

PENERAPAN FUZZY LOGIC UNTUK ANALISIS POLA KEGAGALAN BELT CONVEYOR BERBASIS MTBF DAN MTTR DALAM PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM

Ghinaa Nur Fauziy¹

¹Mahasiswa Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

Email: m.zaidpku@gmail.com

Iman Satria²

²Dosen Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

Email: ir.imansatria@gmail.com

ABSTRAK

Penurunan kinerja dan kegagalan komponen pada sistem *belt conveyor* dapat menyebabkan terganggunya proses produksi dan menimbulkan kerugian signifikan. Oleh karena itu, diperlukan metode yang efektif untuk menganalisis pola kegagalan dan menentukan prioritas pemeliharaan secara tepat waktu. Penelitian ini menerapkan metode *Fuzzy Logic* dengan variabel *input Mean Time Between Failures (MTBF)* dan *Mean Time to Repair (MTTR)* untuk menghasilkan keluaran berupa *Remaining Useful Life (RUL)* dalam bentuk persentase. Data historis kegagalan dan perawatan *belt conveyor* diolah untuk menghitung nilai MTBF dan MTTR setiap komponen. Selanjutnya, fungsi keanggotaan ditentukan untuk masing-masing variabel, proses fuzzifikasi dilakukan, dan sistem inferensi Mamdani digunakan dengan basis aturan (*rule base*) sebanyak sembilan aturan. Hasil inferensi kemudian melalui proses defuzzifikasi metode centroid untuk memperoleh nilai RUL. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen KK memiliki RUL terendah sebesar 20,0%, diikuti PM sebesar 50,0%, sedangkan BS dan RC memiliki RUL tertinggi sebesar 85,6%. Temuan ini mengindikasikan bahwa komponen KK dan PM memerlukan prioritas perawatan lebih tinggi dibandingkan komponen lainnya. Model yang dikembangkan terbukti dapat mengubah parameter keandalan menjadi informasi yang intuitif, sehingga mendukung strategi *predictive maintenance* yang lebih efektif. Penyesuaian fungsi keanggotaan dan perluasan basis aturan di masa depan berpotensi meningkatkan akurasi pengambilan keputusan.

Kata kunci: *Fuzzy Logic, MTBF, MTTR, RUL, Belt Conveyor, Predictive Maintenance*

ABSTRACT

The performance degradation and component failures in belt conveyor systems can disrupt production processes and cause significant losses. Therefore, an effective method is required to analyze failure patterns and determine maintenance priorities in a timely manner. This study applies the Fuzzy Logic method using Mean Time Between Failures (MTBF) and Mean Time to Repair (MTTR) as input variables, producing Remaining Useful Life (RUL) as a percentage output. Historical failure and maintenance data of the belt conveyor were processed to calculate MTBF and MTTR values for each component. Membership functions were defined for each variable, fuzzification was performed, and the Mamdani inference system was applied with a rule base consisting of nine rules. The inference results were then defuzzified using the centroid method to obtain RUL values. The results show that the KK component has the lowest RUL at 20.0%, followed by PM at 50.0%, while BS and RC have the highest RUL at 85.6%.

These findings indicate that KK and PM components require higher maintenance priority than the others. The developed model effectively transforms reliability parameters into intuitive information, supporting a more effective predictive maintenance strategy. Adjustments to the membership functions and expansion of the rule base in the future have the potential to enhance decision-making accuracy.

Keywords: Fuzzy Logic, MTBF, MTTR, RUL, Belt Conveyor, Predictive Maintenance

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Belt conveyor merupakan salah satu sistem transportasi material yang banyak digunakan dalam industri pertambangan, pelabuhan, dan manufaktur. Keandalan sistem ini sangat penting untuk menjaga kelancaran proses produksi. Namun, kenyataannya berbagai komponen pada *belt conveyor* seperti *belt*, *roller*, dan *carriage* sering mengalami kerusakan akibat keausan, sobekan, atau misalignment. Kondisi ini dapat menyebabkan *downtime* yang signifikan, menurunkan produktivitas, serta meningkatkan biaya operasional.

Dalam praktik pemeliharaan, indikator keandalan seperti *Mean Time Between Failures* (MTBF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) telah digunakan secara luas untuk menilai frekuensi kerusakan dan kecepatan perbaikan. Meski demikian, parameter tersebut belum sepenuhnya memberikan informasi yang intuitif bagi pengambil keputusan, terutama terkait estimasi umur pakai komponen dan penentuan prioritas perawatan.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah metode *Fuzzy Logic*. Metode ini mampu mengubah data numerik dari MTBF dan MTTR menjadi informasi yang lebih mudah dipahami dalam bentuk *Remaining Useful Life* (RUL). RUL memberikan estimasi umur pakai yang tersisa sebelum komponen memerlukan perbaikan atau penggantian, sehingga sangat relevan untuk mendukung strategi *predictive maintenance*.

Penelitian ini berfokus pada penerapan *Fuzzy Logic* berbasis MTBF dan MTTR dalam menganalisis pola kegagalan komponen *belt conveyor*. Dengan pendekatan ini diharapkan dapat diperoleh informasi prioritas pemeliharaan yang lebih akurat, sehingga *downtime* dapat diminimalkan dan keandalan sistem secara keseluruhan meningkat.

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, permasalahan penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana menghitung nilai MTBF dan MTTR berdasarkan data *downtime belt conveyor*?
2. Bagaimana memodelkan hubungan MTBF dan MTTR terhadap RUL menggunakan metode *Fuzzy Logic*?
3. Bagaimana menentukan prioritas pemeliharaan komponen *belt conveyor* berdasarkan hasil analisis RUL?

3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Menghitung nilai MTBF dan MTTR dari data *downtime belt conveyor*.
2. Membangun model *Fuzzy Logic* untuk memetakan MTBF dan MTTR menjadi nilai RUL.
3. Menentukan prioritas pemeliharaan komponen berdasarkan hasil RUL.

4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Akademis: Menambah kontribusi dalam pengembangan metode analisis keandalan berbasis *Fuzzy Logic*.
2. Praktis: Memberikan panduan bagi pihak operasional dalam menentukan prioritas pemeliharaan komponen *belt conveyor*.
3. Strategis: Mendukung penerapan *predictive maintenance* guna mengurangi *downtime* dan meningkatkan efisiensi sistem.

METODE PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Fuzzy Logic* untuk menganalisis pola kegagalan *belt conveyor*. Parameter reliabilitas yang digunakan sebagai variabel input adalah *Mean Time Between Failures* (MTBF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR), sedangkan output sistem berupa *Remaining Useful Life* (RUL).

2. Lokasi dan Data Penelitian

Data diperoleh dari catatan *downtime belt conveyor* pada salah satu perusahaan (Perusahaan X) selama periode September 2024. Informasi yang digunakan meliputi jumlah kegagalan setiap komponen dan total waktu perbaikan. Tabel data awal penelitian:

Tabel 1. Data Perusahaan X

Komponen	Jumlah Kegagalan (N_fail)	Total Waktu Perbaikan (jam)
Keausan/Keropos (KK)	8	19,0
<i>Belt System</i> (BS)	1	1,0
<i>Roller & Carriage</i> (RC)	1	1,0
<i>Preventive Maintenance</i> (PM)	7	3,5

3. Tahapan Penelitian

Langkah-langkah penelitian disusun sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data
Mengambil data *downtime belt conveyor* dari catatan perawatan perusahaan.
2. Perhitungan MTBF dan MTTR
 - a. MTBF dihitung dengan rumus:

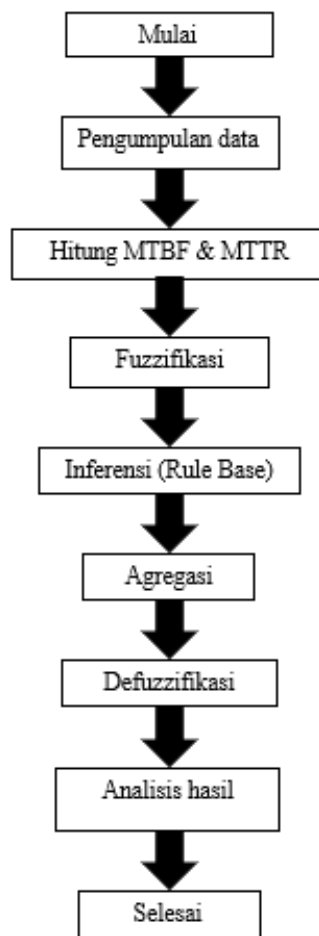
$$MTBF = \frac{\text{Total Waktu Operasi}}{\text{Jumlah Kegagalan}}$$
 - b. MTTR dihitung dengan rumus:

$$MTTR = \frac{\text{Total Waktu Perbaikan}}{\text{Jumlah Kegagalan}}$$
3. Penentuan Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)
Menentukan domain variabel fuzzy:
 - a. MTBF (jam): *Low, Medium, High*
 - b. MTTR (jam): *Short, Medium, Long*
 - c. RUL (%): *Low, Medium, High*
4. Penyusunan Rule Base
Membuat aturan fuzzy berbentuk IF–THEN untuk menghubungkan MTBF dan MTTR dengan RUL. Total 9 aturan digunakan pada penelitian ini.

5. Proses Inferensi Fuzzy
Menggunakan metode Mamdani dengan operator *AND* (*min*), implikasi (*clipping*), dan agregasi (*max*).
6. Defuzzifikasi
Output fuzzy RUL diubah menjadi nilai crisp menggunakan metode centroid.
7. Analisis Hasil
Nilai RUL digunakan untuk menentukan prioritas pemeliharaan setiap komponen.

4. Alur Penelitian

Secara ringkas, proses penelitian ditunjukkan melalui diagram alir berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Proses Analisis

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Perhitungan MTBF dan MTTR

Berdasarkan data downtime dengan asumsi waktu operasi total 240 jam (30 hari × 8 jam/hari), diperoleh hasil perhitungan MTBF dan MTTR sebagaimana ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 2. Hasil Perhitungan MTBF dan MTTR

Komponen	MTBF (jam)	MTTR (jam)
Keausan/Keropos (KK)	30,0	2,375
Belt System (BS)	240,0	1,000
Roller & Carriage (RC)	240,0	1,000
Preventive Maintenance (PM)	34,3	0,500

Interpretasi awal:

- MTBF terendah dimiliki oleh PM, yang menunjukkan frekuensi kerusakan atau perawatan cukup tinggi.
- MTTR tertinggi dimiliki oleh KK, sehingga waktu perbaikan relatif lebih lama dibanding komponen lain.

2. Fuzzifikasi dan Rule Base

Nilai MTBF dan MTTR setiap komponen diubah ke dalam derajat keanggotaan (*membership function*). Dari hasil fuzzifikasi, diperoleh bahwa:

- KK dominan pada kategori MTBF *Low* dan MTTR *Long*.
- BS dan RC dominan pada kategori MTBF *High* dan MTTR *Medium*.
- PM dominan pada kategori MTBF *Low* dan MTTR *Short*.

Rule base yang aktif:

- KK → *Rule 9 (Low MTBF & Long MTTR → RUL Low)*.
- PM → *Rule 7 (Low MTBF & Short MTTR → RUL Medium)*.
- BS dan RC → *Rule 2 (High MTBF & Medium MTTR → RUL High)*.

3. Hasil Defuzzifikasi RUL

Proses defuzzifikasi dengan metode centroid menghasilkan nilai RUL untuk setiap komponen sebagaimana ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Defuzzifikasi RUL

Komponen	RUL (%)	Keterangan Prioritas
Keausan/Keropos (KK)	20,0	Prioritas sangat tinggi
Preventive Maintenance (PM)	50,0	Prioritas sedang
Belt System (BS)	85,6	Kondisi baik
Roller & Carriage (RC)	85,6	Kondisi baik

4. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

1. Komponen KK memiliki RUL terendah (20%), sehingga perlu mendapatkan prioritas utama dalam pemeliharaan. Tingginya MTTR pada komponen ini menunjukkan bahwa perbaikannya memerlukan waktu lebih lama, sehingga potensi downtime lebih besar jika tidak segera ditangani.
2. Komponen PM memiliki RUL 50%, menandakan bahwa kegiatan pemeliharaan preventif harus tetap dilaksanakan secara konsisten untuk menjaga keandalan sistem.
3. Komponen BS dan RC memiliki RUL tinggi (85,6%), sehingga tidak memerlukan prioritas pemeliharaan segera. Namun, pemantauan rutin tetap diperlukan agar kondisi tersebut dapat dipertahankan.

4. Penerapan metode *Fuzzy Logic* terbukti mampu mengubah parameter reliabilitas (MTBF dan MTTR) menjadi informasi yang lebih intuitif berupa RUL. Dengan demikian, pendekatan ini mendukung implementasi strategi *predictive maintenance* yang lebih efektif dibanding hanya mengandalkan nilai MTBF dan MTTR secara terpisah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penerapan *Fuzzy Logic* berbasis MTBF dan MTTR untuk analisis pola kegagalan *belt conveyor*, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai MTBF dan MTTR dapat dihitung dari data *downtime* dan menunjukkan perbedaan signifikan antar komponen. Komponen Keausan/Keropos (KK) memiliki MTTR tertinggi (2,375 jam), sedangkan *Preventive Maintenance* (PM) memiliki MTBF terendah (34,3 jam).
2. Penerapan metode *Fuzzy Logic* dengan sistem inferensi Mamdani dan metode defuzzifikasi centroid berhasil memetakan MTBF dan MTTR menjadi nilai *Remaining Useful Life* (RUL) yang lebih intuitif.
3. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa komponen KK memiliki RUL terendah (20,0%), diikuti PM (50,0%), sedangkan BS dan RC memiliki RUL tertinggi (85,6%).
4. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa komponen KK dan PM perlu mendapatkan prioritas pemeliharaan yang lebih tinggi dibandingkan komponen lainnya.
5. Model yang dikembangkan dapat mendukung strategi *predictive maintenance* dengan memberikan informasi kuantitatif dan kualitatif yang membantu dalam pengambilan keputusan pemeliharaan.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Bung Hatta, khususnya Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, yang telah memberikan dukungan akademik dan fasilitas penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak perusahaan yang telah menyediakan data *downtime belt conveyor* sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Tidak lupa, penulis menyampaikan apresiasi kepada dosen pembimbing, rekan-rekan, serta keluarga yang senantiasa memberikan bimbingan, motivasi, dan doa dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Alspaugh, M. A. (2004). *Conveyor design and analysis for handling bulk materials*. Bulk Handling Equipment Publisher.

ASQ. (2011). *Reliability definition*. American Society for Quality.

ASQ. (2022). *Reliability engineering overview*. American Society for Quality.

Ebeling, C. E. (2010). *An introduction to reliability and maintainability engineering*. McGraw-Hill.

Fatoni, A., dkk. (2016). *Konsep keandalan sistem teknik mesin*. Jurnal Rekayasa Mesin.

- Fedorko, G., et al. (2013). Belt conveyor systems for bulk materials. *Applied Mechanics and Materials*, 309, 215–220.
- GEIA. (2008). *Reliability prediction of electronic equipment*. Government Electronics and Information Association.
- Hou, Y., & Meng, X. (2008). Drive pulley design in belt conveyor system. *Journal of Mechanical Design*, 130(4), 441–448.
- Hung, D. V., & Elbert, A. (2005). Introduction to fuzzy logic control. *International Journal of Control Systems*, 17(2), 99–106.
- Jairo, M., et al. (2005). Fuzzy interface system modeling for engineering applications. *Fuzzy Systems and Applications Journal*, 12(3), 145–152.
- Laprie, J. C. (1992). *Dependability: Basic concepts and terminology*. Springer-Verlag.
- Lodewijks, G. (2014). *Belt conveyor technology for bulk materials handling*. Delft University Press.
- Mazurkiewicz, D. (2008). Analysis of conveyor belt carcass. *Maintenance and Reliability Journal*, 2(38), 34–39.
- Phister, M. G., & Olwell, D. H. (2024). *Reliability engineering: Theory and applications*. Springer.
- Rehmat Ali. (2018). *Fuzzy logic control and applications*. Engineering Science Press.
- Zhao, Y., & Lin, J. (2011). Analysis of idler structures in belt conveyor systems. *International Journal of Mechanical Engineering*, 22(1), 45–52.
- Zeeuw van der Laan, A. (2016). *Conveyor belt systems: Design, applications, and maintenance*. CRC Press.