

Optimasi Proses *Metal Treatment* dengan Penambahan Proses *Washing* untuk Mencegah Karbonisasi pada Ulir Screw

Sodikun¹, Yulita Veranda Usman^{2*}, Sambas Sundana³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

Abstrak. Pada industri *fastener* skala Industri Kecil dan Menengah, sering ditemukan kasus ulir seret pada *screw* berdiameter 2 hingga 6 mm. Masalah ini muncul akibat tidak adanya proses *degreasing* sebelum *heat treatment*, sehingga residu oli dan solar dari proses *heading* dan *rolling* terbakar pada suhu sekitar 800 hingga 900 derajat Celcius dan membentuk kerak karbon keras pada ulir. Kerak tersebut menghambat penetrasi lapisan *plating*, meningkatkan friksi, dan menyebabkan ketidakstabilan torsi saat pemasangan. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengatasi permasalahan ulir seret melalui evaluasi proses dan penerapan perbaikan yang sesuai. Penelitian dilakukan melalui observasi lapangan, analisis proses, penelusuran akar masalah menggunakan *Root Cause Analysis*, evaluasi potensi kegagalan melalui *Failure Mode and Effect Analysis*, serta pengujian visual dan torsi terhadap sampel *screw*. Solusi yang diusulkan berupa penambahan proses *washing-degreasing* sebelum *heat treatment*, meliputi perendaman, pembilasan air panas, dan pengeringan. Evaluasi selama tiga minggu menunjukkan penurunan cacat ulir seret dari 32% menjadi 4% dan peningkatan stabilitas torsi sekitar 12%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses *washing* efektif dalam mencegah karbonisasi, meningkatkan kualitas *plating*, dan memperbaiki performa ulir secara keseluruhan.

Kata kunci—*metal treatment; degreasing; ulir screw; karbonisasi; plating defect*

1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur komponen mekanik, termasuk *fastener* seperti *screw*, merupakan salah satu pilar penting dalam penguatan struktur industri dalam negeri [1]. Dalam dua dekade terakhir, Industri Kecil dan Menengah (IKM) berperan signifikan dalam memenuhi kebutuhan komponen lokal dan mengurangi ketergantungan terhadap impor. Pemerintah Indonesia melalui program Peningkatan Penggunaan Produk Dalam Negeri (P3DN), hilirisasi, serta pengembangan sentra IKM logam terus mendorong peningkatan kapasitas dan kualitas produksi [2]. Salah satu subsektor yang berkembang pesat adalah industri *fastener* skala IKM, yang memproduksi berbagai jenis *screw* berdiameter kecil, mulai dari 2 hingga 6 mm, sebagai bagian dari rantai pasok otomotif, elektronik, alat rumah tangga, dan konstruksi ringan.

Pada subsektor ini, kualitas *screw* berdiameter kecil sangat krusial mengingat toleransi dimensi yang ketat dan tuntutan presisi tinggi. *Machine screw* dengan diameter kecil membutuhkan proses manufaktur yang stabil untuk memastikan ulir berfungsi optimal dan tidak menimbulkan hambatan saat digunakan. Permasalahan kualitas pada ulir dapat menyebabkan kerugian signifikan bagi IKM, seperti tingginya tingkat *reject*, keluhan pelanggan, hingga menurunnya daya saing terhadap produk impor.

Proses pembuatan *screw* melibatkan tahapan *wire drawing*, *heading*, *rolling*, *heat treatment*, dan *plating*. Pada tahap *heading* dan *rolling*, penggunaan oli atau solar sebagai pelumas sangat penting untuk mengurangi gesekan. Namun, pada banyak pelaku IKM, sistem pembersihan dan kontrol proses masih terbatas, sehingga residu pelumas sering tertinggal di permukaan *screw*. Ketika *screw* memasuki proses *heat treatment* tanpa melalui *degreasing*, residu tersebut terbakar pada suhu 800 hingga 900 derajat Celcius dan membentuk kerak karbon keras pada ulir bagian dalam.

* Corresponding author: yulita@univpancasila.ac.id

Masalah ini semakin menonjol pada *screw* berdiameter 2 hingga 6 mm karena celah ulir yang sempit menyulitkan penetrasi larutan pembersih maupun proses *plating*. Kerak karbon menghambat distribusi lapisan *plating*, meningkatkan friksi karena permukaan ulir yang kasar, serta menyebabkan ulir seret saat perakitan. Kondisi ini dapat memicu *cross-threading*, peningkatan torsi pemasangan, hingga kerusakan pada komponen pasangan.

Tantangan tersebut menunjukkan bahwa, meskipun IKM memiliki peran strategis dalam penguatan industri nasional, peningkatan kualitas proses produksi tetap menjadi faktor kunci. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab utama terjadinya ulir seret pada *screw* pasca *plating* dan memberikan solusi praktis melalui penambahan proses *washing-degreasing* sebelum *heat treatment*, yang dapat diterapkan secara efektif di lingkungan IKM maupun industri skala besar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

a. Proses Heat Treatment pada Screw

Heat treatment merupakan proses pengubahan struktur mikro material melalui pemanasan dan pendinginan terkendali untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Dalam industri *fastener*, *heat treatment* umum dilakukan pada temperatur 800 hingga 900 derajat Celcius untuk menghasilkan *austenit*. Kemudian dilanjutkan dengan pendinginan cepat (*quenching*) untuk membentuk *martensit* yang keras [3]. Proses ini sangat dipengaruhi oleh kebersihan permukaan material. Kontaminasi seperti oli yang tertinggal dapat menghasilkan kerak karbon akibat pirolisis pada suhu tinggi, yang berpotensi menurunkan kualitas final *screw* [4].

Kerak karbon pada ulir khususnya pada *screw* kecil (diameter 2 hingga 6 mm) dapat mengganggu homogenitas pemanasan dan menyebabkan cacat pada proses akhir seperti *plating* [5]. Oleh karena itu, sebelum *heat treatment*, diperlukan langkah persiapan berupa *cleaning* atau *degreasing* untuk memastikan hasil perlakuan panas optimal.

b. Peran Pelumas pada Heading dan Rolling

Pelumas seperti oli dan solar digunakan untuk mengurangi gaya gesek antara *wire* dan *die* saat proses *heading* dan *rolling* berlangsung. Penggunaan pelumas membantu mencegah keausan *die*, menurunkan gaya deformasi, dan memastikan ulir terbentuk dengan presisi. Namun, pelumas ini harus sepenuhnya dihilangkan sebelum tahap *heat treatment*. Tanpa proses *degreasing*, residu pelumas akan mengalami pembakaran dan karbonisasi pada suhu *furnace* sehingga menghasilkan kerak karbon yang melekat kuat pada permukaan *screw*, khususnya pada geometri ulir yang sempit. Kontaminasi karbon pada ulir dapat menyebabkan gangguan pada proses manufaktur berikutnya dan berdampak pada cacat fungsi ulir seperti *thread jam* [5].

c. Efek Kontaminasi pada Proses Plating

Plating merupakan proses pelapisan logam untuk meningkatkan ketahanan korosi dan memperbaiki tampilan permukaan. Proses ini membutuhkan kondisi permukaan yang sangat bersih agar *adhesi* lapisan optimal [6]. Kontaminasi berupa kerak karbon dapat menghambat penetrasi larutan elektrolit ke dalam ulir dan menyebabkan lapisan *plating* tidak merata. Pada *screw* berdiameter kecil (2 hingga 6 mm), efek kontaminasi semakin signifikan karena ruang antarulir lebih sempit, sehingga larutan *plating* sulit masuk bila terdapat kerak karbon [5]. Hal ini menyebabkan potensi cacat berupa ulir seret, torsi pemasangan meningkat, hingga risiko kerusakan pada komponen yang dirakit.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis proses manufaktur dan evaluasi kualitas produk untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya ulir seret pada *screw* berdiameter 2 hingga 6 mm setelah proses *plating*. Penelitian dilakukan secara bertahap mulai dari pemahaman karakteristik cacat dan kondisi aktual, analisis akar masalah, hingga implementasi tindakan perbaikan dan evaluasi hasil perbaikan.

a. Observasi

Observasi adalah metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini untuk memahami karakteristik cacat serta kondisi proses aktual pada saat *defect* terjadi. Observasi dilakukan secara langsung pada lini produksi *screw* di area *heading*, *rolling*, *heat treatment*, dan *plating*. Inspeksi fisik dilakukan pada produk yang mengalami keluhan ulir seret, dengan mengumpulkan sampel cacat dari tiga *lot* produksi

berbeda. Dokumentasi visual menggunakan kamera industri dan mikroskop digital dilakukan untuk mengidentifikasi pola cacat pada ulir bagian dalam.

b. Analisis Proses

Analisis proses dengan metode *trial and error* dilakukan untuk mengidentifikasi titik potensial terjadinya penumpukan oli atau pelumas yang dapat menyebabkan kontaminasi ketika memasuki *furnace* [7]. Analisis dilakukan pada proses-proses sebagai berikut:

- Proses *heading*: menggunakan pelumas untuk membentuk kepala screw.
- Proses *rolling*: menghasilkan bentuk ulir dan menggunakan solar/oli sebagai pelumas.
- Proses *heat treatment*: pemanasan 800 hingga 900 derajat Celcius untuk pembentukan *martensit* serta memeriksa pengaruh *quenching* yang dapat meninggalkan residu karbon
- Proses *plating*: meninjau proses *cleaning*, *pickling*, *degreasing*, dan *plating* terutama kemampuan *degreasing* membersihkan ulir yang rapat

c. Inspeksi dan Pengujian

Inspeksi dan pengujian dilakukan pada sampel *screw* sebelum dan sesudah perbaikan dengan metode sebagai berikut:

- Pemeriksaan dilakukan secara visual;
- Pemeriksaan menggunakan mikroskop digital 50 hingga 200x untuk melihat keberadaan kerak karbon dan kondisi ulir.
- Uji torsi atau *torque test* yang menggunakan *ring gauge*. Uji ini digunakan untuk mengukur gaya yang dibutuhkan untuk mengencangkan *screw*, kemudian torsi dibandingkan antara *screw* normal, *screw* cacat, dan *screw* setelah perbaikan.
- Uji pembakaran ringan (*carbon spot test*). Uji ini dilakukan dengan memanaskan ulir secara terkendali untuk mendeteksi kandungan karbon residu akibat pembakaran pelumas pada *heat treatment*.

d. Root Cause Analysis

Root Cause Analysis (RCA) merupakan metode analisis sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi penyebab utama (*root cause*) dari suatu permasalahan kualitas atau kegagalan proses. RCA tidak hanya berfokus pada gejala yang tampak, tetapi mencari faktor fundamental yang memicu terjadinya masalah agar perbaikan dapat dilakukan secara tepat sasaran [8]. Salah satu teknik RCA yang paling umum digunakan dalam industri manufaktur adalah *Fishbone Diagram* atau *Ishikawa Diagram*. *Fishbone Diagram* adalah alat analisis berbentuk diagram menyerupai tulang ikan, yang mengelompokkan berbagai kemungkinan penyebab masalah ke dalam beberapa kategori utama, seperti: *Man*, *Machine*, *Material*, *Method*, *Measurement*, dan *Environment* [9].

e. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah metode analisis sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan memprioritaskan potensi kegagalan dalam suatu proses, produk, atau sistem. FMEA bertujuan untuk mencegah kegagalan dan meminimalkan dampaknya dengan cara memberikan tindakan perbaikan yang tepat sebelum kegagalan terjadi. Parameter penilaian yang digunakan terdiri dari *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) untuk menentukan *Risk Priority Number* (RPN). Nilai RPN digunakan untuk memprioritaskan kegagalan mana yang harus segera diperbaiki. Semakin tinggi RPN, semakin besar urgensi tindakan korektif. Metode ini banyak digunakan di industri manufaktur karena mampu memberikan pendekatan proaktif dalam mencegah defect dan meningkatkan stabilitas proses [10], [11]. Persamaan untuk menghitung nilai RPN adalah sebagai berikut:

$$S \times O \times D = RPN \quad (1)$$

Dalam penelitian ini, FMEA digunakan untuk menilai risiko penyebab ulir seret pada *screw* dan memastikan tindakan perbaikan yang diusulkan memiliki dampak signifikan terhadap peningkatan kualitas produk.

f. Implementasi Perbaikan

Berdasarkan hasil RCA dan FMEA, tindakan perbaikan dilakukan dengan menambahkan proses *washing-degreasing* sebelum *screw* masuk ke mesin *heat treatment*. Adapun tahapan *washing* terdiri dari:

- Perendaman dan pembilasan air sabun panas
- Pengeringan menggunakan *blower* panas
- Pemeriksaan acak kebersihan permukaan sebelum masuk *furnace*
- Implementasi dilakukan pada seluruh *batch* produksi selama tiga minggu.

g. Evaluasi Kinerja

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan tingkat cacat ulir seret atau bintik sebelum dan sesudah tindakan perbaikan. Parameter evaluasi meliputi:

- Persentase *defect* ulir seret per *lot* produksi (persentase *screw* yang mengalami ulir seret)
- Konsistensi *torque test* berdasarkan hasil uji torsi rata-rata
- Kebersihan ulir pada pemeriksaan mikroskopis melalui pemeriksaan visual mikroskopis setelah *plating*
- Konsistensi warna dan ketebalan *plating*

Data diambil selama tiga minggu setelah implementasi, kemudian dibandingkan dengan data tiga minggu sebelumnya untuk menilai efektivitas perbaikan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Temuan Awal

Berdasarkan hasil analisis proses dan pengujian/inspeksi awal terhadap sampel *screw* berdiameter 2–6 mm menunjukkan bahwa terdapat tingkat cacat yang cukup signifikan pada kondisi ulir pasca proses *plating*. Dari total sampel yang diuji, tercatat sebanyak 32% *screw* mengalami gejala ulir seret saat dilakukan uji torsi maupun simulasi pemasangan (*assembly test*). Pemeriksaan menggunakan mikroskop digital mengonfirmasi adanya kerak karbon yang menempel pada area alur ulir, dengan cakupan 10–30% dari permukaan ulir. Kerak ini ditemukan terutama pada ulir bagian terdalam yang sulit dijangkau oleh proses pembersihan maupun pelapisan.

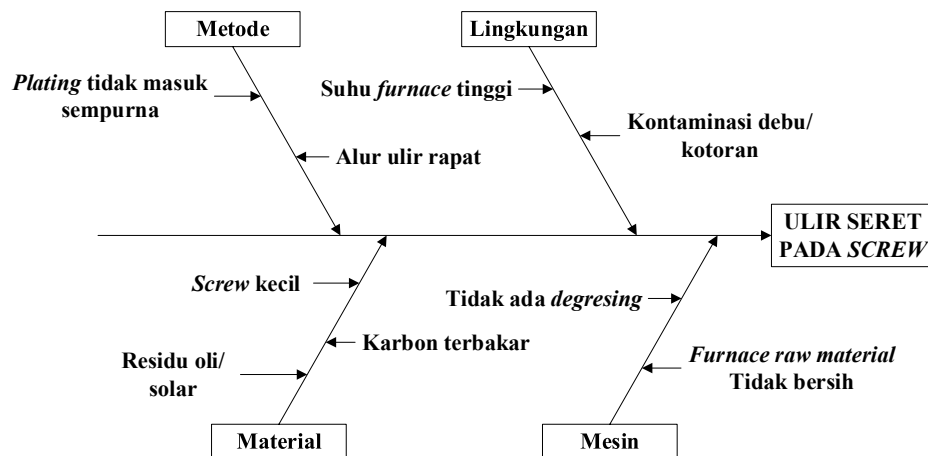
Tabel 1 Hasil Inspeksi Awal *Screw* Sebelum Perbaikan

Parameter Pemeriksaan	Hasil Temuan
Ukuran <i>screw</i>	Diameter 2–6 mm
Persentase <i>screw</i> dengan ulir seret	32%
Luas kerak karbon pada ulir	10–30% area ulir
Penetrasi <i>plating</i> ke ulir	Tidak merata, tidak mencapai area terdalam
Hasil uji <i>ring gauge</i>	Tidak stabil, beberapa mengalami seret
Warna permukaan	Tidak homogen pada area alur ulir

Selain itu, pada proses *plating* ditemukan bahwa lapisan *coating* tidak mampu menembus hingga area ulir terdalam. Ketidaksempurnaan penetrasi menyebabkan terbentuknya area *non-coated* yang berpotensi meningkatkan friksi dan mengganggu kualitas *thread engagement*. Temuan ini menjadi indikator bahwa terdapat residu kontaminan yang tidak berhasil dihilangkan pada tahapan proses sebelumnya.

b. Identifikasi Akar Masalah

Analisis akar masalah dilakukan menggunakan alat analisis *Fishbone Diagram*. Hasil analisis menunjukkan bahwa sumber utama cacat ulir seret berasal dari ketidak sempurnaan proses pembersihan sebelum masuk ke tahapan *heat treatment* (Gambar 1).



Gambar 1 Fishbone Diagram Penyebab Ulir Seret Pasca Plating

c. Penilaian Tingkat Risiko Kegagalan

FMEA digunakan untuk menilai tingkat risiko dari setiap potensi kegagalan. Parameter yang dianalisis meliputi Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D) untuk menentukan Risk Priority Number (RPN). Mode kegagalan “kerak karbon pada ulir akibat pembakaran oli” memiliki nilai RPN tertinggi sehingga harus menjadi prioritas perbaikan.

Tabel 2 adalah hasil analisis dengan menggunakan metode FMEA untuk kegagalan yang terjadi. RPN diperoleh berdasarkan hasil penilaian terhadap Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D) pada setiap kegagalan (*failure mode*) yang terjadi. Tabel 2 menunjukkan bahwa mode kegagalan kerak karbon memiliki nilai RPN tertinggi (288), kemudian setelah dilakukan tindakan perbaikan dengan mengimplementasikan *washing/degreasing* diperoleh nilai RPN yang menurun drastis (28), begitu seterusnya dilakukan penilaian terhadap keseluruhan kegagalan yang ditemukan (*failure mode*).

Tabel 2 FMEA Kerak Karbon pada Ulir Akibat Pembakaran Oli

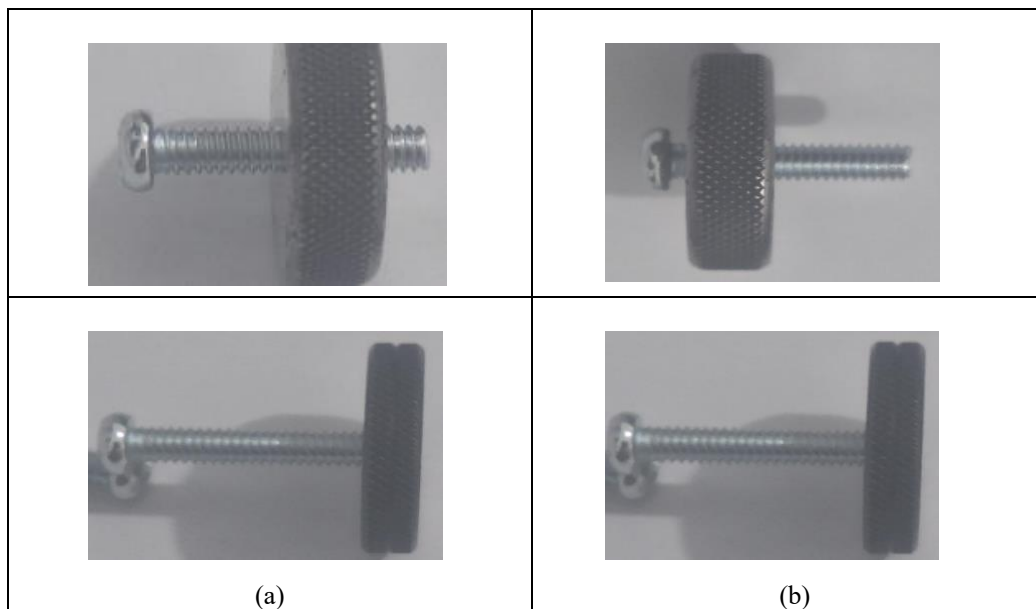
No.	Mode Kegagalan (<i>Failure Mode</i>)	Sebelum Perbaikan				Rekomendasi Tindakan	Setelah Perbaikan			
		S	O	D	RPN		S	O	D	RPN
1	Kerak karbon pada ulir akibat pembakaran oli (residu tidak <i>didegrease</i>)	9	8	4	288	Implementasi <i>washing/ degreasing</i> pra-HT, SOP kebersihan, monitoring konsentrasi larutan, inspeksi acak ulir	7	2	2	28
2	<i>Excess lubricant</i> /residu oli berlebih pada part	6	7	6	252	Kontrol pemberian dan penyesuaian pelumas, deteksi visual sebelum HT, pelatihan operator	5	3	3	45
3	<i>Plating</i> tidak menembus (non-penetration) pada ulir	7	6	5	210	Perbaikan <i>pra-plating cleaning</i> , optimasi agitasi dan waktu <i>plating</i> , inspeksi mikroskopis	6	3	3	54
4	Prosedur pembersihan tidak konsisten dilaksanakan operator	5	6	7	210	SOP tertulis, <i>checklist</i> pembersihan, pelatihan, audit proses	4	3	4	48
5	<i>Die wear</i> /kondisi alat <i>rolling</i> menurunkan kualitas ulir	6	5	6	180	<i>Preventive maintenance</i> , <i>schedule</i> penggantian <i>die</i> , monitoring kualitas ulir	5	3	4	60
6	Variasi suhu/kuasa pada <i>furnace</i> (pengaruh <i>quench</i> tidak konsisten)	8	4	5	160	Kalibrasi <i>furnace</i> , kontrol suhu otomatis, alarm deviasi, <i>log</i> proses	7	2	3	42

d. Hasil Perbaikan

Proses produksi sebelumnya tidak memiliki tahapan *degreasing* sebelum *heat treatment*, sehingga residu oli, solar, dan coolant dari proses *heading* maupun *rolling* masih menempel pada *screw*. Ketika *screw* memasuki *furnace* pada suhu tinggi, kontaminan tersebut mengalami pembakaran dan berubah menjadi kerak

karbon yang keras dan sulit dihilangkan. Kerak karbon ini kemudian menempel kuat pada geometri ulir yang sempit dan tidak dapat dilepaskan meskipun telah melalui proses *cleaning* pada *plating* (Gambar 2).

Lapisan karbon yang tersisa bertindak sebagai penghalang (*barrier*) sehingga penetrasi *coating plating* berkurang secara signifikan. Kondisi tersebut meningkatkan friksi saat *screw* dipasang dan menyebabkan ulir terasa seret. Dengan demikian, residu karbon diidentifikasi sebagai faktor dominan penyebab masalah kualitas dalam produk.



Gambar 2 Hasil *Ring gauge test*: (a) sebelum perbaikan: seret; (b) sesudah perbaikan: lancar

Setelah penerapan proses *washing* (Gambar 3), dilakukan evaluasi kualitas selama tiga minggu produksi. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan kualitas yang sangat signifikan. Tingkat cacat ulir seret turun drastis dari 32% menjadi hanya 4%, atau mengalami penurunan sebesar 87,5%.

Pemeriksaan mikroskopis ulang memperlihatkan bahwa tidak ditemukan lagi kerak karbon pada area ulir. Selain itu, proses *plating* menunjukkan perbaikan dalam hal keseragaman dan penetrasi *coating*, terutama pada bagian ulir terdalam yang sebelumnya sulit terlapsi.



Gambar 3 Hasil Penambahan Proses *Washing*: (a) sebelum: warna kusam; (b) setelah: warna lebih bersih dan seragam

Hasil uji torsi menunjukkan adanya peningkatan konsistensi sebesar $\pm 12\%$, yang menandakan bahwa ulir telah kembali bekerja sesuai standar mekanisnya dan kualitas pengikatan *screw* lebih stabil. Secara keseluruhan, implementasi *washing-degreasing* terbukti efektif sebagai solusi utama dalam mengatasi permasalahan ulir seret (Tabel 3).

Tabel 3. Perbandingan Kualitas *Screw* Sebelum dan Sesudah Perbaikan

Parameter	Sebelum Perbaikan	Sesudah Perbaikan	Perbaikan (%)
Ulir seret	32%	4%	-87,5%
Kerak karbon pada ulir	Ada (10–30%)	Tidak ditemukan	100%
Konsistensi torsi	Tidak stabil	Stabil (+12%)	+12%
Penetrasi plating	Kurang merata	Merata hingga dasar ulir	—
<i>Reject</i> ulir	Tinggi	Rendah	Menurun drastis

e. Efek Pembakaran Residu Oli dan Solar

Hasil analisis proses menunjukkan bahwa tidak adanya tahapan *degreasing* sebelum *heat treatment* menjadi faktor utama timbulnya kerak karbon pada ulir screw berdiameter 2–6 mm. Pada proses *heading* dan *rolling*, *screw* menggunakan pelumas berbasis oli dan solar untuk mengurangi gesekan dan menjaga kualitas permukaan. Ketika residu pelumas ini tidak dibersihkan dan *screw* langsung memasuki *furnace* dengan suhu 800–900°C, terjadi proses karbonisasi. Molekul hidrokarbon dari pelumas terurai dan membentuk lapisan karbon keras berwarna hitam. Lapisan ini bersifat melekat kuat dan sulit hilang bahkan setelah melalui tahapan *acid pickling* maupun proses elektrolitik *plating*.

Karbonisasi tersebut menyebabkan permukaan ulir mengalami perubahan tekstur dari yang seharusnya halus menjadi kasar dan tidak seragam. Dengan demikian, pembakaran pelumas residu merupakan titik kritis yang secara langsung mempengaruhi kualitas mekanik dan estetika *screw* hasil produksi.

f. Dampak Kerak Karbon terhadap Kualitas Ulir

Keberadaan kerak karbon pada ulir menyebabkan sejumlah permasalahan teknis yang signifikan. Pertama, permukaan ulir menjadi tidak rata, sehingga area kontak antara *screw* dan komponen berulir lain tidak bekerja sebagaimana mestinya. Kedua, kerak karbon mengurangi penetrasi larutan plating karena menciptakan area tertutup atau “*dead zone*” yang tidak dapat dijangkau oleh larutan *zinc* atau *nickel* dalam proses elektrodposisi.

Ketidaksempurnaan *plating* ini menyebabkan ulir memiliki tingkat friksi yang tinggi, mengakibatkan *inconsistent thread engagement* pada saat pemasangan. Pengujian torsi memperlihatkan bahwa *screw* dengan lapisan karbon memiliki kecenderungan *galling*, macet, atau memerlukan gaya putar lebih besar dari standar. Jika dibiarkan, kondisi ini berpotensi menurunkan keandalan produk, meningkatkan *reject*, dan memberikan dampak ekonomi (kerugian) yang cukup besar pada lini produksi [12].

g. Pentingnya Degreasing dalam Proses Metal Treatment

Dalam industri *fastener modern*, *degreasing* merupakan tahapan penting yang tidak dapat diabaikan. *Degreasing* berfungsi menghilangkan minyak, kotoran, dan kontaminan lain yang menempel pada permukaan logam. Tanpa *degreasing*, proses *heat treatment* dapat menghasilkan oksidasi tidak merata, pembentukan kerak, serta penurunan efektivitas *quenching* [12].

Dari sisi *metallurgy*, permukaan logam yang bersih memiliki kemampuan lebih baik dalam merespons proses pemanasan dan pendinginan cepat, sehingga struktur martensit yang terbentuk menjadi lebih stabil. Selain itu, kebersihan permukaan juga berpengaruh pada keberhasilan proses *finishing*, terutama *plating*. Permukaan yang bebas kontaminan memungkinkan lapisan pelapis menyebar merata, menempel kuat, dan memberikan perlindungan korosi optimal [12].

Berdasarkan temuan penelitian ini, tidak adanya *degreasing* sebelum *heat treatment* menyebabkan proses selanjutnya bekerja dalam kondisi tidak ideal, sehingga mendorong terjadinya cacat ulir seret.

h. Efektivitas Solusi Washing yang Diimplementasikan

Setelah penambahan proses *washing–degreasing* di awal rangkaian *heat treatment*, diperoleh peningkatan kualitas yang signifikan. Proses *washing* yang terdiri dari perendaman, pembilasan air panas, dan pengeringan terbukti mampu menghilangkan residu oli dan solar secara menyeluruh sebelum *screw* masuk ke *furnace* [12].

Tidak adanya pelumas yang terbakar mencegah pembentukan karbonisasi, sehingga permukaan ulir tetap bersih selama *heat treatment*. Hal ini meningkatkan stabilitas proses pemanasan-pendinginan dan mencegah cacat oksidasi berlebih. Dampaknya terlihat jelas pada proses *plating*, di mana lapisan pelapis mampu menembus hingga ke area ulir terdalam, menghasilkan *coating* yang halus, merata, dan bebas area *blank*.

Evaluasi kinerja menunjukkan penurunan cacat ulir seret dari 32% menjadi hanya 4% setelah tiga minggu implementasi. Selain itu, konsistensi torsi meningkat sekitar 12%, menandakan bahwa kualitas ulir telah kembali sesuai standar mekanik. Dengan demikian, solusi *washing* dapat dinyatakan sangat efektif dan layak dijadikan standar proses dalam produksi *screw* skala industri.

5. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa masalah ulir seret pada *screw* berdiameter 2–6 mm disebabkan oleh tidak adanya proses *degreasing* sebelum *heat treatment*, sehingga residu oli dan solar dari proses *heading* dan *rolling* terbakar dan membentuk kerak karbon pada ulir. Kerak karbon tersebut menghambat penetrasi *plating* sehingga menyebabkan permukaan ulir tidak merata, dan menghasilkan peningkatan friksi saat pemasangan.

Penambahan proses *washing-degreasing* terbukti mampu menghilangkan residu pelumas sebelum proses pemanasan, mencegah terjadinya karbonisasi, dan meningkatkan kualitas hasil *heat treatment* maupun *plating*. Implementasi *washing* berhasil menurunkan tingkat *defect* ulir seret dari 32% menjadi 4%, serta meningkatkan stabilitas torsi sebesar $\pm 12\%$. Oleh karena itu, *washing* perlu dijadikan prosedur standar pada alur produksi *screw* untuk memastikan konsistensi kualitas produk dan menurunkan potensi cacat pada proses hilir.

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa rekomendasi yang dapat diberikan yaitu berupa pengendalian stabilitas produksi, penggantian pelumas, inspeksi dan audit secara berkala, serta peninjauan terhadap sistem *preventive maintenance*. Implementasi sistem *washing line* otomatis dilakukan untuk menjaga/mengendalikan stabilitas kapasitas produksi sekaligus mengurangi variabilitas operasional. Penggantian pelumas dengan formulasi *heat-treatment-friendly* yang memiliki tingkat karbonisasi rendah dan mudah terurai pada proses pembersihan. Inspeksi kebersihan secara acak terhadap *screw* sebelum memasuki *heat treatment*, menggunakan standar visual maupun uji permukaan. Audit proses sebaiknya dilakukan secara rutin setiap tiga bulan untuk memonitor konsistensi pembersihan, efisiensi larutan *degreasing*, serta kondisi *furnace*. Perusahaan juga sebaiknya meninjau kembali sistem *preventive maintenance* pada mesin *heading* dan *rolling* untuk menghindari penggunaan pelumas berlebihan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Economic Research Institute for ASEAN and East Asia (ERIA), “Indonesia Manufacturing Sector Development Report,” Jakarta, Indonesia, 2021. [Daring]. Tersedia pada: <https://n9.cl/0136dd>.
- [2] I. Dharmayanti, H. Afriansyah, D. Rachmawati, H. Rokayah, dan Y. Febriani, “Peningkatan Penggunaan Produk Dalam Negeri (P3DN) dalam Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah,” Jakarta, Indonesia, 2022. [Daring]. Tersedia pada: <https://n9.cl/p7de4>.
- [3] I. Toughness, D. M. Field, S. R. Cluff, K. R. Limmer, J. S. Montgomery, dan D. J. Magagnosc, “Heat Treatment and Austenitization Temperature Effect on Strength Steel,” 2021.
- [4] X. Sun *dkk.*, “Effects of Different Heat Treatment Methods on Organic Pollutants and Heavy Metal Content in Oil Sludge Waste and Ecotoxicological Evaluation,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 7, hal. 1–12, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/app12073609>.
- [5] D. Croccolo *dkk.*, “Failure of Threaded Connections : A Literature Review,” *Machines*, vol. 11, no. 2, hal. 1–41, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/machines11020212>.
- [6] E. Chukwuebuka, C. Oliver, C. O. Asadu, D. Vandi, V. Kallon, dan B. Nnamdi, “Electroplating in the modern era, improvements and challenges: A review,” *Hybrid Adv.*, vol. 7, no. August, hal. 100286, 2024, doi: [10.1016/j.hybadv.2024.100286](https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100286).
- [7] K.-C. Tönnsen, “The Relevance of Trial-And-Error: Can Trial-and-Error Be a Sufficient Learning Method in Technical Problem-solving-contexts?,” *Techné Ser. A*, vol. 28, no. 2, hal. 303–312, 2021.
- [8] Nuriike Susendi, Adrian, dan I. Sopyan, “Kajian Metode Root Cause Analysis yang Digunakan dalam Manajemen Risiko di Industri Farmasi,” *Farmasetika*, vol. 6, no. 4, hal. 310–321, 2021, doi: <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v6i4.35053>.
- [9] A. Kumah *dkk.*, “Cause-and-Effect (Fishbone) Diagram: A Tool for Generating and Organizing

- Quality Improvement Ideas,” *Innov. J.*, vol. 7, no. 2, hal. 85–87, 2024, doi: 10.36401/JQSH-23-42.This.
- [10] Rustono, F. M. Triasrini, dan Paniya, “Failure Mode And Effect Analysis On Risk Management At An Oil And Gas Survey Company In Indonesia,” *Int. J. Sci. Technol. Manag.*, vol. 4, no. 6, hal. 1725–1732, 2023, doi: <https://doi.org/10.46729/ijstm.v4i6.988>.
- [11] R. Mahmoudvand, A. Maccioni, L. Frigau, dan D. Banks, “Probability Distribution of Risk Priority Numbers in Failure Mode and Effects Analysis,” *Risk Anal.*, hal. 1–13, 2025, doi: <https://doi.org/10.1111/risa.70143>.
- [12] Paweł Widomski, M. Zwierzchowski, A. Barełkowski, dan M. Tympalski, “Case Study of the Effect of Precoating on the Decarburization of the Surface Layer of Forged Parts during the Hot Die Forging Process,” *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 2, hal. 1–15, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/ma14020422>.