

Identifikasi Kejenuhan Resin *Ion Exchange* pada Mesin *Wirecut* Sebagai Dasar Usulan Perbaikan Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* di PT XYZ

Said M. Jalalludin ^{*1}, Haposan Vincentius Manalu ¹

*** Politeknik Negeri Batam**

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: saidmuhammadjalal20@gmail.com

Abstrak

Proses *Wire Electrical Discharge Machining* (WEDM) sangat bergantung pada kualitas air dielektrik yang dipertahankan oleh sistem resin penukar ion. Penurunan kualitas resin pada mesin *Wirecut* Mitsubishi di PT XYZ menyebabkan peningkatan konduktivitas air dielektrik yang berdampak pada ketidakstabilan proses pemotongan, peningkatan frekuensi *wire break*, dan penghentian mesin secara otomatis yang meningkatkan *downtime*. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kejenuhan resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut* EDM di PT XYZ dan menentukan akar penyebab sebagai dasar perbaikan yang dapat diterapkan secara sistematis. Metode yang digunakan adalah *Fault Tree Analysis* (FTA) yang dikombinasikan dengan analisis *5 why* untuk menelusuri sebab-akibat dari *top event* hingga *root cause*. Data diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara bersama operator dan teknisi *maintenance*, dokumentasi gangguan mesin, data operasional mesin, serta riwayat penggantian resin selama delapan bulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kejenuhan resin disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penggantian resin yang belum dengan sesuai dengan kapasitas kerja dan kapasitas resin *ion exchange* yang lebih cepat menurun. Faktor-faktor tersebut dipengaruhi oleh belum adanya standar atau indikator penggantian resin, resin tetap digunakan meskipun kapasitas penyerapnya menurun, tingginya jam operasional mesin dengan rata-rata 21 jam per hari dalam sistem 3 *shift*, tingginya volume produksi, serta variasi karakter material yang dipotong adalah DC11, *Carbide*, ASP23, V4E, dan Shim *stainless steel* 340L, ukuran, dan dimensi material yang diproses. Data historis menunjukkan bahwa penggantian resin dilakukan sebanyak 19 kali dalam waktu 214 hari operasional efektif dengan rata-rata interval sebesar 11,26 hari. Berdasarkan hasil analisis *5 why*, diperoleh dua akar penyebab utama, yaitu belum terdapat standar batas atau indikator penggantian resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut* di PT XYZ. Oleh karena itu, rekomendasi penggantian resin berbasis nilai konduktivitas air dielektrik dapat meningkatkan kestabilan operasional mesin *Wirecut* di PT XYZ.

Kata kunci: *Wire EDM, Resin Penukar Ion, Fault Tree Analysis, 5 Why Analysis, Air Dielektrik*

Abstract

The Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) process is highly dependent on the quality of dielectric water maintained by the ion exchange resin system. The degradation of resin quality in the Mitsubishi Wirecut machine at PT XYZ causes an increase in dielectric water conductivity, resulting in cutting process instability, an increased frequency of wire breakage, and automatic machine shutdowns that contribute to higher downtime. This study aims to identify the factors causing ion exchange resin saturation in the Wirecut EDM machine at PT XYZ and to determine the root causes as a basis for systematic improvement recommendations. The method employed was Fault Tree Analysis (FTA) combined with the 5 Why Analysis to trace cause-and-effect relationships from the top event to

the root cause. Data were collected through field observations, interviews with operators and maintenance technicians, machine disturbance documentation, machine operational records, and resin replacement history over an eight-month period. The results indicate that resin saturation is caused by two main factors: resin replacement that is not aligned with its operating capacity and the accelerated decline in ion exchange resin capacity. These factors are influenced by the absence of standards or indicators for resin replacement, the continued use of resin despite reduced absorption capacity, high machine operating hours averaging 21 hours per day in a three-shift system, high production volume, and variations in the characteristics, size, and dimensions of processed materials, including DC11, Carbide, ASP23, V4E, and Shim stainless steel 340L. Historical data showed that resin replacement was carried out 19 times over 214 effective operating days, with an average replacement interval of 11.26 days. Based on the results of the 5 Why Analysis, two primary root causes were identified: the absence of standard limits or indicators for ion exchange resin replacement and the lack of a monitoring system for ion exchange resin usage in the Wirecut machine at PT XYZ. Therefore, implementing resin replacement based on dielectric water conductivity values is expected to improve the operational stability of the Wirecut machine at PT XYZ.

Keywords: Wire EDM, Ion Exchange Resin, Fault Tree Analysis, 5 Why Analysis, Dielectric Water

1 Pendahuluan

Proses manufaktur merupakan salah satu inti kegiatan dalam industri teknik yang berfungsi untuk mengubah bahan mentah menjadi produk bernilai tambah. Dalam konteks industri modern, efisiensi waktu, presisi dimensi, dan kualitas permukaan menjadi indikator utama keberhasilan suatu proses produksi [1]. Dalam prosedur *Wire EDM*, air yang telah dionisasi (*deionized water*) umumnya dimanfaatkan sebagai cairan dielektrik karena dampaknya yang minim terhadap lingkungan. Mesin *Wirecut* beroperasi berlandaskan pada prinsip pengikisan bahan secara elektrik melalui loncatan percikan (*electrical discharge*) antara kawat elektroda dan objek yang dikerjakan, sehingga dapat menciptakan potongan dengan bentuk rumit dan toleransi ukuran yang sangat presisi [2].

Komponen utama yang berpengaruh terhadap kestabilan proses *Wirecut EDM* adalah kualitas air dielektrik yang digunakan. Dalam prosedur tersebut, cairan dielektrik memiliki dua peran utama: sebagai isolator listrik sampai batas tegangan tembus tercapai, dan juga sebagai media untuk membersihkan partikel yang dihasilkan dari erosi benda kerja. Seiring berjalannya waktu, cairan dielektrik dapat menjadi tercemar oleh partikel logam yang dapat meningkatkan konduktivitas dan mengurangi sifat isolasinya. Untuk menjaga agar kualitas air dielektrik tetap dalam keadaan optimal, mesin *Wirecut* dilengkapi dengan sistem resin penukar ion yang berfungsi untuk mempertahankan resistivitas listrik air pada nilai yang telah ditentukan [3].

Air deionisasi (*deionized water*) merupakan *fluida* dielektrik yang umum digunakan dalam Proses *Wire Electrical Discharge Machining (WEDM)*. Penggunaan air deionisasi sebagai *dielectric* telah banyak dilaporkan dalam penelitian, dimana *fluida* ini berfungsi sebagai media isolasi listrik yang memungkinkan terjadinya percikan listrik antara elektroda dan benda kerja. Air deionisasi dipilih karena memiliki konduktivitas rendah sehingga mampu mengontrol proses *discharge* secara stabil serta lebih ramah lingkungan dibandingkan *dielectric* berbasis minyak. Air deionisasi mendinginkan zona pemotongan, mencegah penumpukan panas yang berlebihan dan menjaga kondisi mesin [4].

Untuk menjaga kemurnian air dielektrik selama proses produksi berlangsung, mesin *Wirecut* dilengkapi dengan sistem penyaringan menggunakan *resin ion exchange* atau resin penukar ion. Resin ini bekerja dengan cara mengikat ion-ion kontaminan yang terbentuk akibat proses erosi logam selama pemotongan, sehingga konduktivitas air dielektrik dapat dipertahankan dalam rentang nilai yang telah ditentukan oleh produsen mesin. Resin *ion exchange* adalah elemen penting dalam sistem penyaringan air pada mesin *Wirecut*. Resin ini berfungsi untuk mendeionisasi air yang dipakai sebagai *fluida* dielektrik dengan cara menyingkirkan ion-ion dari air untuk menjaga tingkat resistivitas listriknya, sehingga memastikan efisiensi dan ketepatan proses *Wire Electrical Discharge Machining (WEDM)*. Ketika kualitas resin berkurang atau kapasitas pertukaran ionnya menurun, konduktivitas air akan meningkat melebihi batas yang diperbolehkan. Kenaikan konduktivitas ini memberikan efek buruk pada proses, karena dapat menyebabkan pelepasan listrik yang tidak terkontrol antara kawat elektroda dan benda kerja, yang pada akhirnya mempengaruhi kecepatan pemotongan serta mutu permukaan [5].

Penelitian mengenai kemampuan resin penukar ion dalam menyerap ion-ion logam dari larutan berair membuktikan bahwa resin penukar kation memiliki kapasitas dan efektivitas yang tinggi dalam mempertahankan kemurnian cairan pada sistem industri, di mana faktor-faktor seperti dosis resin, waktu kontak, konsentrasi ion, dan tingkat keasaman larutan secara signifikan mempengaruhi efisiensi pertukaran ion yang terjadi. Hasil penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa ketika kapasitas resin telah jenuh dan seluruh situs pengikatan terisi penuh, tidak ada lagi pertukaran ion yang dapat berlangsung sehingga kemurnian cairan tidak dapat dipertahankan [6].

Penelitian yang mengkaji pengaruh laju alir dan tinggi resin penukar ion di dalam unggun terhadap proses demineralisasi air membuktikan bahwa kandungan mineral yang tinggi pada air proses industri sangat perlu dihindari karena dapat mengakibatkan dampak negatif seperti munculnya kerak dan meningkatnya laju korosi pada peralatan, sehingga proses demineralisasi menggunakan resin penukar ion menjadi langkah pencegahan yang penting untuk menjaga kualitas air proses tetap sesuai standar yang ditetapkan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kondisi operasi terbaik diperoleh pada laju alir 4,33 ml/s dengan tinggi unggun resin 14 cm, menghasilkan efisiensi penurunan kesadahan air mencapai 93,56%, serta membuktikan bahwa ketika kapasitas resin telah jenuh dan seluruh sisi aktifnya terisi maka kemampuan pertukaran ion akan mengalami penurunan sehingga kualitas air luaran tidak lagi memenuhi standar yang dipersyaratkan [7].

Penelitian yang mengkaji penerapan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dalam mengidentifikasi penyebab terjadinya cacat pada proses produksi unit SV-521 membuktikan bahwa metode FTA mampu menguraikan hubungan sebab-akibat suatu kegagalan secara sistematis mulai dari *top event*, *intermediate event*, hingga *basic event*. Melalui penyusunan diagram FTA dan analisis *minimal cut set*, penelitian tersebut berhasil mengidentifikasi akar penyebab utama dari tiga jenis cacat dominan, yaitu *bolt* pengunci *battery box* tidak *center*, *hose front drive motor* bergesekan dengan *hose vibration motor*, dan *rubber hood* sobek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akar permasalahan yang ditemukan meliputi belum adanya standar toleransi dimensi *centering*, perbedaan diameter lubang komponen, tidak tersedianya *bracket* pada desain, kurangnya perhatian operator saat proses perakitan, serta kondisi desain komponen yang belum optimal. Berdasarkan hasil analisis tersebut, diusulkan beberapa tindakan perbaikan, antara lain penyusunan SOP pengecekan *incoming part*, penetapan standar toleransi dimensi, modifikasi desain komponen, penambahan *bracket*, serta pelatihan operator, sehingga diharapkan mampu meminimalkan terjadinya cacat pada proses produksi [8].

Penelitian yang mengkaji usulan perawatan mesin CTCM *Location Welding* menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) membuktikan bahwa identifikasi penyebab kerusakan secara sistematis sangat diperlukan untuk meningkatkan keandalan mesin dan mengurangi frekuensi terjadinya kerusakan. Melalui metode FTA, setiap kejadian kerusakan ditelusuri hingga penyebab dasarnya (*basic event*), kemudian dilakukan perhitungan probabilitas untuk mengetahui tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan yang paling dominan terjadi pada komponen *bad welding*, dengan nilai probabilitas kejadian puncak (*top event*) sebesar 0,4690. Berdasarkan hasil analisis tersebut, diperoleh usulan interval perawatan yang lebih optimal dibandingkan jadwal perawatan yang diterapkan perusahaan, yaitu menghasilkan selisih waktu perawatan selama 9 hari dan perbedaan frekuensi perawatan sebanyak 8 kali, sehingga metode FTA terbukti mampu menjadi dasar dalam penyusunan strategi perawatan yang lebih efektif untuk meningkatkan keandalan mesin produksi [9].

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya kejenuhan resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut EDM* di PT XYZ dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan akar penyebab atau *basic event* dari kejenuhan resin tersebut melalui penyusunan diagram pohon kesalahan (*fault tree*), yang menggambarkan hubungan sebab-akibat secara sistematis mulai dari *top event* hingga ke akar-akar penyebab yang paling mendasar. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi bagi perusahaan dalam menentukan pengelolaan resin *ion exchange* dan tindakan *maintenance* yang lebih efektif guna menjaga kestabilan operasional mesin *Wirecut EDM* di PT XYZ.

Penelitian ini hanya dilakukan pada satu unit mesin *Wirecut EDM* di PT XYZ, sehingga hasil yang diperoleh tidak dimaksudkan untuk menggeneralisasi kondisi pada mesin *Wirecut EDM* lain maupun jenis mesin lainnya yang dimiliki oleh perusahaan. Penelitian ini juga difokuskan pada tahap identifikasi penyebab kejenuhan resin *ion exchange* dan penyusunan usulan perbaikan saja, sehingga tidak mencakup tahap implementasi atau uji coba langsung terhadap usulan perbaikan yang dihasilkan di lapangan. Selain itu, analisis yang dilakukan dalam penelitian ini bersifat teknis, yaitu berkaitan dengan faktor-faktor operasional dan perawatan yang menyebabkan kejenuhan resin, sehingga tidak membahas aspek biaya atau *cost analysis*, baik terkait biaya penggantian resin, biaya perawatan, maupun estimasi biaya dari penerapan usulan perbaikan yang diusulkan.

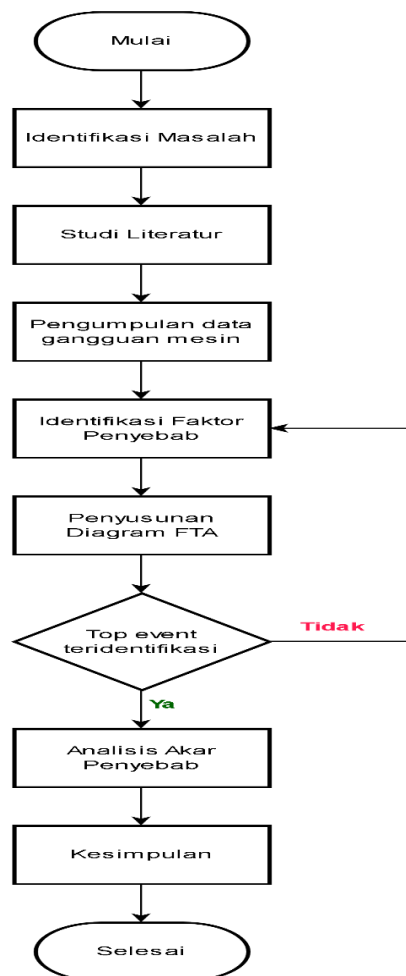
Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat praktis bagi PT XYZ dalam memahami dampak nyata dari pengaruh kejenuhan resin *ion exchange* terhadap efektivitas operasional mesin *Wirecut*, sehingga perusahaan dapat mengambil langkah terhadap kestabilan proses *machining*. Bagi dunia industri manufaktur secara lebih luas, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri manufaktur dalam pengelolaan resin *ion exchange*, pengendalian gangguan operasional mesin *Wirecut*, serta penerapan *maintenance* yang lebih efektif guna meningkatkan kestabilan proses produksi dan mencegah gangguan yang ditimbulkan oleh kejenuhan resin pada mesin. Dari sisi akademis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi akademik dalam bidang teknik manufaktur dan *maintenance* industri, khususnya terkait pengaruh kejenuhan resin *ion exchange* terhadap gangguan operasional mesin *Wirecut*. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai sistem dielectric, resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut Mitsubishi*.

2 Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab kejenuhan resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut EDM* di PT XYZ menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode ini bekerja dengan cara menelusuri kejadian puncak (*top event*) yaitu kejenuhan resin ion exchange, kemudian diuraikan secara sistematis ke berbagai faktor penyebab hingga diperoleh kejadian dasar (*basic event*) sebagai akar penyebab masalah yang paling mendasar. Untuk memastikan penelitian berjalan secara sistematis dan terarah, digunakan *flowchart* penelitian sebagai pedoman pelaksanaan penelitian. Analisis dimulai dari kejadian yang tidak diinginkan (*undesired event*) yang ditempatkan sebagai *top event*, kemudian diuraikan ke berbagai faktor penyebab hingga diperoleh *basic event* atau akar penyebab masalah yang menjadi dasar penyusunan rekomendasi perbaikan.

2.1 Flowchart Penelitian

Tahapan penelitian ini di awal hingga selesai dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Flowchart Penelitian

2.2 Identifikasi Masalah

Tahap pertama adalah melakukan identifikasi masalah yang dilakukan melalui tiga kegiatan. Pertama adalah observasi langsung untuk mengamati mesin *Wirecut* dan mempelajari gangguan yang disebabkan oleh kejenuhan resin. Kedua, informasi dari operator mesin dan teknisi *maintenance* untuk mendapatkan informasi lebih dalam mengenai operasional mesin *Wirecut* dan SOP *maintenance* mesin *Wirecut*. Ketiga, mencari data tertulis dan dokumentasi gangguan untuk mengidentifikasi kejenuhan resin *ion exchange*. Output tahapan ini adalah permasalahan yang menjadi fokus penelitian.

2.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori yang mendukung penelitian mengenai kejenuhan resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut* EDM. Tahap ini dilakukan dengan mengkaji berbagai referensi ilmiah berupa buku, jurnal nasional maupun internasional, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan prinsip kerja mesin *Wirecut* EDM, sistem deionisasi air, mekanisme kerja resin *ion exchange*, faktor-faktor penyebab kejenuhan resin, dan penerapan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Hasil studi literatur digunakan sebagai dasar dalam penyusunan kerangka penelitian, analisis data, serta pembahasan hasil penelitian sehingga penelitian memiliki dasar ilmiah yang kuat.

2.4 Pengumpulan Data Gangguan Mesin

Pengumpulan data gangguan mesin dilakukan agar menjadi penguat, mencakup dokumentasi gangguan yang disebabkan oleh kejenuhan resin, catatan penggantian resin (tanggal penggantian resin, jumlah yang digunakan), Pengumpulan data gangguan mesin dilakukan untuk memperoleh informasi yang mendukung proses identifikasi penyebab kejenuhan resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut* EDM. Data yang dikumpulkan meliputi dokumentasi gangguan mesin yang berkaitan dengan kondisi resin jenuh, seperti munculnya alarm pada sistem kontrol mesin, ketidakstabilan proses pemesinan (*wirebreak* terus menerus), serta gangguan operasional lainnya yang dipengaruhi oleh menurunnya kemampuan resin dalam menyerap ion hasil proses pemotongan.

Data historis penggantian resin *ion exchange* yang mencakup tanggal penggantian resin, jumlah resin yang digunakan pada setiap pergantian, serta kondisi resin saat penggantian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi sebab-akibat terjadinya kejenuhan resin pada mesin *Wirecut* EDM.

2.5 Identifikasi Faktor Penyebab

Berdasarkan data hasil observasi, dokumentasi gangguan mesin, catatan penggantian resin, serta hasil wawancara dengan operator dan teknisi, dilakukan identifikasi terhadap faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya kejenuhan resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut* EDM.

Faktor-faktor penyebab yang diidentifikasi meliputi aspek material, yaitu tingginya kandungan ion hasil proses pemotongan yang harus diserap oleh resin selama operasi mesin. Selain itu, ditinjau pula aspek ketentuan penggantian resin, seperti belum adanya standar umur pakai atau interval penggantian resin yang jelas sehingga penggantian sering dilakukan setelah resin menunjukkan gejala jenuh. Faktor lainnya adalah prosedur perawatan yang mencakup kegiatan inspeksi, pemantauan kondisi resin, serta pemeliharaan sistem deionisasi yang belum dilakukan secara optimal.

3 Analisis Data dan Pembahasan

Pada bagian ini diawali dengan menentukan *top event* berdasarkan hasil observasi dan wawancara, dilanjutkan dengan analisis data gangguan mesin dan riwayat penggantian resin untuk menilai pola operasional yang terjadi selama ini. Selanjutnya, identifikasi terhadap faktor-faktor penyebab dari aspek material, ketentuan penggantian resin, prosedur perawatan yang menjadi dasar penyusunan diagram *Fault Tree Analysis*, dan dokumentasi gangguan mesin pada saat resin mengalami masa jenuh sebagai penguat penelitian.

3.1 Penentuan Top Event

Penentuan langkah awal penyusunan *Fault Tree Analysis* adalah menetapkan *top event*, penentuan dilakukan berdasarkan hasil observasi langsung pada mesin *Wirecut* EDM serta hasil wawancara operator di PT XYZ. Berdasarkan hasil identifikasi, *top event* yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah “Kejenuhan Resin *Ion Exchange* pada Mesin *Wirecut* EDM”.

Kejenuhan resin dipilih sebagai *top event* didasarkan pada pertimbangan bahwa kondisi ini mempengaruhi waktu operasional, mempengaruhi kualitas dielektrik, dan mengganggu kinerja proses pemotongan mesin *Wirecut* EDM. Air dielektrik seharusnya berfungsi sebagai insulator akan kehilangan fungsinya jika resin sudah tidak mampu menyerap ion-ion pengotor dengan munculnya gejala atau alarm pada sistem kontrol mesin, antara lain:

- Munculnya alarm konduktivitas tinggi pada panel kontrol mesin, yang menandakan air dielektrik melewati standar sebagai insulator karena resin jenuh.
- Terjadinya *wirebreak* secara berulang dalam waktu dekat akibat ketidakstabilan proses *electrical discharge*.
- Operasional mesin tidak bekerja seperti biasanya, sehingga frekuensi penghentian mesin meningkat (*downtime*).

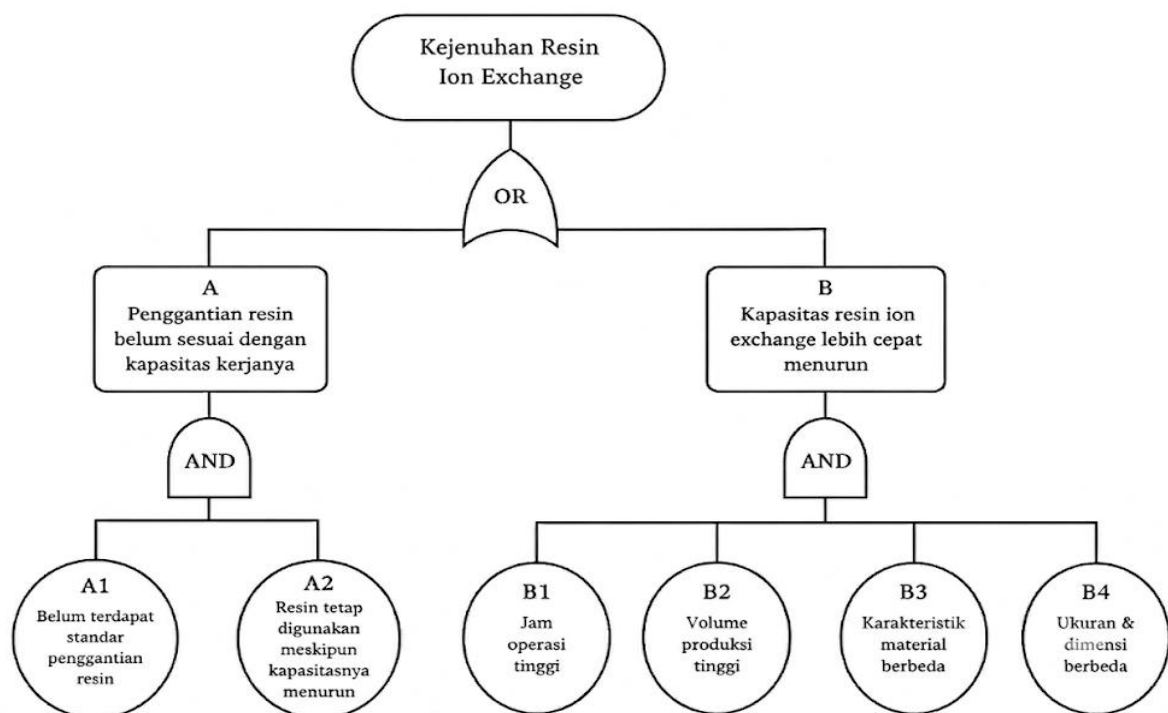
3.2 Analisis Data Gangguan Mesin

Analisis data dilakukan melalui hasil observasi lapangan, dokumentasi gangguan mesin pada saat resin jenuh, data historis penggantian resin *ion exchange*, dan hasil wawancara bersama operator dan teknisi *maintenance* agar mengetahui pola gangguan yang muncul akibat kejenuhan resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut*.

Dari hasil pengumpulan data ditemukan bahwa gangguan yang terjadi ketika resin jenuh adalah *wire break* berulang dalam waktu dekat yang bisa meningkatkan *downtime* jika tidak ditangani dengan cepat. Gangguan ini terjadi jika kualitas air dielektrik melampaui batas normal pada mesin Mitsubishi. Kondisi ini menyebabkan proses *electrical discharge* tidak stabil karena air dielektrik berfungsi sebagai insulator kehilangan kemampuan isolasinya akibat ion logam terlarut yang tidak lagi mampu diserap oleh resin yang sudah jenuh.

3.3 Diagram FTA

Diagram *Fault Tree Analysis* (FTA) pada Gambar 2 menunjukkan hubungan sebab-akibat secara sistematis yang menghubungkan seluruh faktor yang mempercepat kejenuhan resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut* EDM di PT XYZ, mulai dari tingkat *basic event* di bagian bawah diagram hingga *top event* di bagian puncak. Diagram tersebut disusun berdasarkan hasil observasi lapangan, wawancara dengan operator dan teknisi *maintenance*, serta analisis data historis penggantian resin selama periode delapan bulan.



Gambar 2 : Diagram *Fault Tree Analysis*

Kejenuhan resin *ion exchange* terjadi ketika kapasitas penukaran ion pada resin telah mencapai titik maksimum, sehingga resin tidak mampu menyerap ion kontaminan dari air dielektrik secara efektif. Apabila resin jenuh, konduktivitas air meningkat dan proses permesinan menurun. Jenis resin yang digunakan adalah *Mixed Bed Ion Exchange Resin*, yaitu campuran antara resin kation dan resin anion dengan produk AC Duro-ion⁺ S yang dirancang khusus untuk mesin *Wirecut* EDM. Jumlah resin yang digunakan adalah 3 bungkus dengan 5 liter per bungkus.

3.4 Analisis Hasil *Fault Tree Analysis* Menggunakan 5 Why Analysis

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), diperoleh dua faktor utama yang menyebabkan resin *ion exchange* lebih cepat mengalami kejenuhan pada mesin *Wirecut* EDM, yaitu penggantian resin belum sesuai dengan kasitas kerja dan kapasitas resin *ion exchange* lebih cepat menurun

3.4.1 Penggantian Resin Belum Sesuai Dengan Kapasitas Kerja

Faktor penyebab	Pertanyaan (<i>why</i>)	Hasil Investigasi
Penggantian resin belum sesuai dengan kapasitas kerja	Mengapa penggantian resin belum sesuai dengan kapasitas kerja?	Karena resin tetap digunakan meskipun kapasitas kerjanya telah menurun.
	Mengapa resin tetap digunakan meskipun kapasitasnya menurun?	Karena belum terdapat standar yang digunakan sebagai acuan penggantian resin.
	Mengapa belum terdapat standar yang digunakan sebagai acuan penggantian resin?	Karena perusahaan belum menetapkan indikaor atau batasan penggantian resin.
	Mengapa perusahaan belum menetapkan indikaor atau batasan penggantian resin?	Karena belum terdapat ketentuan yang menjelaskan kapan resin harus diganti.
	Mengapa belum terdapat ketentuan yang menjelaskan kapan resin harus diganti?	Karena belum terdapat standar penggantian resin <i>ion exchange</i> pada mesin <i>Wirecut</i> di PT XYZ
Root cause	Belum terdapatnya standar batas atau indikator penggantian resin <i>ion exchange</i> pada mesin Wirecut di PT XYZ	

Penggantian resin belum sesuai dengan kapasitas kerja dipengaruhi dua *basic event*, yaitu belum terdapat standar penggantian resin *ion exchange* dan resin tetap digunakan meskipun kapasitas penyerapan telah mengalami penurunan, terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Resin *ion exchange* memiliki batas kemampuan dalam menyerap ion-ion selama proses pemotongan berlangsung. Kemampuan resin dalam menyerap ion-ion pengotor akan mengalami penurunan, sehingga kualitas air tidak dapat dipertahankan.

Tabel 1 : Penggantian Resin Periode 8 Bulan

NO	Tanggal Resin Dipasang	Tanggal Resin Diganti	Lama Penggunaan (Hari)
1	04 Agustus 2025	16 Agustus 2025	12
2	16 Agustus 2025	05 September 2025	20
3	05 September 2025	17 September 2025	12
4	17 September 2025	16 Oktober 2025	29
5	16 Oktober 2025	09 November 2025	24
6	09 November 2025	29 November 2025	20
7	29 November 2025	11 Desember 2025	12
8	11 Desember 2025	15 Desember 2025	4
9	15 Desember 2025	26 Desember 2025	11
10	26 Desember 2025	03 Januari 2026	8
11	03 Januari 2026	16 Januari 2026	13
12	16 Januari 2026	28 Januari 2026	12
13	28 Januari 2026	04 Februari 2026	7
14	04 Februari 2026	11 Februari 2026	7
15	11 Februari 2026	18 Februari 2026	7
16	18 Februari 2026	25 Februari 2026	7

17	25 Februari 2026	03 Maret 2026	6
18	03 Maret 2026	10 Maret 2026	7
19	10 Maret 2026	17 Maret 2026	7

Tabel 2: Rata-rata Interval

Mesin Tidak Beroperasi	11 Hari
Total	225 Hari - 11 Hari
	$214 / 19 = 11,26$ Hari
Rata-rata	11,26 Hari (dibulatkan 12 Hari)

Berdasarkan data penggantian resin selama 8 bulan, telah dilakukan penggantian resin sebanyak 19 kali, sehingga diperoleh rata-rata interval penggantian sebesar 11,26 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa resin digunakan dalam rentang waktu tertentu sebelum dilakukan penggantian. Namun, belum adanya standar mengenai umur pakai resin menyebabkan keputusan penggantian resin cenderung didasarkan pada kondisi operasional mesin atau munculnya indikasi bahwa resin telah mengalami kejenuhan. Penggantian resin pada mesin *Wirecut* bisa dilihat pada Tabel 1, dan rata-rata interval berada pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil observasi, proses peenggantian resin pada mesin *Wirecut* di PT XYZ dilakukan berdasarkan visual operator atau gangguan yang dihasilkan dari saat resin mengalami kejenuhan. Namun, perusahaan belum memiliki standar yang menetapkan batas kapasitas kerja resin maupun indikator tertentu untuk menentukan waktu penggantian resin. Resin masih digunakan meskipun penyerapannya telah mengalami penurunan hingga jenuh. Penggunaan resin melebihi kapasitas dapat menyebabkan pertukaran ion tidak berjalan secara maksimal, mengakibatkan peningkatan nilai konduktivitas air karena ion-ion pengotor tidak terserap dengan baik. Akar penyebab (*root cause*) yaitu, belum terdapat standar batas atau indikator penggantian resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut* di PT XYZ.

Hasil observasi menunjukkan bahwa perusahaan memiliki prosedur penggantian resin, tetapi belum terdapat standar yang menetapkan batas atau indikator yang menunjukkan kapan resin harus diganti. Resin masih tetap digunakan meskipun kapasitas penyerapannya telah mengalami penurunan. Kondisi tersebut menyebabkan resin bekerja diluar kapasitas optimal. Akibatnya, kemampuan resin mempertahankan air dielektrik menurun dan dampaknya akan muncul gangguan yang disebabkan oleh nilai konduktifitas air yang tinggi. Akar penyebab (*root cause*) yaitu belum terdapat standar batas atau indikator penggantian resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut* di PT XYZ.

3.4.2 Kapasitas Resin *Ion Exchange* Lebih Cepat Menurun

Faktor penyebab	Pertanyaan (<i>why</i>)	Hasil Investigasi
Kapasitas resin <i>ion exchange</i> lebih cepat menurun	Mengapa Kapasitas resin <i>ion exchange</i> lebih cepat menurun?	Karena mesin memiliki jam operasional dan volume produksi yang tinggi, serta memotong material dengan karakteristik dan dimensi yang berbeda.
	Mengapa jam operasional dan variasi material menyebabkan kapasitas resin cepat menurun?	Karena resin digunakan secara terus-menerus selama proses pemotongan berlangsung.
	Mengapa resin digunakan secara terus-menerus menyebabkan kapasitas resin menurun?	Karena resin memiliki kapasitas penyerapan yang terbatas, sehingga kemampuan resin dalam menyerap ion akan berkurang seiring penggunaan.
	Mengapa resin tetap digunakan meskipun kapasitas penyerapan sudah mengalami penurunan?	Karena belum terdapat acuan untuk menentukan kapan resin harus di ganti.
	Mengapa belum terdapat acuan untuk menentukan kapan resin harus di ganti	Karena perusahaan belum memiliki sistem monitoring penggunaan resin <i>ion exchange</i> pada mesin <i>Wirecut</i> .

Root Cause	Perusahaan belum memiliki sistem monitoring penggunaan resin <i>ion exchange</i> pada mesin <i>Wirecut</i>.
-------------------	--

Kapasitas resin *ion exchange* lebih cepat menurun dipengaruhi empat *basic event*, yaitu tingginya jam operasional mesin, tingginya volume produksi, perbedaan karakteristik material yang diproses, serta perbedaan ukuran dan dimensi benda kerja. Resin *ion exchange* memiliki kapasitas pertukaran yang terbatas dalam menangkap ion-ion pengotor hasil erosi, sehingga kapasitas resin akan terus berkurang.

Bedasarkan hasil observasi, PT XYZ PT XYZ adalah salah satu perusahaan yang bekerja (3 *shift* X 8 jam) dikurangi 1 jam pada setiap *shift*, sehingga rata-rata 21 jam per hari. Jam operasional yang tinggi untuk memenuhi target produksi digunakan secara terus-menerus, dapat dilihat pada Tabel 3 membuktikan bahwa mesin hampir bekerja setiap hari tanpa henti. Kondisi tersebut mengakibatkan jumlah ion yang harus diserap meningkat dan mempercepat penurunan kapasitas pertukaran ion pada resin. Faktor lain yang mempengaruhi adalah karakteristik material yang berbeda, setiap material memiliki komposisi kimia yang berbeda, sehingga menghasilkan jumlah dan jenis ion yang bervariasi, dapat dilihat pada Tabel 4 dan gambar 3 . Ukuran dan dimensi yang dipotong juga mempengaruhi, semakin besar dimensi yang dipotong, maka waktu yang dibutuhkan semakin lama, sehingga resin harus bekerja lebih lama untuk mempertahankan kualitas air deionisasi. Akar penyebab (*root cause*) dari kapasitas resin *ion exchange* lebih cepat menurun, yaitu perusahaan belum memiliki sistem monitoring penggunaan resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut*.

Tabel 3 : Operasional Mesin (Data dari PT XYZ)

No.	Tanggal	Status Operasi Mesin
1	1 Januari 2026	Beroperasi
2	2 Januari 2026	Beroperasi
3	3 Januari 2026	Beroperasi
4	4 Januari 2026	Beroperasi
5	5 Januari 2026	Beroperasi
6	6 Januari 2026	Beroperasi
7	7 Januari 2026	Beroperasi
8	8 Januari 2026	Beroperasi
9	9 Januari 2026	Beroperasi
10	10 Januari 2026	Beroperasi
11	11 Januari 2026	Beroperasi
12	12 Januari 2026	Beroperasi
13	13 Januari 2026	Beroperasi
14	14 Januari 2026	Beroperasi
15	15 Januari 2026	Beroperasi
16	16 Januari 2026	Beroperasi
17	17 Januari 2026	Beroperasi
18	18 Januari 2026	Tidak Beroperasi
19	19 Januari 2026	Beroperasi
20	20 Januari 2026	Beroperasi
21	21 Januari 2026	Beroperasi
22	22 Januari 2026	Beroperasi

23	23 Januari 2026	Beroperasi
24	24 Januari 2026	Beroperasi
25	25 Januari 2026	Tidak Beroperasi
26	26 Januari 2026	Beroperasi
27	27 Januari 2026	Beroperasi
28	28 Januari 2026	Beroperasi
29	29 Januari 2026	Beroperasi
30	30 Januari 2026	Beroperasi
31	31 Januari 2026	Beroperasi

Tabel 4 : Material-Material yang Dipotong dan Komposisi Kimia Material

N0	Jenis Material	Komposisi kimia
1	DC11	Karbon (C), Silikon (Si), Mangan (Mn), Fosfor (P), Sulfur (S), Tembaga (Cu), Nikel (Ni), Kromium (Cr), Molibdenum (Mo), Vanadium (V) [10].
2	Carbide	Tungsten (W), Karbon (C), Molibdenum (Mo), Kromium (Cr), Titanium (Ti), Zirkonium (Zr), Hafnium (Hf), Vanadium (V), Niobium (Nb), Tantalum (Ta), dan Nitrogen (N) [11].
3	ASP23	karbon (C), kromium (Cr), molibdenum (Mo), tungsten (W), dan vanadium (V), besi (Fe) [12].
4	<i>Vanadis 4 Extra</i> (V4E)	karbon (C), silikon (Si), mangan (Mn), kromium (Cr), molibdenum (Mo), dan vanadium (V), besi (Fe) [13].
5	Shim stainless steel 340L stainless steel 304L	kromium (Cr), nikel (Ni), mangan (Mn), silikon (Si), vanadium (V), tembaga (Cu), molibdenum (Mo), fosfor (P), sulfur (S), karbon (C), aluminium (Al), titanium (Ti), tungsten (W), dan kobalt (Co), besi (Fe) [14].



Gambar 3 : Partikel Logam yang Menumpuk

Gambar 7 menunjukkan partikel hasil erosi yang menumpuk, partikel-partikel tersebut merupakan sisa pengikisan material akibat proses *electrical discharge*. Warna dan tekstur partikel bervariasi yang menggambarkan keberagaman jenis material yang diproses, setiap material memiliki komposisi unsur logam berbeda, sehingga menghasilkan partikel erosi dengan karakteristik yang berbeda.



Gambar 4 : Resin Baru



Gambar 5 : Resin Telah Digunakan

Perubahan fisik pada resin baru dan resin yang telah digunakan dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Resin baru memiliki warna cerah dan kondisi yang masih bersih, sedangkan resin yang telah digunakan menunjukkan perubahan warna yang lebih gelap dan terlihat kotoran yang diserap oleh resin. Dokumentasi ini sebagai pendukung mengenai umur resin terlalu lama.

3.5 Rekomendasi Perbaikan

Berdasarkan hasil identifikasi akar penyebab melalui diagram *Fault Tree Analysis* dan dokumentasi-dokumentasi yang didapat sebagai penguat, terdapat dua rekomendasi yang diusulkan untuk mengatasi permasalahan kejenuhan resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut* EDM di PT XYZ.

3.5.1 Penyusunan Penggantian Resin Berdasarkan Nilai Konduktivitas Air

Penggantian resin *ion exchange* yang berbasis pada parameter konduktivitas air dielektrik yang terukur secara subjektif. Sistem penggantian resin yang selama ini bersifat subjektif dan perkiraan, menjadi berstandar dan dapat dipertanggungjawabkan yang bisa dilihat pada Tabel 5. Acuan nilai konduktivitas yang digunakan mengacu pada mesin Mitsubishi di PT XYZ, terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

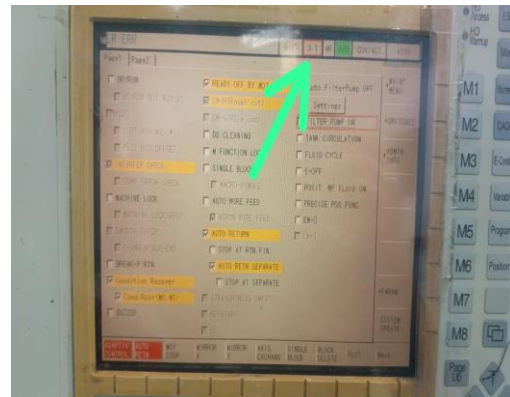
Tabel 5 : Parameter Acuan Penggantian Resin Berbasis Konduktivitas Air

Kondisi	Nilai Konduktivitas	Tindakan yang Harus Dilakukan
Normal (Ideal)	1,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ — 2,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Mesin beroperasi dengan optimal
Waspada	2,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ — 3,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Pemantauan dan mempersiapkan resin pengganti
Kritis	> 3,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Ganti resin sebelum operasional dilanjutkan

Mesin *Wirecut* memiliki sensor konduktivitas yang memberi sinyal jika kualitas air dielektrik menurun. Namun, didapatkan bahwa indikator tersebut tidak dipahami lebih lanjut untuk dijadikan penentu penggantian resin. Jika resin sudah mencapai batas maksimum, maka akan timbul gangguan operasional pada mesin. Seperti *wire break* yang terus-menerus dalam jangka dekat, *wire break* akan memperlambat pekerjaan karena mesin akan mengulang pemotongan dari tahap pertama dan akan menjadi *downtime* jika operator tidak langsung melakukan *join wire* dan mesin tidak bekerja dengan optimal seperti mesin tidak bisa melakukan *start* seperti biasanya. Penurunan kapasitas resin biasanya ditandai dengan meningkatnya nilai konduktivitas air dielektrik yang melampaui batas normal, berdasarkan pemberitahuan atau peringatan dari mesin. Nilai konduktivitas setelah penggantian resin pada mesin Mitsubishi di PT XYZ adalah 1,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tertera pada Gambar 6. Sedangkan gangguan yang ditimbulkan berada pada nilai konduktivitas >3 seperti Gambar 7.



Gambar 6: Setelah Penggantian Resin



Gambar 7: Konduktivitas Tinggi

Adapun langkah-langkah prosedur penggantian resin yang diusulkan adalah sebagai berikut:

1. Operator wajib memperhatikan dan mencatat nilai konduktivitas air.
2. Apabila nilai konduktivitas mendekati kondisi waspada, operator mempersiapkan resin pengganti dengan memastikan stok resin AC Duro-ion⁺ S berjumlah 3 bungkus dengan isi 5 liter per bungkus.
3. Jika nilai konduktivitas telah mencapai kondisi kritis, segera melakukan penggantian resin sebelum muncul gangguan dari mesin.
4. Setelah penggantian resin dilakukan, operator memastikan nilai konduktivitas kembali ke rentang normal sebelum mesin dioperasikan.
5. Penggantian resin disertai catatan lengkap, yang meliputi tanggal penggantian resin baru, nilai konduktivitas saat penggantian, jumlah resin, serta nama operator yang melakukan penggantian, sebagai dasar evaluasi jadwal perawatan *preventif* secara berkala.

3.5.2 Perkiraan Dampak Penerapan Rekomendasi

Jika rekomendasi diterapkan secara konsisten, diperkirakan akan memberikan dampak positif terhadap operasional mesin *Wirecut* EDM di PT XYZ yang dirangkum dalam Tabel berikut:

Tabel 6 : Perbandingan Kondisi Sebelum dan Setelah Penerapan

Aspek	Kondisi Saat Ini	Target Setelah Perbaikan
Dasar penggantian resin	Subjektif, menunggu terjadinya gangguan	Objektif, berbasis nilai konduktivitas terukur
Interval penggantian resin	Tidak konsisten (4 — 29 hari)	Konsisten maksimal 10 hari
Frekuensi <i>wire break</i> akibat resin jenuh	Tinggi dan tidak dapat diprediksi	Menurun seiring penerapan perbaikan
<i>Downtime</i> tidak terencana	Sering terjadi	Dapat diminimalkan

4 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menemukan penyebab utama kejenuhan resin pertukaran ion pada mesin *Wirecut* EDM di PT XYZ melalui metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan 5 *Why Analysis* dengan fokus pada faktor-faktor yang mempercepat penurunan kemampuan resin dalam menyerap ion-ion kontaminan air dielektrik. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa kejenuhan resin disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penggantian resin belum sesuai dengan kapasitas kerja dan kapasitas resin *ion exchange* yang lebih cepat menurun. Faktor pertama dipengaruhi oleh belum adanya standar atau indikator penggantian resin dan resin yang tetap digunakan meskipun kapasitas penyerapannya telah mengalami penurunan. Faktor kedua dipengaruhi oleh tingginya jam operasional yang mencapai rata-rata 21 jam per hari dalam sistem 3 *shift*, tingginya volume produksi, serta variasi karakteristik, ukuran, dan dimensi material yang dipotong, seperti DC11, *carbide*, ASP23, V4E, dan *Shim stainless 340l*, yang menyebabkan resin bekerja terus-menerus dalam menyerap ion hasil proses pemotongan.

Berdasarkan data historis penggantian resin selama delapan bulan, diperoleh bahwa sebanyak 19 kali dilakukan penggantian dalam 214 hari operasional efektif selama delapan bulan, di mana rata-rata interval antara penggantian resin hanya 11,26 hari dan menunjukkan variasi yang sangat tidak konsisten antara 4 hari hingga 29 hari, yang membuktikan bahwa penggantian resin masih bersifat reaktif dan belum terdapat parameter yang terukur. Hasil analisis 5 *why* menunjukkan dua akar penyebab utama, yaitu belum terdapat standar batas atau indikator penggantian resin *ion exchange* serta belum adanya sistem monitoring penggunaan resin *ion exchange* pada mesin *Wirecut* di PT XYZ. Dengan demikian, penelitian ini mencapai tujuan, yaitu mengidentifikasi penyebab kejenuhan resin *ion exchange*, dan mengusulkan rekomendasi penggantian resin berdasarkan parameter nilai konduktivitas air dielektrik dengan batas kritis $>3,0 \mu\text{S}/\text{cm}$ sebagai dasar penentuan penggantian resin. Rekomendasi diharapkan dapat mengubah pola penanganan resin dari reaktif menjadi proaktif, sehingga meningkatkan kestabilan operasional mesin *Wirecut* di PT XYZ dan meminimalkan gangguan yang disebabkan oleh kejenuhan resin.

5 Daftar Pustaka

- [1] L. Herawati, A. H. Setiawan, M. U. Nuha, and D. Wargiono, "Evaluasi Perbandingan Efisiensi Proses Produksi Komponen Logam Menggunakan Mesin Bubut Manual dan CNC," vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2026.
- [2] C. S. Rubi *et al.*, "Comprehensive review on wire electrical discharge machining : a non-traditional material removal process," no. January, pp. 1–16, 2024, doi: 10.3389/fmech.2024.1322605.
- [3] T. Mahsunadi, "STUDI PENGARUH MINYAK KELAPA SEBAGAI FLUIDA DIELEKTRIK ALTERNATIF TERHADAP KINERJA EDM DIE SINKING PADA BENDA KERJA AISI P21," pp. 978–979, 2012.
- [4] S. Liu, A. Okada, and T. Kitamura, "Fundamental study on dielectric oil viscosity for high-performance wire EDM," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 135, no. 7–8, pp. 3451–3461, 2024, doi: 10.1007/s00170-024-14693-3.
- [5] I. Nugraha, M. A. Arif, and H. Setyawati, "Optimalisasi Resin Penukar Ion Pada Proses Demineralisasi Air Tanah," *J. Atmos.*, vol. 4, no. 2, pp. 8–14, 2023, doi: 10.36040/atmosphere.v4i2.7888.
- [6] A. Q. Jasim and S. K. Ajjam, "South African Journal of Chemical Engineering Removal of heavy metal ions from wastewater using ion exchange resin in a batch process with kinetic isotherm," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 49, no. February, pp. 43–54, 2024, doi: 10.1016/j.sajce.2024.04.002.
- [7] J. I. Lingkungan and R. Hartono, "Pengolahan Air Menggunakan Proses Demineralisasi dengan Memanfaatkan Resin Penukar Ion : Studi Pengaruh Laju Alir dan Tinggi Resin," vol. 22, no. 2, pp. 393–400, 2024, doi: 10.14710/jil.22.2.393-400.
- [8] V. No, Z. R. Nurfatha, and D. Herwanto, "ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PADA UNIT SV-521 DI PT . XYZ Computer Science | Industrial Engineering | Mechanic Engineering | Civil Engineering J-ENSISTEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology) Computer Science | Industrial Engineering | Mechanic Engineering | Civil Engineering," vol. 09, no. 02, pp. 766–773, 2023.
- [9] A. Syarifudin and K. Irfansyah, "USULAN PERAWATAN MESIN CTCM LOCATION WELDING DENGAN METODE FTA (FAULT TREE ANALYSIS)," vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [10] N. Hanif and F. Aziz, "Kekerasan Baja DC 11 Pada Perlakuan Media Quenching dan Suhu Tempering," vol. 14, no. 01, pp. 1–7, 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i1.1481.

- [11] H. Materials, J. García, V. C. Ciprés, A. Blomqvist, and B. Kaplan, “International Journal of Refractory Metals Cemented carbide microstructures : a review,” vol. 80, no. August 2018, pp. 40–68, 2019, doi: 10.1016/j.ijrmhm.2018.12.004.
- [12] Y. Chen, W. Tsai, S. Liu, and J. Horng, “Picosecond laser pulse polishing of ASP23 steel,” vol. 107, pp. 180–185, 2018.
- [13] M. Yuan, S. Karamchedu, Y. Fan, L. Liu, L. Nyborg, and Y. Cao, “Study of defects in directed energy deposited Vanadis 4 Extra tool steel,” *J. Manuf. Process.*, vol. 76, no. October 2021, pp. 419–427, 2022, doi: 10.1016/j.jmapro.2022.02.014.
- [14] H. M. Soltani and M. Tayebi, “Microstructural and mechanical investigation of brazing 304L Stainless Steel with corner joint using a Ni-based shim and wire Microstructural and mechanical investigation of brazing 304L Stainless Steel with corner joint using a Ni-based shim and wire”.