

## Perencanaan Perawatan Mesin *Electrolytic Tinning Line* Menggunakan Metode *Risk Based Maintenance*

Ira Wahyuli<sup>1</sup>, Ardita Maharani<sup>2</sup>, Ahmad Nalhadi<sup>3</sup>, Supriyadi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya

Email: <sup>1</sup>irawahyuli00@gmail.com, <sup>2</sup>arditamaharaniez86@gmail.com, <sup>3</sup>irqi02@gmail.com, <sup>4</sup>supriyadi@unsera.ac.id

### Abstrak

Mesin *Electrolytic Tinning Line* adalah mesin yang penting dalam produksi tinsplate, yang merupakan bahan dasar untuk membuat kaleng makanan dan minuman. Dalam proses produksinya, mesin ini mengalami *downtime* sehingga berpengaruh pada proses produksi tinsplate. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi risiko kegagalan menggunakan *Risk Based Maintenance* (RBM) dan merekomendasikan sistem pemeliharaan berdasarkan hasil *Fault Tree Analysis* (FTA). RBM digunakan menentukan tingkat kerusakan pada mesin produksi. FTA dapat memprediksi probabilitas kegagalan dan mengidentifikasi sebab akar kegagalan secara sistematis. Penelitian ini menggunakan data proses produksi selama tahun 2020. Berdasarkan hasil dari identifikasi risiko menggunakan RBM diperoleh hasil bahwa *abrasion* dan *dent* merupakan dua jenis kegagalan yang menjadi prioritas dan termasuk kategori *catastrophic* dengan nilai RPN sebesar 648 dan 512. Hasil identifikasi menggunakan FTA diketahui bahwa penyebab *defect abrasion* adalah pada proses *pickling section* dan *tin plating section*. Penyebab *defect dent* yaitu pada mesin yaitu pada proses *exit section* dan *exit loop tower*. Rekomendasi perbaikan adalah dengan memperbaiki proses pemeriksaan dan perawatan rutin. Langkah lainnya adalah melakukan sistem monitoring menggunakan sensor sehingga dapat menampilkan informasi secara real-time. Sistem ini mempermudah tindak lanjut pemeliharaan sesuai dengan permasalahan yang terdeteksi.

**Kata Kunci:** *Fault Tree Analysis, Risk Based Maintenance, Risk Priority Number, Sistem Pemeliharaan*

### Abstract

*The Electrolytic Tinning Line is an important machine in producing tinplate, the basic material for making food and beverage cans. In the production process, this machine experiences downtime that affects the tinplate production process. This research aims to identify the risk of failure using Risk Based Maintenance (RBM) and recommend a maintenance system based on Fault Tree Analysis (FTA) results. RBM is used to determine the level of damage to the production machine. FTA can predict the probability of failure and identify the root cause of failure systematically. This research uses production process data from 2020. Based on the results of risk identification using RBM, it is found that abrasion and dent are two types of failures that are prioritised and included in the catastrophic category with RPN values of 648 and 512. The identification results using FTA show that the causes of abrasion defects are in the pickling section and tin plating section processes. The cause of dent defects is in the machine, namely in the exit section and exit loop tower processes. The recommendation for improvement is to improve the inspection process and routine maintenance. Another step is to conduct a monitoring system using sensors to display information in real time. This system facilitates maintenance follow-up according to the detected problems.*

**Keywords:** *Fault Tree Analysis, Risk Based Maintenance, Risk Priority Number, Maintenance System*

## 1. PENDAHULUAN

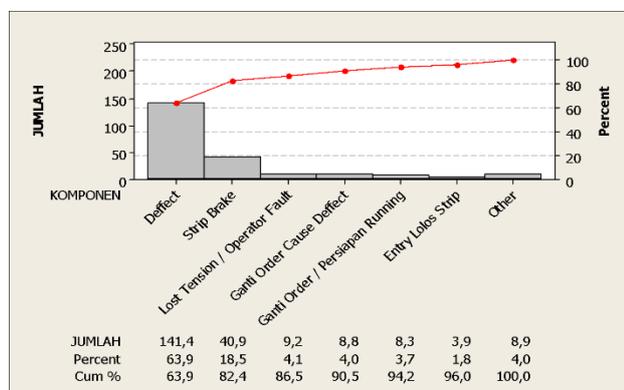
Kinerja pemeliharaan mempunyai peranan yang penting dalam menjaga proses produksi berjalan dengan baik. Kegiatan pemeliharaan berkaitan dengan upaya inspeksi, pembersihan terjadwal, penyesuaian, perbaikan, dan penggantian mesin untuk memastikan keandalan operasional, dan kualitas produk akhir [1]. Perkembangan peralatan yang bersifat otomatis membuat tantangan dalam menjaga kinerja mesin dalam kondisi ideal dan beroperasi

secara efektif [2]. Kegiatan pemeliharaan yang kurang baik dapat berdampak pada peningkatan sumber daya dan biaya pemeliharaan [3].

Downtime mesin yang terjadi dapat mempengaruhi kemampuan produktif aset fisik seperti mengurangi produksi, meningkatkan biaya operasional, dan mengganggu layanan pelanggan. Tanpa perencanaan jadwal pemeliharaan preventif, kegagalan dapat terjadi dalam sistem proses di tingkat manapun sampai ke tingkat

kegagalan sistem [4]. Kegagalan yang tidak diharapkan juga memiliki efek buruk pada lingkungan dan dapat mengakibatkan kecelakaan [5].

*Tinplate* merupakan selembar baja yang dilapisi dengan lapisan tipis timah untuk melindungi baja dari korosi dan memberikan sifat tahan karat. Biasanya digunakan untuk membuat wadah makanan seperti kaleng makanan, kaleng minuman, dan wadah lainnya. Lapisan timah pada tinplate juga membuatnya mudah dicetak dan dihias dengan gambar dan label. Dalam tahapan produksi dapat terjadi kerusakan sehingga proses perawatan atau *maintenance* sangat diutamakan. Dalam mesin produksi tinplate melibatkan banyak mesin sehingga memerlukan perencanaan pemeliharaan yang baik. Hasil observasi awal menunjukkan pada mesin produksi *defect* sering terjadi dengan jumlah 141,4, *strip brake* 40,9, *lost tension/operator fault* 9,2, ganti *order cause defect* 8,8, ganti order/persiapan *running* 8,3, *entri lolos strip* 3,9, dan *other* 8,9 (Gambar 1). Ketika kerusakan terjadi dapat menghambat proses produksi dan dalam perbaikannya membutuhkan waktu yang cukup lama.



Gambar 1. Data Downtime

*Risk based maintenance* (RBM) merupakan salah satu alat untuk mengurangi kemungkinan kegagalan dalam struktur dan konsekuensi yang terkait [6]. Penilaian berbasis risiko dapat membantu mengatasi konflik antara meminimalkan biaya pemeliharaan dan inspeksi dengan memaksimalkan tingkat keandalan [7]. RBM bertujuan untuk meminimalkan potensi kerusakan peralatan dan untuk meminimalkan dampak negatif dari peralatan setelah kegagalan dan untuk meminimalkan biaya pemeliharaan secara keseluruhan dengan memaksimalkan keandalan peralatan [8], [9]. Kegiatan inspeksi dan pemeliharaan diprioritaskan berdasarkan risiko terkuantifikasi yang disebabkan oleh kegagalan komponen, sehingga total risiko dapat diminimalkan.

Implementasi RBM secara umum dapat mengklasifikasi risiko masing-masing komponen sehingga memudahkan pengambilan keputusan dalam melakukan strategi

pemeliharaan [10]. Perancangan interval perawatan berdasarkan hasil RBM mampu memperbaiki menurunkan biaya perawatan di bawah standar yang telah ditentukan perusahaan [11]. Hasil aplikasi RBM juga mampu meningkatkan kehandalan peralatan sehingga mampu mengoptimalkan proses produksi [12].

RBM mempunyai kekurangan terkait dengan ketidakmampuan dalam memprediksi probabilitas kegagalan yang tepat dan hanya memberikan rekomendasi perawatan yang berdasarkan estimasi risiko. Selain itu RBM kurang akurat dalam mengidentifikasi sebab akar kegagalan karena hanya didasarkan pada pengalaman dan pengetahuan ahli dalam industri, sehingga mungkin kurang akurat dalam mengidentifikasi sebab akar kegagalan yang mendasar.

Disisi lain, Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dapat memprediksi probabilitas kegagalan yang tepat dan mengidentifikasi sebab akar kegagalan secara sistematis. FTA merupakan metodologi yang efektif untuk menganalisis keandalan dan keamanan dengan menentukan komponen kritis dan penyebab kegagalan [13]. FTA bersifat deduktif yang berarti analisis dimulai dengan kejadian puncak (kegagalan sistem) dan bekerja mundur dari puncak pohon menuju daun pohon untuk menentukan akar penyebab kejadian puncak [14]. Implementasi RBM dan FTA mampu merencanakan manajemen perencanaan pemeliharaan berbasis risiko sehingga dapat meminimalkan konsekuensi (terkait keselamatan, ekonomi, dan lingkungan) dari kegagalan sistem serta menghasilkan pemanfaatan aset dan modal yang lebih baik [15]. Integrasi ini juga membantu penentuan subsistem komponen yang dianggap kritis sehingga memudahkan perencanaan pemeliharaan dan mencari penyebab permasalahannya [16]. Penelitian ini bertujuan melakukan perencanaan pemeliharaan menggunakan *risk based maintenance* (RBM) dan *Fault tree Analysis* (FTA) sehingga potensi kegagalan peralatan dapat diminimalkan.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di sebuah perusahaan kimia yang berada di daerah Banten. Penelitian difokuskan pada mesin *Electrolytic Tinning Line* (ETL) berdasarkan laporan kerusakan mesin produksi atau waktu *downtime* pada mesin produksi. Data produksi yang digunakan adalah data produksi tahun 2020.

Pengolahan data dilakukan dengan metode *Risk Based Maintenance* (RBM) yang bertujuan untuk mengurangi risiko keseluruhan dari fasilitas yang beroperasi [17]. RBM menyarankan serangkaian rekomendasi tentang pencegahan (jenis dan frekuensinya) berdasarkan nilai kuantitatif risiko yang diperoleh [15]. Evaluasi hasil sebagai hasil kali antara konsekuensi kegagalan dan probabilitas kegagalan.

Berdasarkan hasil evaluasi risiko, keputusan dibuat tentang prioritas inspeksi [18].

Secara umum, RBM mempunyai tiga tahapan yaitu tahap penentuan risiko, evaluasi risiko dan perencanaan pemeliharaan. Tahap penentuan risiko dilakukan dengan cara melakukan identifikasi dan estimasi risiko yang merupakan data - data skenario kegagalan yang terdapat pada permasalahan yang terjadi. Tahap evaluasi risiko bertujuan untuk mengevaluasi risiko yang diperkirakan terjadi [15]. Evaluasi ini terdiri dari dua langkah yaitu mempersiapkan kriteria dan membandingkan risiko dengan kriteria penerimaan. Kriteria penerimaan mengidentifikasi risiko tertentu yang dilakukan dalam penelitian ini. Hal yang memungkinkan terjadi perbedaan kriteria dan tingkat risiko yang dapat diterima tergantung pada sifat dan jenis sistem. Perbandingan risiko terdapat penerimaan kriteria adalah berhubungan dengan peralatan yang mendapatkan prioritas rencana pemeliharaan. Perencanaan pemeliharaan dengan mempertimbangkan faktor risiko bertujuan mengurangi tingkat risiko melalui rencana pemeliharaan yang lebih baik. Estimasi perawatan dengan durasi yang optimal. Langkah pemeliharaan adalah dengan melakukan estimasi perawatan dengan durasi yang optimal dan estimasi ulang serta evaluasi risiko [15].

*Fault Tree Analysis (FTA)* biasanya dianggap sebagai alat yang tepat untuk mengidentifikasi unit pemeliharaan berbasis risiko [19]. *FTA* adalah metode deduktif di mana

kejadian yang tidak diinginkan, yang disebut kejadian puncak, didefinisikan dan, dari sana, penyebab atau kombinasi penyebab yang dapat menyebabkan terjadinya kejadian ini didefinisikan secara sistematis [14], [20]. Gerbang AND menunjukkan bahwa semua sub-kejadian harus terjadi agar peristiwa utama terjadi, sedangkan gerbang OR menunjukkan bahwa terjadinya hanya salah satu sub-kejadian yang diperlukan untuk memicu peristiwa utama [21].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mesin *Electrolytic Tinning Line* adalah mesin yang penting dalam produksi tinplate, yang merupakan bahan dasar untuk membuat kaleng makanan dan minuman. Proses produksi tinplate melibatkan pelapisan lembaran baja dengan lapisan tipis timah melalui mesin *Electrolytic Tinning Line*. Dalam *electrolytic tinning line (ETL)* terdiri dari 9 produksi yaitu *entry section, cleaner section, picking section, tin plating section, coating i.d section, reflow section, chemical treatment section, electrostatic oiler section, dan exit section*. Dalam mesin produksi terdapat beberapa komponen yang harus diperhatikan dalam perawatannya yaitu *defect, ganti order/ persiapan running, ganti order cause defect, circulation system, tmbp, utility, entry lolos strip, entry tower limit/ cek welding, exit tower limit, lost tension/ operator fault, moving/boiler, normalisasi posisi boiler, dan strip brake*.

**Tabel 1.** Risk Level Skenario Kegagalan

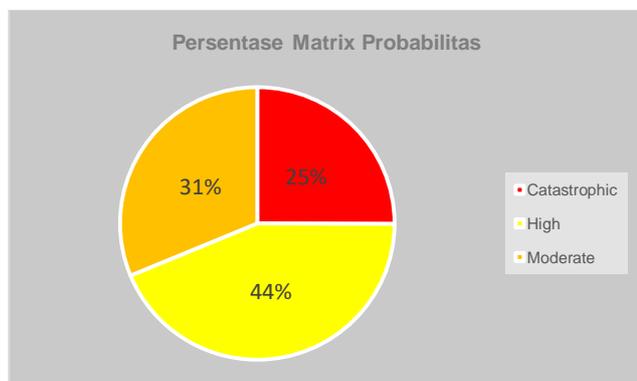
| No | Jenis Defect                               | Potensi Kegagalan   | Skala |   |   | RPN | Risk Level   |
|----|--|---|-------|---|---|-----|--------------|
|    |  |   | S     | O | D |     |              |
| 1  | <i>Abration</i> (Pengikisan)               | Terjadinya goresan pada permukaan <i>tinplate</i> yang sudah di <i>coating</i> sehingga jika goresan sampai <i>base mental</i> akan menimbulkan korosi dan penampilan permukaan yang tidak baik.            | 9     | 9 | 8 | 648 | Catastrophic |
| 2  | <i>Dent</i> (Lekuk)                        | Terjadinya titik atau spot pada permukaan <i>tinplate</i> yang berisiko terjadinya korosi   | 8     | 8 | 8 | 512 | Catastrophic |
| 3  | <i>Dust</i> (Debu)                         | Permukaan <i>tinplate</i> terdapat kotoran timah, menyebabkan penampilan permukaan <i>tinplate</i> tidak bagus  | 8     | 7 | 8 | 448 | High         |
| 4  | <i>Ripple/ Tin Globe</i> (Pinggiran kisut) | Rusaknya pinggiran <i>tinplate</i> akibat gesekan dengan benda lain   | 7     | 8 | 7 | 392 | High         |
| 5  | <i>Dirty Roll</i> (Roll Kotor)             | permukaan <i>tinplate</i> kotor dan menyebabkan penampilan permukaan <i>tinplate</i> tidak bagus  | 7     | 7 | 7 | 343 | High         |
| 6  | <i>Line Mark</i> (Tanda Garis)             | Terdapat bekas garis pada permukaan <i>tinplate</i> yang diakibatkan adanya <i>roll groove</i>  | 7     | 7 | 6 | 294 | High         |
| 7  | <i>Quench Stain/Water Stain</i> (Noda)     | terdapat noda berpola pada permukaan <i>tinplate</i> yang menyebabkan penampilan permukaan <i>tinplate</i> tidak bagus  | 7     | 6 | 7 | 294 | High         |
| 8  | <i>Creases</i> (Lipatan)                   | Menyebabkan permukaan <i>strip</i> tidak flat dan berisiko pada kerusakan <i>tinplate</i>   | 6     | 6 | 7 | 252 | High         |
| 9  | <i>PPS (Pin Point Scratch)</i>             | Terjadinya goresan halus dalam pada permukaan <i>tinplate</i> yang sudah di <i>coating</i> sehingga jika goresan sampai <i>base mental</i> akan menimbulkan korosi dan penampilan permukaan yang tidak baik | 5     | 7 | 7 | 245 | Moderate     |
| 10 | <i>Arc Burn</i> (Noda Bakar)               | permukaan <i>strip</i> akan menjadi rusak, sehingga dapat menyebabkan timbulnya korosi  | 5     | 7 | 6 | 210 | Moderate     |
| 11 | <i>Dull Surface</i> (Permukaan kusam)      | permukaan <i>tinplate</i> akan terlihat kusam dan menyebabkan penampilan permukaan <i>tinplate</i> tidak bagus  | 8     | 4 | 6 | 192 | Moderate     |
| 12 | <i>Wrinkle</i> (Kerut)                     | Terjadinya kerut pada permukaan <i>tinplate</i>   | 8     | 6 | 4 | 192 | Moderate     |
| 13 | <i>Weavy</i> (Menun)                       | Pinggiran <i>tinplate</i> tidak rata  | 5     | 6 | 6 | 180 | Moderate     |
| 14 | <i>Buckle</i> (Gesper)                     | permukaan <i>tinplate</i> pada bagian tengah tidak rata   | 6     | 4 | 6 | 144 | Moderate     |

|    |                       |  |   |   |   |     |          |
|----|-----------------------|--|---|---|---|-----|----------|
| 15 | Scratch (Menggores)   | Terjadinya goresan dalam pada permukaan <i>tinplate</i> yang sudah di <i>coating</i> sehingga jika goresan sampai <i>base metal</i> akan menimbulkan korosi dan penampilan permukaan yang tidak baik | 8 | 6 | 3 | 144 | Moderate |
| 16 | TPU (Timah Terangkat) | lepasnya lapisan <i>coating</i> timah pada permukaan <i>tinplate</i> dan berpotensi menyebabkan korosi dan tampilan permukaan yang tidak bagus   | 4 | 5 | 7 | 140 | Moderate |

Langkah awal adalah melakukan identifikasi dan estimasi risiko *defect* produksi. Untuk dapat menentukan nilai risiko kegagalan dari setiap komponennya dengan mengetahui nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) dengan outputnya menentukan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan bagian *maintenance*, didapatkan nilai S.O.D sebagai fokus utama untuk menentukan nilai *Risk Priority Number* (RPN).

Penentuan risiko kegagalan yang terjadi pada mesin produksi dengan cara menentukan skenario kegagalan atau kerusakan pada proses produksi. Data yang didapatkan dalam menentukan risiko kegagalan atau kerusakan dari setiap komponen adalah dari data *history* kerusakan yang terjadi dengan hasil pengecekan inspeksi rutin. Dalam skenario kegagalan yang terjadi pada bagian produksi terdapat beberapa *defect* dengan skenario kegagalannya (Tabel 1).

Evaluasi risiko dilakukan dengan menentukan nilai – nilai *everity*, *Occurrence*, dan *Detection*. Untuk mendapatkan nilai tersebut dapat menggunakan data yang diambil dari *history* proses produksi. Data Hasil *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) Dari data skenario kegagalan maka dapat mengetahui seberapa besar hasil *everity*, *Occurrence*, dan *Detectability*. Data tersebut diolah sesuai dengan langkah pemecahan masalah dengan cara perhitungan RPN. Dalam perhitungan rumus RPN yaitu melakukan perkalian berdasarkan tiga elemen yaitu  $RPN = Severity \times Occurrence \times Detection$  (Tabel 1).



Gambar 2. Persentase Matrik Probabilitas

Hasil analisa risiko dengan menggunakan *risk matrix* komponen yang memiliki risiko *catastrophic* (Bencana) sebanyak 25%, komponen yang memiliki risiko *high* sebanyak 31%, komponen yang memiliki risiko *medium*

sebanyak 44% (Gambar 2). Analisa skenario kegagalan *defect* tertinggi pertama yaitu *Abration* dengan nilai RPN (*Risk Priority Number*) sebesar 648 dengan skenario kegagalannya yaitu terjadinya goresan pada permukaan *tinplate* yang sudah di *coating* sehingga jika goresan sampai *base metal* akan menimbulkan korosi dan penampilan permukaan yang tidak baik.. Urutan kedua nilai RPN (*Risk Priority Number*) terbesar dimiliki oleh *Dent* dengan nilai RPN sebesar 512 dengan skenario kegagalannya yaitu terjadinya titik atau spot pada permukaan *tinplate* yang berisiko terjadinya korosi. Hasil nilai RPN terbesar tersebut kemudian dilakukan perbaikan dengan tujuan untuk mengetahui risiko kemungkinan terjadi yang menyebabkan 2 komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi mengalami kerusakan. Implementasi RPN membantu memudahkan perencanaan pemeliharaan berdasarkan nilai risiko yang diperoleh [22], [23].

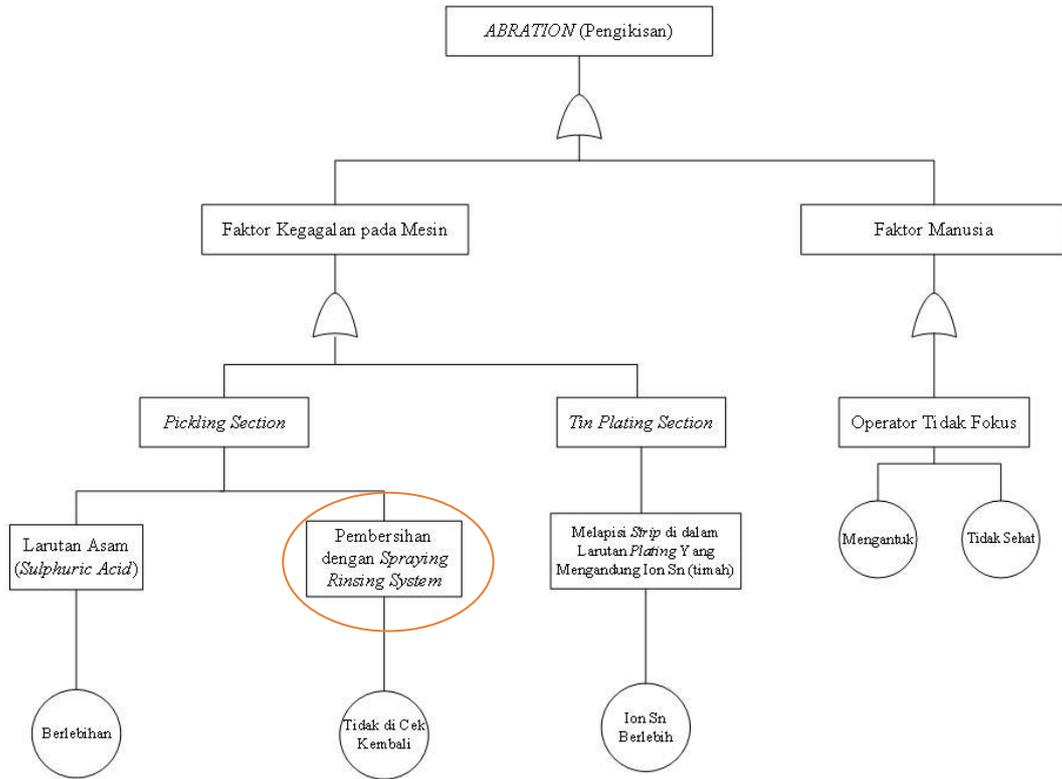
Perencanaan pemeliharaan dengan menggunakan analisa FTA pada kedua nilai RPN tertinggi. Pada *defect* produksi, *abrasion* merupakan *defect* tertinggi utama pada hasil perhitungan RPN. Analisa penyebab terjadinya risiko kemungkinan kerusakan tersebut dengan menggunakan metode FTA (Gambar 3). Faktor penyebab masalah dari *abrasion* adalah disebabkan oleh 2 faktor yaitu faktor kegagalan pada mesin dan faktor pada manusia. Pada faktor mesin terdapat 2 kegagalan yang terjadi yaitu kegagalan dari *pickling section* dengan kelarutan asam (*sulphuric Acid*) yang berlebihan dan pembersihan dengan *spraying rinsing system* yang sering tidak di cek kembali, serta pada kegagalan dari *tin plating section* yaitu melapisi strip di dalam larutan *plating* yang mengandung ion sn (timah) berlebihan. Kegagalan pada faktor manusia yaitu disebabkan oleh kondisi operator yang tidak optimal.

Pada *defect* produksi, *dent* merupakan *defect* tertinggi kedua pada hasil perhitungan RPN(*Risk Priority Number*). Faktor penyebab masalah dari *dent* adalah disebabkan oleh 2 faktor yaitu faktor kegagalan pada mesin dan faktor pada manusia. Pada faktor mesin terdapat 2 kegagalan yang terjadi yaitu kegagalan dari *exit section* dengan penggulangan pada akhir *strip tinplate* tidak konstan, serta pada kegagalan dari *exit loop tower* yaitu pada pengaturan kecepatan proses penggulangan tidak konstan. Kegagalan pada faktor manusia yaitu disebabkan oleh kondisi operator yang tidak optimal (Gambar 4).

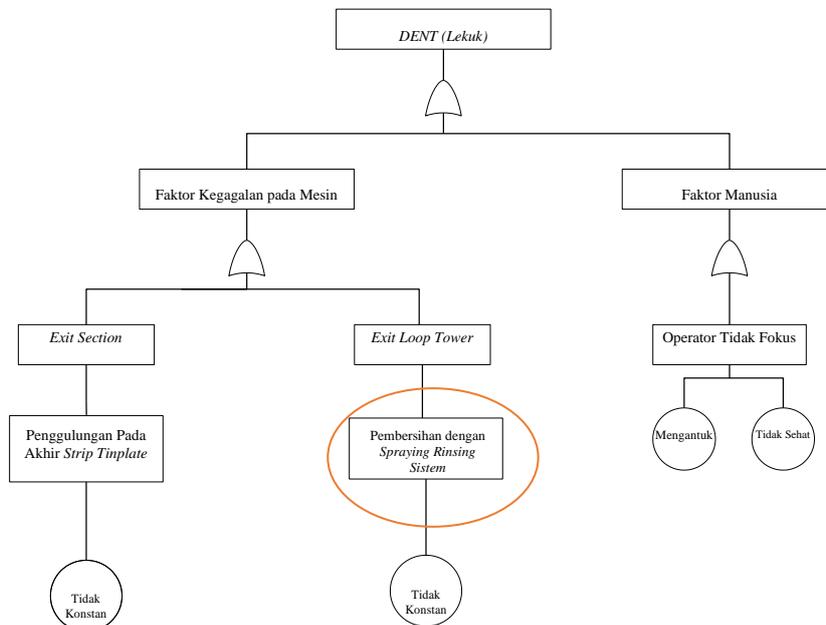
Penyebab utama terjadinya *abrasion* dan *dent* adalah pada saat pembersihan dengan *spraying rinsing system*. Pembersihan yang kurang baik akan mengakibatkan mesin

tidak beroperasi dengan baik. Langkah perbaikan yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan perawatan rutin pada mesin setelah proses pembersihan selesai dilakukan. Hal ini akan membantu menjaga kinerja dan umur mesin agar tetap optimal. Langkah perencanaan perawatan adalah dengan melakukan penjadwalan rutin untuk melakukan

perawatan, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kapasitas produksi. Langkah lain adalah melakukan pemeriksaan rutin pada mesin setiap kali melakukan perawatan. Pemeriksaan ini dilakukan untuk memastikan mesin berfungsi dengan baik dan tidak mengalami kerusakan atau masalah teknis lain.



Gambar 3. Fault Tree Analysis Abration



Gambar 4. Fault Tree Analysis Dent

Langkah lain adalah implementasi sistem monitoring menggunakan sensor debu dan air. Sensor debu dapat diatur untuk mendeteksi partikel-partikel kotoran dan debu pada mesin *Electrolytic Tinning Line*. Sensor ini mampu mengirimkan sinyal atau informasi kepada sistem monitoring untuk dilakukan tindakan lebih lanjut. Sensor pendeteksi air untuk mendeteksi keberadaan air pada mesin. Sensor ini juga dapat diatur untuk memberikan informasi tentang tingkat kelembaban pada mesin. Sistem monitoring ini dapat menampilkan informasi secara real-time, yang mencakup tingkat kotoran dan debu, tingkat kelembaban mesin. Setelah mendapatkan informasi dari sistem monitoring, dapat dilakukan tindakan lanjut sesuai dengan masalah yang terdeteksi. Misalnya, jika terdeteksi kotoran atau debu yang berlebihan pada mesin, maka sistem otomatis dapat diaktifkan untuk melakukan proses pembersihan atau spraying rinsing.

#### 4. KESIMPULAN

Prioritas perbaikan kegagalan mesin *Electrolytic Tinning Line* menggunakan pendekatan RBM diperoleh tiga kategori 25% memiliki risiko *catastrophic*, 31 %, komponen yang memiliki risiko *high* dan komponen yang memiliki risiko *medium* sebanyak 44%. Rencana perencanaan pemeliharaan difokuskan pada jenis kegagalan *abrasion* dan *dent* yang termasuk dalam risiko *catastrophic*. Hasil analisa kegagalan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA) diketahui faktor *defect abrasion* terjadi pada proses *pickling section* dan *tin plating section*. *Defect dent* terjadi pada proses *exit section* dan *exit loop tower*. Perbaikan dalam proses pemeriksaan rutin, penjadwalan pemeliharaan dan penggunaan sistem monitoring secara real time diharapkan mampu mempercepat proses identifikasi permasalahan dan langkah perbaikannya. Penelitian dapat dilanjutkan dengan menggunakan fuzzy RBM dan Fuzzy ANP untuk membantu mengambil keputusan dalam perencanaan pemeliharaan yang akan dilakukan.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Parida and U. Kumar, 'Maintenance Productivity and Performance Measurement BT - Handbook of Maintenance Management and Engineering', M. Ben-Daya, S. O. Duffuaa, A. Raouf, J. Knezevic, and D. Ait-Kadi, Eds. London: Springer London, 2009, pp. 17–41.
- [2] N. S. Arunraj and J. Maiti, 'Risk-based maintenance—Techniques and applications', *J. Hazard. Mater.*, vol. 142, no. 3, pp. 653–661, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.069>.
- [3] J. Cullum, J. Binns, M. Lonsdale, R. Abbassi, and V. Garaniya, 'Risk-Based Maintenance Scheduling with application to naval vessels and ships', *Ocean Eng.*, vol. 148, pp. 476–485, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.11.044>.
- [4] H. Hu, G. Cheng, Y. Li, and Y. Tang, 'Risk-based maintenance strategy and its applications in a petrochemical reforming reaction system', *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 22, no. 4, pp. 392–397, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.02.001>.
- [5] S. Kiran, K. P. Prajeeth Kumar, B. Sreejith, and M. Muralidharan, 'Reliability Evaluation and Risk Based Maintenance in a Process Plant', *Procedia Technol.*, vol. 24, pp. 576–583, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.117>.
- [6] E. Arzaghi, M. M. Abaei, R. Abbassi, V. Garaniya, C. Chin, and F. Khan, 'Risk-based maintenance planning of subsea pipelines through fatigue crack growth monitoring', *Eng. Fail. Anal.*, vol. 79, pp. 928–939, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.06.003>.
- [7] Y. Garbatov and C. Guedes Soares, 'Cost and reliability based strategies for fatigue maintenance planning of floating structures', *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 73, no. 3, pp. 293–301, 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(01\)00059-X](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(01)00059-X).
- [8] E. Özcan, R. Yumuşak, and T. Eren, 'Risk Based Maintenance in the Hydroelectric Power Plants', *Energies*, vol. 12, no. 8, 2019, doi: 10.3390/en12081502.
- [9] L. Krishnasamy, F. Khan, and M. Haddara, 'Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant', *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 18, no. 2, pp. 69–81, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.01.002>.
- [10] A. Maharani, I. Wahyuli, S. Supriyadi, A. Nalhadi, and F. Fathurohman, 'Analisa Biaya Perawatan Sistem Pneumatic dengan Menggunakan Metode Risk Based Maintenance dan Cost of Unreliability', *J. Inov. dan Kreat.*, vol. 2, no. 1, pp. 10–19, Feb. 2022, doi: 10.30656/jika.v2i1.4722.
- [11] N. Aluna, J. Alhilman, and F. T. D. Atmaji, 'Analisis Perawatan Mesin Filling R125 Menggunakan Metode Risk Based Maintenance (RBM) pada Plant Large Volume Parenteral (LVP) PT XYZ', in *Prosiding Seminar Rekayasa Teknologi (SemResTek)*, 2018, pp. 567–574, [Online]. Available: [https://teknik.univpancasila.ac.id/semrestek/2018/assets/proceedings/sm/SEMRESTEK2018\\_paper\\_28.pdf](https://teknik.univpancasila.ac.id/semrestek/2018/assets/proceedings/sm/SEMRESTEK2018_paper_28.pdf).
- [12] S. Bintarum, J. Alhilman, and N. A. Supratman, 'Usulan Interval Waktu Perawatan Dan Penilaian Biaya Ketidakandalan Excavator Kobelco Sk200 Menggunakan Metode Risk Based Maintenance (rbm) Dan Cost Of Unreliability (cour) Di Po

- Rajawali Project', *eProceedings Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 2926–2933, 2018, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/6991>.
- [13] J. Kang, L. Sun, and C. Guedes Soares, 'Fault Tree Analysis of floating offshore wind turbines', *Renew. Energy*, vol. 133, pp. 1455–1467, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.097>.
- [14] S. Kabir, 'An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis', *Expert Syst. Appl.*, vol. 77, pp. 114–135, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.01.058>.
- [15] F. I. Khan and M. Haddara, 'Risk-based maintenance (RBM): A new approach for process plant inspection and maintenance', *Process Saf. Prog.*, vol. 23, no. 4, pp. 252–265, Dec. 2004, doi: <https://doi.org/10.1002/prs.10010>.
- [16] A. Bastian, F. T. D. Atmaji, and A. Pamoso, 'Usulan Kebijakan Perawatan Berdasarkan Risiko Dan Evaluasi Keandalan Untuk Penjadwalan Perawatan Pada Mesin Escher Wyss Di PT. Kertas Padalarang', *eProceedings Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–13, 2019, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/10961>.
- [17] F. I. Khan and M. M. Haddara, 'Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning', *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 16, no. 6, pp. 561–573, 2003, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlpp.2003.08.011>.
- [18] S. Sakai, 'Risk-based maintenance', *JR East Tech. Rev.*, vol. 17, pp. 1–4, 2010, [Online]. Available: [http://www.jreast.co.jp/e/development/tech/pdf\\_17/Tec-17-01-04eng.pdf](http://www.jreast.co.jp/e/development/tech/pdf_17/Tec-17-01-04eng.pdf).
- [19] L. Zhi-yong and J. Xisheng, 'Research on Equipment Maintenance Decision Mode based on RBM', in *2012 International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering*, 2012, pp. 236–239, doi: [10.1109/ICICEE.2012.69](https://doi.org/10.1109/ICICEE.2012.69).
- [20] Y. E. Senol, Y. V. Aydogdu, B. Sahin, and I. Kilic, 'Fault Tree Analysis of chemical cargo contamination by using fuzzy approach', *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 12, pp. 5232–5244, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.027>.
- [21] A. H. A. Melani, C. A. Murad, A. Caminada Netto, G. F. M. de Souza, and S. I. Nabeta, 'Criticality-based maintenance of a coal-fired power plant', *Energy*, vol. 147, pp. 767–781, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.048>.
- [22] S. B. Marpaung, D. A. A. Ritonga, and A. Irwan, 'Analisa Risk Priority Number (RPN) Terhadap Keandalan Komponen Mesin Thresher dengan Menggunakan Metode FMEA Di PT. XYZ', *JiTEKH*, vol. 9, no. 2, pp. 74–81, Sep. 2021, doi: [10.35447/jitekh.v9i2.427](https://doi.org/10.35447/jitekh.v9i2.427).
- [23] M. I. Pasaribu, D. A. A. Ritonga, and A. Irwan, 'Analisa Perawatan (Maintenance) Mesin Screw Press di Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) di PT. XYZ', *JITEKH*, vol. 9, no. 2, pp. 104–110, Oct. 2021, doi: [10.35447/jitekh.v9i2.432](https://doi.org/10.35447/jitekh.v9i2.432).