

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan pemetaan proses uji makro menggunakan process diagram dan flow process chart, penelitian menunjukkan bahwa alur produksi pengujian melibatkan rangkaian tahap yang panjang, mulai dari persiapan material, pemotongan, pengelasan, annealing, machining, grinding-polishing, hingga pengujian makro dan hardness. Melalui pemetaan ini, titik-titik kritis yang berpotensi menyebabkan kegagalan dapat diidentifikasi secara jelas. Data wawancara mengungkap adanya beberapa penyimpangan yang signifikan pada tahapan proses tersebut. Mesin polishing otomatis belum tersedia sehingga seluruh proses pemolesan dilakukan manual, menyebabkan permukaan spesimen sering tidak rata atau memiliki goresan dalam. Proses annealing tidak dilakukan secara khusus untuk spesimen kecil, namun digabung dengan komponen bogie sehingga spesimen menerima input panas berlebih yang dapat mengubah struktur mikro. Selain itu, proses tidak mencakup NDT pra-uji, sehingga cacat las internal berpotensi lolos hingga tahap etsa. Pada tahap machining juga ditemukan risiko panas berlebih yang memengaruhi nilai kekerasan di permukaan, serta adanya kontaminasi cairan pendingin atau minyak di area preparasi yang menyebabkan reaksi etsa tidak merata. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa ketidakterkendalian proses dan variabilitas prosedur menjadi faktor dominan terjadinya kegagalan pada hasil uji makro.
2. Berdasarkan hasil perhitungan Risk Priority Number (RPN) terbaru, analisis risiko menunjukkan bahwa faktor lingkungan dan metode preparasi menjadi prioritas utama penanganan masalah. Nilai RPN tertinggi sebesar 252 berasal dari faktor lingkungan, di mana kontaminasi permukaan oleh cairan pendingin atau minyak menghambat reaksi kimia etsa secara signifikan. Risiko terbesar kedua adalah metode polishing manual dengan RPN 200; tingginya angka ini dipicu oleh frekuensi kejadian (*Occurrence*) yang sering terjadi akibat pengerjaan tangan, menghasilkan permukaan yang tidak rata dan sulit diinterpretasi. Selanjutnya, proses annealing yang digabung (*batching*) memiliki RPN 144, yang meskipun jarang terjadi, memiliki tingkat kesulitan deteksi yang tinggi dan dampak fatal terhadap validitas struktur material. Risiko akibat tidak adanya prosedur NDT pra-uji menempati urutan berikutnya dengan RPN 120, karena cacat internal las dapat lolos hingga tahap akhir dan memicu pengerjaan ulang (*rework*). Sementara itu, faktor mesin akibat overheating saat machining dan faktor manusia terkait konsistensi pengelasan memiliki risiko yang lebih terkendali dengan nilai RPN masing-masing 72 dan 45. Secara keseluruhan, data ini menegaskan bahwa mitigasi kegagalan harus difokuskan pada sterilitas lingkungan kerja dan standarisasi metode preparasi untuk menjamin akurasi hasil pengujian.
3. Berdasarkan tabel rekomendasi perbaikan, tindakan mitigasi prioritas berfokus pada pencegahan sejak tahap awal proses serta peningkatan kontrol mutu melalui standarisasi dan penguatan prosedur. Rekomendasi prioritas pertama adalah penerapan protokol kebersihan area preparasi, termasuk pembersihan spesimen dengan pelarut organik untuk menghilangkan kontaminan yang menyebabkan etsa tidak merata. Untuk mengatasi

variabilitas hasil polishing, rekomendasi menetapkan penggunaan automatic polishing machine sebagai solusi jangka panjang, disertai instruksi kerja manual yang terstandar sebagai solusi sementara. Integrasi NDT pra-uji diusulkan untuk mencegah cacat internal lolos ke tahap pengujian, sehingga hasil makro yang diperoleh benar-benar mencerminkan kondisi sambungan las. Proses annealing direkomendasikan agar dipisahkan dari komponen bogie dan dilakukan pada tungku laboratorium dengan waktu tahan yang disesuaikan dengan dimensi spesimen agar tidak terjadi grain growth berlebih. Optimalisasi parameter machining dan penggunaan coolant distandarkan untuk mengendalikan temperatur dan mencegah perubahan hardness permukaan. Selain itu, peningkatan kompetensi operator las dan teknisi laboratorium melalui pelatihan lanjutan menjadi langkah pendukung untuk memastikan konsistensi pelaksanaan WPS dan prosedur preparasi spesimen. Rangkaian rekomendasi ini menegaskan bahwa perbaikan yang diusulkan bersifat preventif, terukur, dan secara langsung diarahkan pada penyebab kegagalan dengan RPN tertinggi.

## 5.2 Saran

Berdasarkan analisis FMEA, penulis merumuskan saran perbaikan untuk meminimalisir kegagalan uji makro dan meningkatkan sistem penjaminan mutu di PT INKA (Persero) sebagai berikut:

1. Standarisasi Preparasi dan Kebersihan Permukaan Menerapkan protokol pembersihan spesimen yang ketat menggunakan pelarut organik serta segera mengimplementasikan *polishing* otomatis (atau instruksi kerja manual yang tegas) untuk mengeliminasi kontaminasi dan ketidakrataan permukaan yang menghambat hasil etsa.
2. Pemisahan Proses *Annealing* dan Integrasi NDT Memisahkan siklus *annealing* spesimen uji dari komponen *bogie* menggunakan tungku laboratorium untuk mencegah perubahan struktur mikro akibat *overheating*, serta mewajibkan NDT sebelum pemotongan spesimen guna mendeteksi cacat las internal sejak dini.
3. Pengendalian Parameter Mesin dan Kompetensi Operator Mengoptimalkan parameter pemesinan (*machining*) dan penggunaan pendingin untuk menjaga kekerasan permukaan, disertai pelatihan berkala bagi operator guna memastikan kepatuhan terhadap prosedur pengelasan (WPS) dan penanganan spesimen yang standar.