

## Usulan *Preventive Maintenance* Unit *Flat Bed Trailer 72 (FBT 72)* dengan Metode *Failure Mode And Effects Analysis (FMEA)* di PT. U

### *Preventive Maintenance Proposal por Flatbed Trailer Unit (FBT 72) Using Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Methods in the PT.U*

Eduardus Dimas Arya Sadewa<sup>1\*</sup>, Cicilia Sosiogandhi Arimbi<sup>2</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Produksi dan Proses Manufaktur, Politeknik Astra

email: eduardus.dimas@polytechnic.astra.ac.id<sup>1</sup> ciciliaarimbi94@gmail.com<sup>2</sup>

#### Informasi Artikel

Diterima:

Submitted:

29/09/2023

Diperbaiki:

Revised:

14/10/2023

Disetujui:

Accepted:

15/10/2023

\*) Eduardus Dimas  
Arya Sadewa  
eduardus.dimas@p  
olytechnic.astra.ac.  
id  
DOI:<https://doi.org/10.32502/js.v8i2.6931>

#### Abstrak

PT U merupakan industri rekayasa alat berat untuk mendukung pertambangan maupun logistik. Produk yang dihasilkan bersifat *customized* disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan. Setiap produk yang diproduksi dan dikirim pelanggan harus dilengkapi skema perawatan berkala (*periodical services*) dan kebutuhan suku cadang yang dibutuhkan. Dengan metode produksi bersifat *customized* setiap unit yang dihasilkan memiliki spesifikasi dasar berbeda menyesuaikan permintaan pelanggan. Metode produksi *customized* memunculkan varian produk baru dengan salah satu contoh produk *Flat Bed Trailer 72 (FBT 72)* yang belum memiliki skema perawatan berkala. Penelitian ini bertujuan untuk merancang skema perawatan unit FBT 72. Perancangan skema perawatan berkala pada varian produk baru untuk unit FBT 72 melalui analisis FMEA yang digunakan untuk menentukan komponen kritis. Komponen kritis dianalisis menggunakan data kerusakan unit sejenis dalam jangkauan waktu 5 tahun, didapatkan 124 kerusakan pada 8 komponen standar. Adapun 6 komponen kritis tersebut meliputi *Coupling, Axle, Brake System, Body & Structure, Suspension* dan *wheel*. Berdasarkan analisis yang dilakukan didapatkan rancangan skema perawatan berkala untuk unit FBT 72 terdiri dari *Format Commissioning, Standard Maintenance (Periodical Service), Format Check Sheet Maintenance & List Item Backup*.

**Kata kunci** : varian produk baru, FMEA, *preventive maintenance*.

#### Abstract

*PT. U is a heavy equipment engineering industry that supports the mining and logistics industry. Their products are customized suit to customer needs. After sales services gives to their customer in form of one year warranty and periodical services during warranty. Every unit sent to a customer must be equipped with a periodic maintenance scheme and spare part list. By using customized production methods, every unit that produces has different specification fit to customer need. Customized production methods also bring up new product variants, for example a flat bed trailer 72 (FBT 72) that do not have a periodic maintenance scheme. It is necessary to design a maintenance scheme for FBT 72 unit. Using FMEA analysis, 6 from 8 critical components are defined. 124 Failure mode of 8 standard component data from similar units in 5-year range are used to determine these critical components consist of coupling, axle, brake system, body and structure, suspension and wheel. The maintenance scheme design consists of commissioning format, standard maintenance, check sheet maintenance format and list item backup.*

**Keyword:** *new variant product, FMEA, preventive maintenance*

©Integrasi Universitas Muhammadiyah Palembang

p-ISSN 2528-7419

e-ISSN 2654-5551

## Pendahuluan

Kondisi operasional dari mesin harus selalu dijaga melalui proses perawatan, dimana dalam manajemen pemeliharaan sendiri sistem pemeliharaan yang dapat dikontrol berupa pergantian komponen, pemeliharaan kontrol kehandalan dan pemeliharaan keseluruhan [1][2].

*Preventive maintenance* (PM) merupakan metode perawatan yang ditentukan berdasarkan jadwal, interval pergantian atau kriteria yang ditentukan untuk mengurangi kemungkinan kesalahan akibat dari degradasi fungsi komponen. PM dibagi menjadi *Predetermined Maintenance* dan *Condition Based Maintenance* [3] [4].

*Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) merupakan pendekatan kualitatif untuk memperjelas bagaimana kesalahan terjadi saat analisis pengembangan produk atau sistem guna mendukung keputusan ketika tidak cukup data dan informasi untuk melakukan analisis kuantitatif. FMEA dapat digunakan untuk mendukung analisis *Reliability, Availability, Maintainability* (RAM), *Reliability Centered Maintenance* (RCM), analisis resiko dan ketentuan perawatan [5]–[11].

Identifikasi potensi kesalahan penting selama analisis proses. Kesalahan dapat memiliki efek yang beragam terhadap sistem, meskipun tidak semuanya berakibat pada kegagalan sistem secara keseluruhan. Identifikasi resiko terkait potensi kesalahan, memahami akibat dari kesalahan terhadap sistem, identifikasi efek dari kesalahan serta pemahaman peta keterkaitan antar komponen merupakan langkah penting dalam proses analisis FMEA [12]–[14]

PT. U juga memberikan layanan purna jual berupa garansi dan perawatan berkala untuk unit yang dibuat selama 1 tahun. Dengan metode *customized product* memunculkan varian produk baru dengan spesifikasi yang baru juga. Spesifikasi yang baru membutuhkan penyesuaian pada skema perawatan berkala. Penelitian ini fokus pada perancangan *preventive maintenance* pada varian unit baru dengan menggunakan metode FMEA. Unit baru yang menjadi obyek penelitian adalah *Flat Bed Trailer 72* (FBT 72).

Berdasarkan literatur yang ada, metode FMEA digunakan sebagai langkah

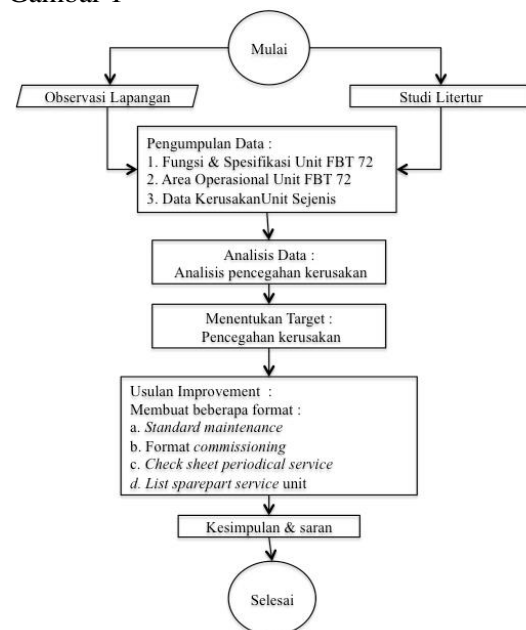
awal untuk menentukan komponen kritis, sehingga penelitian ini dilakukan sebagai tahap awal untuk merancang skema perawatan bagi unit varian baru FBT 72 yang di produksi PT. U untuk kebutuhan PT. OKI [15]–[17].

## Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan tahapan – tahapan agar penelitian dapat berjalan secara sistematis dan terukur. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- observasi lapangan serta studi literature untuk mengumpulkan data spesifikasi, data kerusakan dari unit sejenis serta data operasional dari unit FBT 72.
- Berdasarkan data yang didapatkan dilakukan analisis dengan menggunakan metode FMEA untuk menentukan komponen kritis dari unit FBT 72.
- Berdasarkan hasil analisis FMEA dan perhitungan jam operasional unit dilakukan perancangan skema *preventive maintenance* untuk unit FBT 72 sesuai format perawatan.
- Hasil perancangan skema *preventive maintenance* dianalisis dan diberikan saran untuk perbaikan berikutnya.

Alur proses penelitian seperti terlihat pada Gambar 1



Gambar 1 Alur Proses Penelitian

## Hasil Dan Pembahasan

FBT 72 merupakan pengembangan produk dari PT. U dengan menggabungkan fungsi dari *Flat Bed Trailer* dan *Semi*

*Transporter Logging Trailer* untuk memenuhi pesanan dari PT. OKI. Sesuai standar dari perusahaan, setiap unit pesanan harus dilengkapi dengan skema perawatan berkala.

Langkah awal yang dilakukan adalah mengumpulkan data spesifikasi unit FBT 72 dan unit sejenis yang sesuai guna analisis kerusakan pada unit sejenis. PT OKI, pelanggan dari PT. U membutuhkan spesifikasi *trailer* baru yang memiliki fungsi sebagai pengangkut *container* serta dapat juga digunakan untuk mengangkut kayu hasil *logging*. PT U membuat penggabungan unit produk yang sudah ada yaitu *Flat Bed Trailer* yang berfungsi sebagai pengangkut *container* dan *Semi Transporter Logging Trailer* sebagai pengangkut kayu. Spesifikasi seperti terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Spesifikasi FBT 72

| Spesifikasi |                  |   |
|-------------|------------------|---|
| 1           | Body & Structure | <i>Flat Bed Trailer</i> (FBT 72)  |
| 2           | Capacity         | Max. 72.000 kg <i>Palm/trailer</i><br>54.300 kg <i>Wood/trailer</i>   |
| 3           | Coupling device  | King Pin: JOST KZ 1016 3,5" diameter<br><br><i>Towing Hitch: V-Orlandi</i>  |
| 4           | Suspension       | BPW <i>Tridem Over slung</i>  |
| 5           | Axle             | BPW - HZMVB 3/18010   |
| 6           | Wheel            | Pirelli TG88 <i>or equivalent</i>   |
| 7           | Brake System     | <i>Rim: Jantsa or equivalent</i><br><br><i>Brake System: 2 lines of standard air pressure</i>   |
| 8           | Landing Gear     | <i>Jost Series A400</i>   |
| 9           | Paint & color    | <i>White color with 3 layers</i>  |
| 10          | Dolly            | DL25  |
| 11          | Electric System  | 1 <i>pcs Strobe light</i><br>1 <i>set Lamp (LED)</i><br>1 <i>set receptacle coupling 7 pins</i><br>2 <i>set back up alarm</i>   |
| 12          | Cassette         | 2 <i>pcs cassette system</i>  |
| 13          | Others           | 1 <i>pcs tool box</i><br>2 <i>set mudguards</i><br><i>Centralize greasing System</i><br>4 <i>pcs webbing sling</i><br><i>Rear Bumper</i><br>2 <i>sets side guards</i> |

Tabel 1 menunjukkan data spesifikasi yang dimiliki FBT 72. Operasional unit FBT 72 dihitung berdasarkan jarak ditempuh selama unit beroperasi di PT. OKI. FBT 72 beroperasi di wilayah Palembang dengan jarak tempuh dari pelabuhan *Jeti* menuju

tempat stok kayu sejauh 40 KM sekali perjalanan dan beroperasi sebanyak 6 ritase per hari. Sehingga perhitungan jarak tempuh setiap hari FBT 72 adalah :

- 40 KM x 2 perjalanan x 6 ritase = 480 KM,
- dan jarak tempuh setiap bulan adalah 480 KM x 30 hari = 14400 KM.

Berdasarkan dua perhitungan diatas unit FBT 72 beroperasi sejauh 480 km setiap harinya dan beroperasi sejauh 14400 km setiap bulannya [18]–[20].

Diperlukan data kerusakan unit sejenis untuk mendukung hipotesa penelitian. Unit FBT 72 merupakan unit baru, dan memiliki gabungan fungsi yang dimiliki unit *Flat Bed Trailer* (FBT) & unit *Semi Transporter Logging Trailer* (SLT), maka *history* kerusakan diperoleh dari kedua unit tersebut. Tabel 2 menunjukkan data Kerusakan dari unit *Flat Bed Trailer* (FBT) & unit *Semi Transporter Logging Trailer* (SLT)

**Tabel 2.** data kerusakan unit FBT dan SLT

| Unit         | 2017     | 2018     | 2021      | 2022     | Total     |
|--------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|
| FBT          | 3        | 4        | 11        | -        | 18        |
| SLT          | 6        | -        | -         | 8        | 14        |
| <b>Total</b> | <b>9</b> | <b>4</b> | <b>11</b> | <b>8</b> | <b>32</b> |

Gambar 2 menunjukkan grafik kerusakan unit *Flat Bed Trailer* (FBT) & unit *Semi Transporter Logging Trailer* (SLT).



**Gambar 2.** Data Kerusakan Unit FBT dan SLT

Gambar 2 menunjukkan hanya terdapat 32 kerusakan, sehingga data tersebut belum cukup untuk menentukan komponen kritis. Oleh karena itu perlu data pendukung

dari unit lain untuk menentukan komponen kritis.

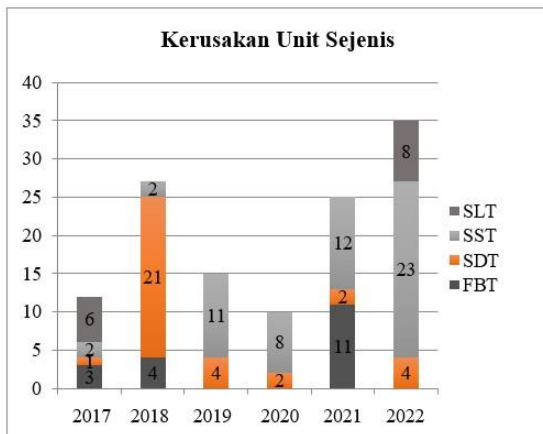
FBT 72 merupakan pengembangan dari produk *platform*, sehingga data kerusakan dapat dicari dari unit yang memiliki kesamaan struktur komponen, dimana terdapat 2 unit yaitu Unit *Semi-Trailer Door Tipper* (SDT) & unit *Semi-Trailer Side Tipper* (SST).

Tabel 3 menunjukkan data *history* kerusakan unit sejenis dalam rentang tahun 2017 – 2022.

**Tabel 3.** Kerusakan Unit Sejenis

| Unit         | 2017      | 2018      | 2019      | 2020      | 2021      | 2022      | Total      |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| FBT          | 3         | 4         | -         | -         | 11        | -         | 18         |
| SDT          | 1         | 21        | 4         | 2         | 2         | 4         | 34         |
| SST          | 2         | 2         | 11        | 8         | 12        | 23        | 58         |
| SLT          | 6         | -         | -         | -         | -         | 8         | 14         |
| <b>Total</b> | <b>12</b> | <b>27</b> | <b>15</b> | <b>10</b> | <b>25</b> | <b>35</b> | <b>124</b> |

Gambar 3 menunjukkan grafik kerusakan unit SDT, unit FBT, unit SST dan unit SLT di rentang tahun 2017-2022 :



**Gambar 3.** Data kerusakan unit sejenis

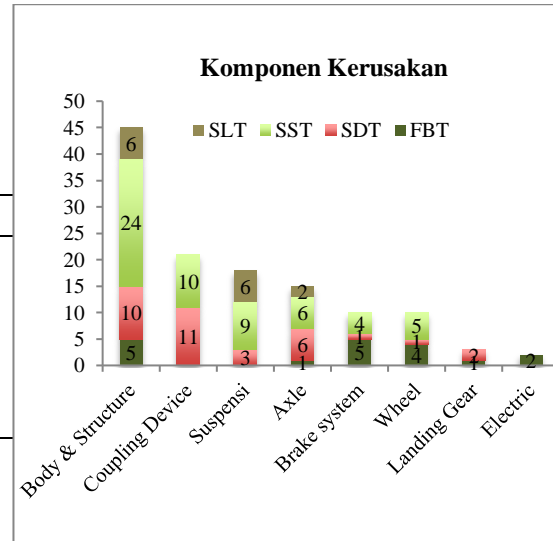
Langkah berikutnya adalah melakukan analisis FMEA untuk menentukan komponen kritis yang akan menjadi fokus komponen pada perancangan skema perawatan.

**Tabel 4.** Data Kerusakan Komponen

| Komponen         | FBT | SDT | SST | SLT | Total |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-------|
| Body & Structure | 5   | 10  | 24  | 6   | 45    |
| Coupling Device  | -   | 11  | 10  | -   | 21    |
| Suspensi         | -   | 3   | 9   | 6   | 18    |
| Axle             | 1   | 6   | 6   | 2   | 15    |
| Brake system     | 5   | 1   | 4   | -   | 10    |
| Wheel            | 4   | 1   | 5   | -   | 10    |
| Landing Gear     | 1   | 2   | -   | -   | 3     |

| Electric     | 2         | -         | -         | -         | 2          |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| <b>Total</b> | <b>18</b> | <b>34</b> | <b>58</b> | <b>14</b> | <b>124</b> |

Tabel 4 menunjukkan data kerusakan komponen dari 4 tipe unit sejenis. Terdapat data total 124 kerusakan dari 8 kelompok komponen.



**Gambar 4.** Data Kerusakan Komponen

Gambar 4 menunjukkan data jumlah kerusakan dari setiap kelompok komponen berdasarkan tipe unit sejenis yang diamati. Berdasarkan data yang ada dilanjutkan analisis perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) untuk menentukan komponen kritis. Nilai RPN dihitung dengan mengalikan nilai *Occurrence* (frekuensi kejadian), *Saverity* (keparahan kejadian), dan *Detension* (kemudahan deteksi). Analisis perhitungan RPN dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Analisis FMEA

| No | Komponen         | O  | S  | D | RPN | Rank |
|----|------------------|----|----|---|-----|------|
| 1  | Coupling Device  | 7  | 10 | 6 | 420 | 1    |
| 2  | Axle             | 5  | 9  | 9 | 405 | 2    |
| 3  | Brake system     | 4  | 10 | 9 | 360 | 3    |
| 4  | Body & Structure | 10 | 6  | 4 | 240 | 5    |
| 5  | Suspensi         | 6  | 5  | 5 | 150 | 6    |
| 6  | Wheel            | 4  | 6  | 5 | 120 | 7    |
| 7  | Landing Gear     | 2  | 3  | 3 | 18  | 8    |
| 8  | Electric         | 1  | 3  | 3 | 9   | 9    |

Hasil analisis FMEA menunjukkan peringkat komponen dengan nilai RPN tertinggi hingga terendah. Fokus komponen

kritis pada 6 komponen dengan nilai RPN tertinggi yaitu *coupling device*, *axle*, *brake system*, *body structure*, *suspense* serta *wheel*. Berikut merupakan sub komponen dari setiap kelompok komponen. Komponen *coupling device* terdiri dari; *towing eyes*, *towing hitch*, *king pin* dan *fifth wheel*. Komponen *axle* terdiri dari *front hanger*, *equalizer*, *leaf spring*, *equalizer hanger*, *rear hanger* dan *axle assy*. Komponen suspensi terdiri dari *mechanical*, *hydraulic* serta *air suspension*, sedangkan untuk komponen *brake system* dan *body and structure* merupakan sistem terintegrasi.

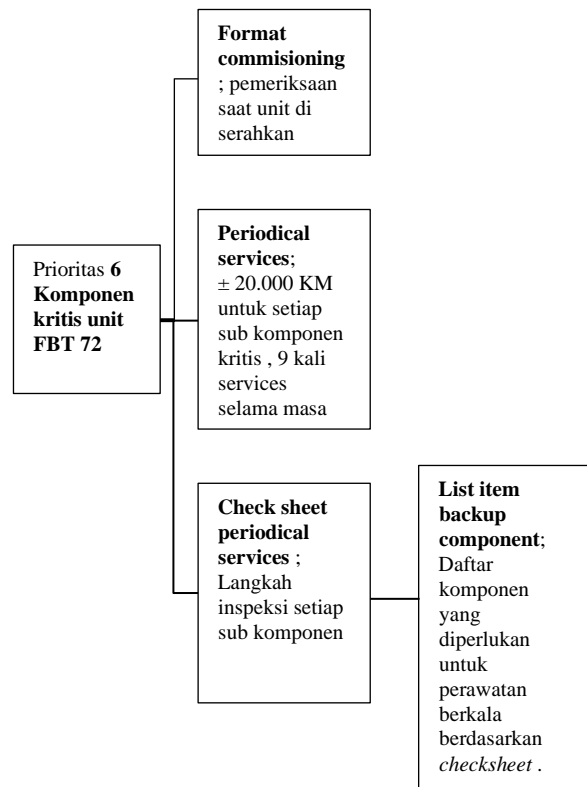
Berdasarkan dari hasil perhitungan, unit FBT 72 beroperasi sejauh 480 km setiap hari atau 14400 km setiap bulannya. komponen dengan nilai RPN diajdikan fokus penelitian dan dipilih 6 komponen dengan nilai RPN tertinggi yaitu *coupling device*, *axle*, *brake system*, *body structure*, *suspense* serta *wheel*.

Hasil analisis FMEA dengan 6 komponen kritis yang dijadikan fokus untuk area pencegahan kerusakan pada unit FBT 72, Ada 4 skema perencanaan untuk perawatan yaitu:

- format commissioning*: format yang diberikan perusahaan saat unit diterima pelanggan untuk memastikan kesesuaian dengan standar sebelum beroperasi serta memberikan informasi komponen apa yang memerlukan perawatan berkala (*periodical service*),
- Standard Maintenance (Periodical Service)* diperlukan untuk menjaga *performance* dan keandalan unit yang diperoleh dari perhitungan jarak tempuh unit selama beroperasi dan disesuaikan dengan *database item* yang wajib dilakukan perawatan pada jarak tempuh tertentu. Karena bersifat *confidential* ditarik rata-rata *lifetime* dari sub komponen dari 6 komponen kritis unit FBT72 dengan angka rata-rata *lifetime* tercepat perawatan dilakukan setiap mencapai jarak 20,000 kilometer. Berdasarkan hasil analisis perawatan Unit FBT 72 selama masa *warranty* dilakukan sebanyak 9x setiap mencapai 20,000 km dan atau setelah unit beroperasi setiap 42 hari.

- Setelah membuat *Standard Maintenance*, maka perlu dibuatkan *Check Sheet Periodical Service* untuk mendukung pelaksanaan perawatan. *Check Sheet* dibuat berdasarkan data komponen pada unit sejenis yang sering terjadi kerusakan. Selanjutnya dibuat langkah inspeksi dan perbaikan untuk membantu mekanik melaksanakan perawatan.
- List Item Backup Component* unit FBT 72 diperlukan untuk membantu pelaksanaan *preventive maintenance* maupun *corrective maintenance* berlangsung sesuai dengan *periodical service* yang telah ditentukan berdasarkan *check sheet maintenance*.

Skema perencanaan perawatan untuk unit FBT 72 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema Perencanaan Perawatan Unit FBT 72

### Kesimpulan

Analisis dengan menggunakan metode FMEA didapat komponen kritis serta analisis perkiraan *life time* komponen yang digunakan untuk membuat rancangan skema perawatan untuk unit FBT 72 berupa format *commissioning* untuk memastikan unit diterima sesuai standar, format *periodic maintenance*

sebagai acuan untuk melakukan *preventive maintenance* yang dilengkapi dengan *check sheet periodic service* untuk membantu pemeriksaan serta *list item backup* untuk membantu mempermudah kebutuhan dari sparepart apa saja yang penting untuk dilakukan pergantian saat *preventive maintenance* dilakukan.

Untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan pengamatan terhadap unit guna menghitung *mean time to failure* serta *mean time to repair* untuk menyempurnakan perawatan berkala untuk unit FBT 72 menggunakan metode RCM.

#### Daftar Pustaka

- [1] Ignatius Deradjad Pranowo, "Manajemen Pemeliharaan," in *Sistem dan Manajemen Perawatan*, 1st ed., Yogyakarta: DeepPublish, 2019, pp. 101–110.
- [2] C. L. Dunlop, "2 - Planned preventive and running maintenance," in *A Practical Guide to Maintenance Engineering*, C. L. Dunlop, Ed., Butterworth-Heinemann, 1990, pp. 27–81. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-408-05284-9.50004-0>.
- [3] V. J. Jimenez, N. Bouhmala, and A. H. Gausdal, "Developing a predictive maintenance model for vessel machinery," *Journal of Ocean Engineering and Science*, vol. 5, no. 4, pp. 358–386, Dec. 2020, doi: [10.1016/j.joes.2020.03.003](https://doi.org/10.1016/j.joes.2020.03.003).
- [4] R. K. Mobley, "1 - Impact of Maintenance," in *Maintenance Fundamentals (Second Edition)*, R. K. Mobley, Ed., Burlington: Butterworth-Heinemann, 2004, pp. 1–10. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-075067798-1/50022-4>.
- [5] E. Calixto, "Chapter 3 - Reliability and Maintenance," in *Gas and Oil Reliability Engineering (Second Edition)*, E. Calixto, Ed., Boston: Gulf Professional Publishing, 2016, pp. 159–267. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805427-7.00003-8>.
- [6] A. M. Smith and G. R. Hinchcliffe, *RCM--Gateway to world class maintenance*. Elsevier, 2003.
- [7] V. S. Deshpande and J. P. Modak, "Application of RCM to a medium scale industry," *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 77, no. 1, pp. 31–43, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00011-X).
- [8] H. Sun *et al.*, "Preventive maintenance optimization for key components of subway train bogie with consideration of failure risk," *Eng Fail Anal*, vol. 154, p. 107634, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107634>.
- [9] K. Xu, L. C. Tang, M. Xie, S. L. Ho, and M. L. Zhu, "Fuzzy assessment of FMEA for engine systems," *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 75, no. 1, pp. 17–29, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(01\)00101-6](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(01)00101-6).
- [10] Y. Tang, Q. Liu, J. Jing, Y. Yang, and Z. Zou, "A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance," *Energy*, vol. 118, pp. 1295–1303, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>.
- [11] G. F. M. de Souza, A. Caminada Netto, A. H. de Andrade Melani, M. A. de Carvalho Michalski, and R. F. da Silva, "Chapter 2 - Reliability and maintenance fundamentals," in *Reliability Analysis and Asset Management of Engineering Systems*, G. F. M. de Souza, A. Caminada Netto, A. H. de Andrade Melani, M. A. de Carvalho Michalski, and R. F. da Silva, Eds., Elsevier, 2022, pp. 9–53. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823521-8.00005-0>.
- [12] T. O. Alamri and J. P. T. Mo, "Optimisation of Preventive Maintenance Regime Based on Failure Mode System Modelling Considering Reliability," *Arab J Sci Eng*, vol. 48, no. 3, pp. 3455–3477, 2023, doi: [10.1007/s13369-022-07174-w](https://doi.org/10.1007/s13369-022-07174-w).
- [13] K. Cicek, H. H. Turan, Y. I. Topcu, and M. N. Searslan, "Risk-based preventive maintenance planning using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for marine engine systems," in *2010 Second International Conference on Engineering System Management and Applications*, 2010, pp. 1–6.
- [14] W. Dietz, "Chapter 8 - Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): Well-Known Methodologies, But Not in Our World," in *Re-Engineering Clinical Trials*, P.

- Schüler and B. Buckley, Eds., Boston: Academic Press, 2015, pp. 77–88. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420246-7.00008-6>.
- [15] J. F. W. Peeters, R. J. I. Basten, and T. Tinga, “Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner,” *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 172, pp. 36–44, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.11.024>.
- [16] W. Chen, B. Yang, and Y. Liu, “An integrated QFD and FMEA approach to identify risky components of products,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 54, p. 101808, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101808>.
- [17] J. C. Lopez and A. Kolios, “Risk-based maintenance strategy selection for wind turbine composite blades,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 5541–5561, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.04.027>.
- [18] M.-A. Filz, J. E. B. Langner, C. Herrmann, and S. Thiede, “Data-driven failure mode and effect analysis (FMEA) to enhance maintenance planning,” *Comput Ind*, vol. 129, p. 103451, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103451>.
- [19] S. Takata, “Maintenance-centered Circular Manufacturing,” *Procedia CIRP*, vol. 11, pp. 23–31, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.07.066>.
- [20] M. D. Ramere and O. T. Laseinde, “Optimization of condition-based maintenance strategy prediction for aging automotive industrial equipment using FMEA,” *Procedia Comput Sci*, vol. 180, pp. 229–238, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.160>.