	Kegagalan hampir tidak mungkin terjadi.
2	Sangat Rendah	Kegagalan sangat jarang terjadi.
3	Rendah	Kegagalan jarang terjadi dalam jangka panjang.
4	Cukup Rendah	Kadang-kadang terjadi (sekali setahun).
5	Sedang	Beberapa kali

Skor (S)	Tingkat Keparahan	Deskripsi Dampak
		dalam setahun.
6	Cukup	Sekitar 1 kali per bulan.
7	Sering	Tiap minggu atau beberapa kali per bulan.
8	Sangat Sering	Hampir setiap hari.
9	Hampir Selalu	Hampir selalu gagal.
10	Terus Menerus	Gagal secara konstan dalam penggunaan.

Detection merujuk pada metode, prosedur, pengujian, atau bentuk analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada layanan, proses, maupun produk sebelum berdampak pada pelanggan. Penentuan tingkat *detection* umumnya dilakukan melalui skala peringkat 1 hingga 10, di mana peringkat 1 menunjukkan sistem pengendalian yang sangat efektif dan selalu mampu mendeteksi kegagalan, sedangkan peringkat 10 menunjukkan sistem pengendalian yang tidak mampu mendeteksi kegagalan sama sekali.

Tabel 3. Skor penentuan tingkat *detection*

Skor (S)	Tingkat Keparahan	Deskripsi Dampak
1	Sangat Tinggi	Kegagalan pasti terdeteksi sebelum terjadi.
2	Tinggi	Kegagalan sangat mungkin dideteksi.
3	Cukup Tinggi	Kemungkinan besar terdeteksi lewat inspeksi.
4	Sedang	Deteksi mungkin dilakukan, tergantung operator.
5	Rendah	Kemungkinan besar tidak terdeteksi tanpa insiden.
6	Sangat Rendah	Deteksi hanya lewat pemeriksaan acak.
7	Hampir Tidak Terdeteksi	Deteksi sangat sulit, butuh pengujian khusus.
8	Tidak	Hanya terlihat saat

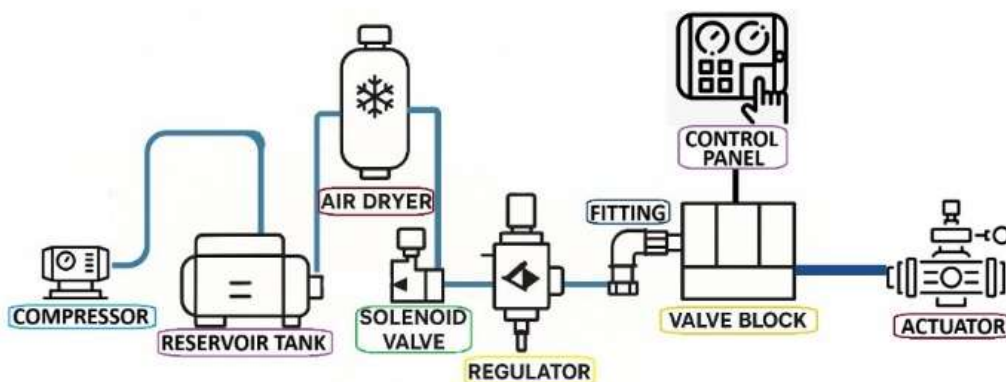
Skor (S)	Tingkat Keparahan	Deskripsi Dampak
9	Terdeteksi Tidak Ada Kontrol	terjadi efek nyata. Tidak dilakukan pemeriksaan sama sekali.
10	Tidak Dapat Dideteksi	Mustahil dideteksi sebelum kegagalan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Potensi Kegagalan Pada sistem Pneumatik Kendaraan PKP-PK

Kendaraan Kenbri Tipe IV merupakan salah satu kendaraan pemadam kebakaran kelas berat yang beroperasi di lingkungan bandara. Kendaraan ini dilengkapi sistem pneumatik bertekanan tinggi yang berperan penting dalam berbagai fungsi operasional. Sistem pneumatik pada kendaraan ini terdiri atas kompresor udara (*air compressor*), tabung penyimpanan udara (*air reservoir*), pengatur tekanan (*pressure regulator*), filter udara (*air filter*), valve kontrol, aktuatur, serta sistem pipa dan selang penghubung.



Gambar 2. Mekanisme sistem pneumatik

Beberapa fungsi utama dari sistem pneumatik pada Kenbri Tipe IV mencakup: pengoperasian sistem pengereman pneumatik, penggerakan komponen mekanis seperti tangga darurat dan tuas pengarah *nozzle*, serta sistem pembuka dan penutup katup air atau foam pada sistem pemadam.

Dalam prakteknya, kegagalan pada salah satu komponen sistem ini, seperti kebocoran udara, kerusakan pada *valve*, atau penurunan tekanan udara akibat keausan *seal*, dapat mengganggu seluruh fungsi kendaraan dan memperlambat respons dalam situasi darurat.

Komponen yang paling rentan mengalami kegagalan pada sistem pneumatik kendaraan Kenbri Tipe IV antara lain: *Air Compressor*, *Air Filter*, *Pressure Regulator*, *Control Valve* dan *Solenoid Valve*, serta *Pneumatic Cylinder/Actuator*. Berdasarkan hasil wawancara kepada salah satu petugas PKP-PK Yang paling sering bermasalah adalah *solenoid valve* kadang macet karena penumpukan kotoran. Kegagalan sistem pneumatik pada kendaraan berat cenderung terjadi pada sistem rem dan *valve* kontrol utama, dengan nilai RPN tinggi (antara 147–189), yang menegaskan pentingnya pemeliharaan dan deteksi dini terhadap komponen kritis tersebut (Hakim et al., 2022).

Hasil FMEA pada sistem pneumatik

Hasil analisis FMEA terhadap tujuh komponen sistem pneumatik ditampilkan dalam Tabel 4 dan deskripsi naratif berdasarkan hasil kuesioner yang telah diperoleh dari responden yang berkompeten.

Tabel 4 Hasil penilaian RPN

No	Komponen	Severity	Occurance	Detection	RPN	Penilaian
1	Terminal masukan (Inlet Port)	6.36	5.45	5.27	183.02	tinggi
2	Terminal keluaran (Outlet Port)	6.73	5.09	4.91	168.13	tinggi
3	Plunger	7.64	6.73	4.64	238.18	sangat tinggi
4	Gigi pengunci	6.82	6.36	3.64	157.78	tinggi
5	Pipa pneumatic	7.45	6.82	3.09	157.10	tinggi
6	Valve	6.55	5.27	4.09	141.19	tinggi
7	Indikator tekanan	5.82	5.18	4.09	123.34	tinggi

Berdasarkan hasil analisis FMEA, diketahui bahwa seluruh komponen sistem pneumatik pada kendaraan Kenbri Tipe IV memiliki tingkat risiko yang signifikan terhadap kinerja kendaraan. Komponen dengan nilai RPN tertinggi adalah Plunger pada Automatic Solenoid Valve, dengan nilai RPN sebesar 238 dan tergolong dalam kategori sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa jika terjadi kegagalan pada komponen tersebut, maka akan sangat berpengaruh terhadap fungsi keseluruhan sistem pneumatik.

Penyebab utama dari sebagian besar kegagalan adalah adanya debris, usia pakai, serta kualitas produksi komponen yang tidak optimal. Efek kegagalan yang umum terjadi adalah sistem tidak dapat beroperasi, yang berarti sistem pemadam kebakaran tidak akan berfungsi dengan baik apabila terjadi kegagalan komponen.

Tingkat keparahan (*severity*) rata-rata berada pada angka di atas 6, yang menandakan bahwa sebagian besar kegagalan akan memberikan dampak serius terhadap keselamatan dan operasional. Begitu pula dengan tingkat kemungkinan terjadi (*occurrence*) yang tinggi, serta deteksi (*detection*) yang masih tergolong sedang hingga rendah, menunjukkan perlunya sistem deteksi kegagalan yang lebih baik.

Secara keseluruhan, hasil ini menjadi dasar penting dalam menentukan prioritas tindakan pencegahan dan perbaikan pada sistem pneumatik. Pemeliharaan yang lebih rutin, penggantian komponen sebelum usia pakai habis, serta peningkatan kualitas produksi dan sistem deteksi perlu menjadi perhatian utama dalam upaya peningkatan keselamatan dan efektivitas operasional kendaraan pemadam kebakaran Kenbri Tipe IV.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan pada sistem pneumatik Kenbri tipe IV maka terdapat 7 komponen yang mengalami potensi kegagalan yang tinggi yaitu komponen terminal masukan (*inlet port*), terminal keluaran (*outlet port*), *plunger*, gigi pengunci, pipa pneumatik, valve pengatur tekanan, indikator tekanan.

Hasil FMEA komponen *plunger* pada *Solenoid Valve* memiliki nilai RPN yang tertinggi yaitu 238 sehingga perlu perhatian yang lebih tinggi dibandingkan dengan komponen yang lain, dengan demikian institusi terkait dapat menyediakan *spare part* yang lebih pada komponen yang memiliki nilai RPN tinggi.

Diperlukan skrining komponen lain yang berpotensi mengalami kegagalan, sehingga seluruh komponen dapat bekerja dengan baik ketika diperlukan. Selain itu perlu dilakukan analisis penyebab kegagalan sehingga dapat diketahui akar penyebab kegagalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinnagara, M. S., Nazla Wardhani, S., & Tri Saputra, S. (2024). Analisis Kelayakan Fasilitas Unit PKP-PK. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(6), 71–79.
- Aprianto, T., Setiawan, I., & Purba, H. H. (2021). Implementasi metode Failure Mode and Effect Analysis pada Industri di Asia – Kajian Literature. *Matrik*, 21(2), 165. <https://doi.org/10.30587/matrik.v21i2.2084>
- Budi Puspitasari, N., Padma Arianie, G., & Adi Wicaksono, P. (2017). Analisis Identifikasi Masalah Dengan Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Dan Risk Priority Number (RPN) Pada Sub Assembly Line. *Jurnal Teknik Industri*, 12(2), 77.
- Ghavaris, A. G., K. Soemadi, K., & Arie, Desrianty. (2015). Usulan Perbaikan Kualitas Proses Produksi Rudder Tiller Di PT . Pindad Bandung Menggunakan FMEA dan FTA. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 3(4), 73–84.
- Given, M., Liston, S., & Zikri. (2024). Analisa Sistem Pneumatik pada Power Takeoff (PTO) yang Digunakan pada Mesin Mobil Pemadam Kebakaran. *Zona Mesin*, 14(2), 28–37.
- Hakim, L., Japri, Yuhelson, & Hasan, I. (2022). Implementasi FMEA pada Kegagalan Komponen Pneumatic Brake System Kendaraan Berat. *Jurnal Surya Teknika*, 9(2), 423–434.
- Mangkona, M., Cante, B., Basri, H., & Adriansyah, A. (2020). Analisa Kerusakan Relay Valve Dan Air Dryer Pada Air Charging System Unit Heavy Equipment Off Highway Truck (OHT) 777D Caterpillar. *MEDIA PERSPEKTIF : Journal of Technology*, 12(1), 33.
- Umar, S. Hi., Hodi, & Nurmakkie. (2017). Evaluasi Sistem Manajemen Keselamatan (Safety Management System) di Bandara Adi Soemarno Boyolali. *Jurnal Manajemen Dirgantara*, 10(1), 2252–7451.