

Analisis Penyebab Kegagalan Proses *Full Body Painting* Pesawat Terbang Menggunakan Metode *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)*

Jofan Delfi Piliang¹, Sanusi^{2*}, Larisang³, Ery Sugito⁴

^{1,2,3,4} Fakultas Sains & Teknologi, Jurusan Teknik Industri, Universitas Ibnu Sina
Jl. Teuku Umar, Lubuk Baja, Batam

Email: 201026201105@uis.ac.id, sanusi@uis.ac.id, larisang@uis.co.id, ery@uis.co.id

* Corresponding Author

ABSTRAK

Potensi industri penerbangan di Indonesia sangat menjanjikan, didukung oleh kondisi geografis sebagai negara kepulauan terbesar di dunia. Industri ini tidak hanya sebagai sektor transportasi udara, tetapi juga mencakup pembuatan pesawat, MRO, dan pembuatan drone. Menurut Menteri Perindustrian. MRO adalah organisasi yang menyediakan perawatan pesawat terbang. Tugas utama MRO adalah memastikan pesawat terbang layak untuk beroperasi setelah menjalani perawatan. Dalam industri MRO, PT Batam Aero Technic adalah salah satu perusahaan yang berperan penting. Salah satu divisinya, Aircraft Painting, memiliki peran vital dalam menentukan kualitas akhir pesawat. Namun, divisi ini mengalami kesulitan dalam mencapai standar kualitas yang diinginkan, terutama dalam hal defect pada proses full body painting. Analisis terhadap defect pada proses full body painting dilakukan dengan menggunakan metode FMEA. Hasilnya menunjukkan bahwa faktor manusia, material, mesin, dan metode menjadi penyebab utama defect, dengan "Tidak Memahami Teknik" sebagai faktor terbesar. Usulan perbaikan dilakukan melalui pelatihan intensif bagi para painter. Setelah pelatihan, pengawasan selama 7 hari kerja menunjukkan penurunan signifikan dalam jumlah defect. Defect sagging mengalami penurunan sebanyak 82.14%, sedangkan defect lainnya berhasil dihilangkan sepenuhnya setelah pelatihan. Pelatihan ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dan kualitas kerja para painter, serta mengurangi risiko defect pada proses full body painting di masa mendatang.

Kata kunci: Defect, Failure Mode and Effect Analysis, Kualitas

ABSTRACT

The potential of the aviation industry in Indonesia is very promising, supported by geographical conditions as the largest archipelago in the world. The industry is not only an air transportation sector but also includes aircraft manufacturing, MRO, and drone manufacturing. The projected value of the MRO industry will reach 1.7 billion USD by 2022, according to the Minister of Industry. An MRO is an organization that provides aircraft maintenance. Regulations for the establishment of MROs are governed by various regulations, including Law No. 1/2009 on Aviation and Civil Aviation Safety Regulation (CASR) part 145.

The main task of an MRO is to ensure the aircraft is fit to operate after undergoing maintenance. The quality of MRO is crucial as it relates to flight safety. In the MRO industry, PT Batam Aero Technic is one of the companies that plays an important role. One of its divisions, Aircraft Painting, has a vital role in determining the final quality of the aircraft. However, this division has difficulty in achieving the desired quality standard, especially in terms of defects in the full-body painting process. The defects in the full-body painting process were analyzed using the FMEA method. The results show that human factors, materials, machines, and methods are the main causes of defects, with "Not Understanding Techniques" as the biggest factor. Proposed improvements were made through intensive training for the painters. After the training, 7 working days of monitoring showed a significant decrease in the number of defects. The sagging defect decreased by 82.14%, while the other defects were eliminated after the training. This training is expected to improve the understanding and work quality of the painters and reduce the risk of defects in the full-body painting process in the future.

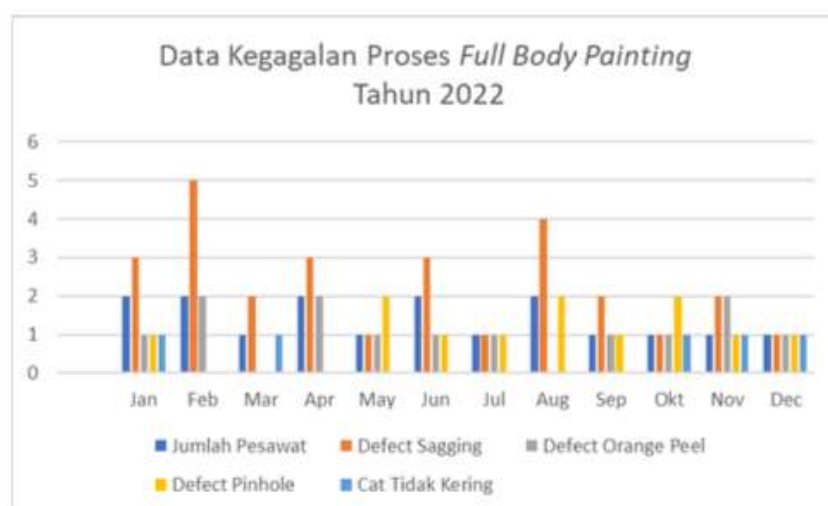
Keywords: Defect, Failure Mode and Effect Analysis, Quality.

I. PENDAHULUAN

Industri penerbangan di Indonesia memiliki prospek yang cerah, didukung oleh kondisi geografis negara yang merupakan kepulauan terbesar di dunia. Selain berperan sebagai sektor transportasi udara, industri dirgantara juga mencakup pembuatan pesawat, layanan *maintenance, repair, and overhaul* (MRO), serta produksi *drone*. Menteri Perindustrian, Agus Gumiwang Kartasasmita, memperkirakan bahwa nilai industri MRO akan mencapai 1,7 miliar USD pada tahun 2022. MRO sendiri adalah organisasi yang menyediakan layanan perawatan dan perbaikan pesawat (Institut Teknologi Dirgantara Adisugijito, 2022). Pendirian MRO diatur melalui berbagai regulasi, termasuk Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan serta *civil aviation Safety Regulation* (CASR) part 145 yang mengatur *Approved Maintenance Organization* (AMO) di Indonesia. Tugas utama MRO adalah memastikan pesawat layak beroperasi setelah menjalani perawatan. Untuk menjamin keselamatan penerbangan, kualitas layanan MRO harus memenuhi standar yang tinggi. Menurut Sunyoto dalam Wahyuni dan Ambarriani (2019), kualitas adalah ukuran yang menilai apakah suatu barang atau jasa memiliki nilai guna sesuai dengan harapan. Sebuah produk atau layanan dianggap berkualitas jika dapat berfungsi dengan baik dan memenuhi ekspektasi pengguna. Menjaga kualitas merupakan faktor penting dalam keberlanjutan bisnis, karena pelanggan menginginkan produk yang bebas dari cacat dan lebih unggul dibandingkan dengan produk dari pesaing (Tejaningrum, 2019). Salah satu tujuan utama perusahaan dalam pengendalian kualitas adalah meminimalkan jumlah produk cacat dan rusak agar biaya produksi tetap efisien dan tidak mengecewakan konsumen.

PT A. Technic adalah perusahaan yang bergerak di bidang perawatan dan perbaikan pesawat terbang. Dalam industri MRO, kualitas sangat krusial karena hasil perbaikan menentukan apakah pesawat dapat kembali beroperasi. Perusahaan ini memiliki berbagai divisi, seperti *Maintenance, Engine and APU Maintenance, Sheet Metal, Aircraft Painting, Cabin Furnishing*, dan lainnya. Berdasarkan observasi di lapangan, Divisi *Aircraft Painting* memiliki peran signifikan, dengan perhatian khusus terhadap kualitas hasil akhirnya. Divisi *Aircraft Painting* berfokus pada pengecatan pesawat, mulai dari skala kecil hingga pengecatan menyeluruh atau *Full Body Painting*. Proses ini mencakup pengecatan ulang seluruh bagian eksterior pesawat, termasuk *fuselage*, sayap, dan mesin. Divisi ini melayani berbagai pelanggan, baik dari Lion Air Group maupun maskapai lain, baik domestik maupun internasional. Untuk menjamin kepuasan pelanggan, perusahaan menetapkan standar kualitas sebesar 100%, yang mencakup tidak adanya cacat pada hasil pengecatan, pelaksanaan *adhesion test* untuk mengukur daya rekat cat, serta pengukuran *dry thickness* untuk memastikan ketebalan cat yang sesuai.

Divisi *Aircraft Painting* masih dalam tahap pengembangan dan menghadapi berbagai tantangan dalam proses *full body painting*, yang berpengaruh terhadap kualitas hasil akhir pekerjaan. Berdasarkan observasi di lapangan, divisi ini masih mengalami kendala dalam memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan, terutama dalam memastikan tidak adanya cacat (*defect*) pada hasil pengecatan pesawat. Jika terdapat cacat dalam proses pengecatan, maka pengecatan tersebut dianggap gagal. Oleh karena itu, diperlukan analisis mendalam untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan dalam proses *full body painting* agar kesalahan serupa dapat dicegah di masa mendatang, sehingga standar kualitas yang telah ditetapkan dapat tercapai.



Gambar 1. Grafik Kegagalan Proses *Full Body Painting*

Berdasarkan grafik pada gambar 1, jumlah *defect* yang paling sering terjadi dalam proses *full body painting* adalah *sagging*. Kegagalan dalam proses ini berdampak pada kebutuhan waktu tambahan untuk perbaikan, yang secara langsung meningkatkan biaya material. Selain itu, waktu tambahan ini juga dapat menyebabkan

keterlambatan dalam *Return to Service* (RTS), yang berisiko menimbulkan penalti dari pelanggan, mengganggu jadwal penerbangan, hingga mempengaruhi keselamatan dan efisiensi operasional. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang lebih mendalam terkait *defect* dalam *full body painting* untuk mengurangi potensi kerugian bagi perusahaan.



Gambar 2. *Orange Peel Defect & Runs/Sagging Paint Defect*



Gambar 3. *Peeling Paint Defect & Solvent Pop Paint Defect*



Gambar 4. *Fish Eye Paint & Cracking Paint Defect*

Salah satu metode yang umum digunakan untuk menganalisis, mengidentifikasi, dan mengatasi kegagalan dalam proses produksi adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Metode ini tidak hanya diterapkan dalam proses produksi tetapi juga dalam pengendalian kualitas, baik dari aspek desain maupun keseluruhan sistem produksi. FMEA berfungsi untuk mengevaluasi dan menilai potensi kegagalan dalam suatu sistem, desain, proses, atau layanan dengan memberikan skor berdasarkan tingkat kejadian (*occurrence*), tingkat keparahan (*severity*), dan kemampuan pendeteksian (*detection*) (Stamatis dalam Pasaribu, 2018). Dengan menerapkan FMEA, potensi kegagalan dalam proses produksi dapat diidentifikasi dan diprioritaskan, sehingga langkah-langkah pencegahan dapat diambil untuk meminimalkan atau menghindari kemungkinan kegagalan (Hasbullah dalam Maulidha, 2018). Keunggulan metode ini adalah kemampuannya dalam menganalisis serta mempertimbangkan risiko yang muncul akibat kegagalan dan dampaknya, sehingga dapat membantu perusahaan dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses produksi (Andiyanto dalam Maulidha, 2018).

II. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer dalam penelitian ini meliputi hasil wawancara dengan atasan dan observasi lapangan serta data hasil kuesioner. Data sekunder merupakan data yang didapat dari bahan dokumen atau bahan laporan yang berkaitan dengan jenis penelitian yang dilakukan dan diperoleh secara tidak langsung. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dengan wawancara, observasi atau pengamatan langsung serta kuesioner. Metode pengolahan data menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) yang merupakan metode sistematis untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam suatu sistem, proses, atau produk, serta mengevaluasi dampaknya guna menentukan tindakan perbaikan. Dalam pelaksanaan FMEA proses, pertama-tama harus didefinisikan *process function requirement* yang mencakup deskripsi lengkap tentang proses yang dianalisis beserta tujuan operasionalnya secara jelas. Apabila proses tersebut terdiri dari beberapa operasi, maka setiap operasi harus dijelaskan secara terpisah dengan deskripsi yang detail. Selanjutnya diidentifikasi *potential failure mode* yang meliputi tiga jenis kegagalan, yaitu: (1) kemungkinan kegagalan dalam proses itu sendiri sebagai aspek paling kritis, (2) potensi kegagalan pada operasi berikutnya, dan (3) dampak dari kegagalan operasi sebelumnya. *Potential effect of failure* harus dijelaskan dari perspektif konsumen, menggambarkan konsekuensi yang mereka alami, termasuk kemungkinan dampak terhadap keselamatan atau pelanggaran regulasi produk. *Severity* dinilai menggunakan skala 1-10 untuk mengukur tingkat keparahan dampak terhadap konsumen maupun kelangsungan proses produksi, dimana nilai lebih tinggi menunjukkan efek lebih serius. Kolom *classification* digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik produk khusus pada komponen atau sistem tertentu yang mungkin memerlukan pengendalian proses tambahan. *Potential cause of failure* harus diuraikan secara komprehensif sebagai semua faktor yang dapat menyebabkan kesalahan dan memungkinkan untuk dikendalikan atau diperbaiki. *Occurrence* menilai frekuensi kemungkinan munculnya penyebab kegagalan dalam skala 1-10, dengan nilai lebih tinggi menunjukkan kemungkinan lebih sering. *Current process control* mendokumentasikan mekanisme pengendalian yang ada untuk mencegah atau mendeteksi kesalahan. *Detection* menilai kemampuan sistem dalam mengidentifikasi kegagalan sebelum mencapai konsumen menggunakan skala 1-10, dimana nilai tinggi menunjukkan kesulitan deteksi. *Risk Priority Number* (RPN) merupakan hasil perkalian nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D) yang berfungsi sebagai indikator matematis untuk memprioritaskan risiko berdasarkan tingkat keparahan, kemungkinan terjadi, dan kemampuan deteksi (Stamatis, 2003)..

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

Rentang nilai RPN adalah dari 1 hingga 1000, dimana angka 1 menunjukkan risiko desain yang paling rendah. Nilai RPN dapat berfungsi sebagai pedoman untuk mengidentifikasi masalah yang paling serius, di mana angka yang lebih tinggi menandakan kebutuhan penanganan yang lebih mendesak. (11) *Recommended Action* tujuan dari *Recommended Action* adalah untuk mengurangi satu atau lebih dari kriteria yang membentuk nilai RPN. Peringkat dalam tahap validasi desain dapat mengakibatkan pengurangan pada tingkat deteksi. Hanya dengan memindahkan atau mengendalikan satu atau lebih penyebab/ mode cacat melalui perubahan desain yang dapat berdampak pada penurunan peringkat kejadian (Tsu-ming and Sun., 2011). Dan hanya revisi desain yang mampu mengurangi tingkat keparahan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data defect full body painting

Data defect pada proses *full body painting* divisi *Aircraft Painting* periode tahun 2022 yang menjadi penelitian merupakan data defect yang diperoleh tertera pada table 1.

Tabel 1. Data Defect

No	Jenis Defect	Jumlah Defect	% Defect	% Kumulatif
1	<i>Sagging</i>	28	49.12	49.12
2	<i>Orange Peel</i>	13	22.81	71.93
3	<i>Pin Hole</i>	11	19.30	91.23
4	Cat Tidak Kering	5	8.77	100.00
Total		57		

Berdasarkan tabel 4.1 terdapat *defect* yang sering terjadi pada proses *full body painting* pesawat terbang pada tahun 2022 adalah *sagging* dengan nilai persentase sebesar 49.12%. Berikut perhitungan jumlah persentase *defect*:

Sagging

$$\% \text{ Defect} = \frac{\text{Jumlah Defect}}{\text{Total Defect}} \times 100\% = 28/57 \times 100\% = 49.12\%$$

Orange Peel

$$\% \text{ Defect} = \frac{\text{Jumlah Defect}}{\text{Total Defect}} \times 100\% = 13/57 \times 100\% = 22.81\%$$

Pin Hole

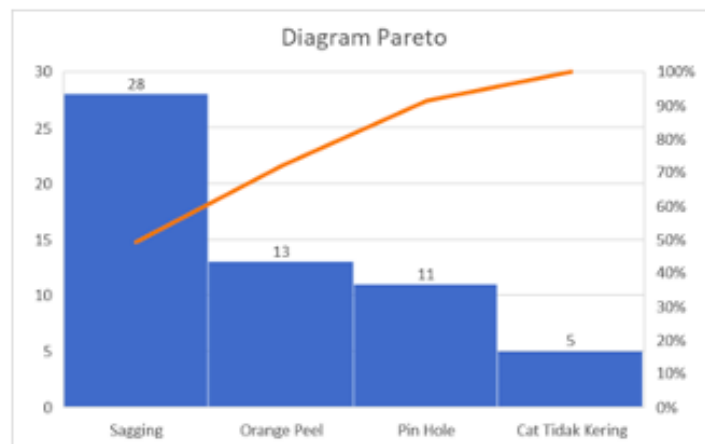
$$\% \text{ Defect} = \frac{\text{Jumlah Defect}}{\text{Total Defect}} \times 100\% = 11/57 \times 100\% = 19.30\%$$

Cat Tidak Kering

$$\% \text{ Defect} = \frac{\text{Jumlah Defect}}{\text{Total Defect}} \times 100\% = 5/57 \times 100\% = 8.77\%$$

3.2 Analisa Diagram Pareto

Pada penelitian ini diagram pareto digunakan untuk menentukan presentase defect yang sering muncul pada proses *full body painting* pesawat terbang sehingga dapat memberikan rekomendasi perbaikan untuk defect tersebut. Adapun hasil pengolahannya adalah sebagai berikut:

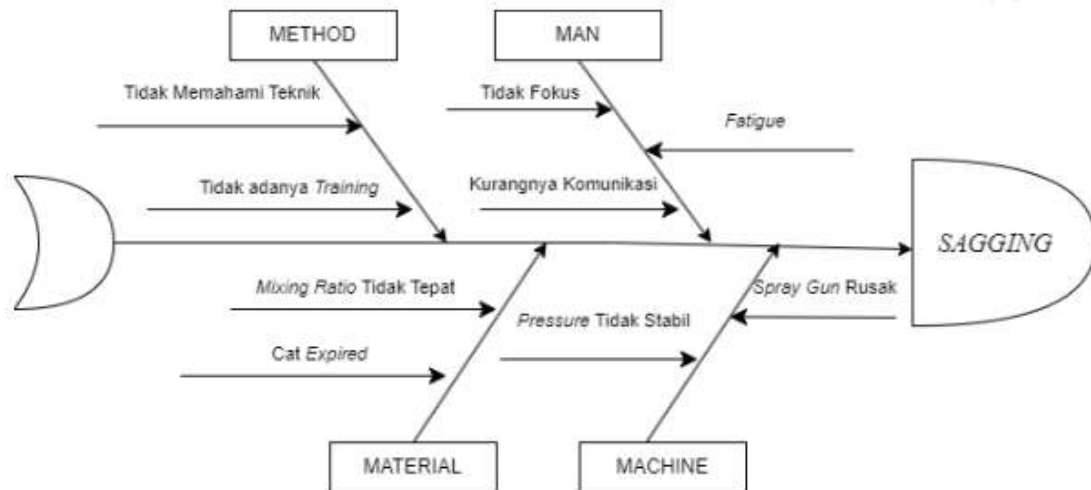


Gambar 5. Diagram Pareto

Pada Gambar 5 dijelaskan bahwa pada proses ini ditemukan 4 *defect* yang terjadi yaitu *sagging*, *orange peel*, *pin hole*, dan cat tidak kering. Jenis *defect* yang dominan berdasarkan gambar 3 adalah *sagging* dengan persentase sebesar 49.12%. Dampak dari *defect* ini jelas mengakibatkan kerugian bagi perusahaan karena memerlukan waktu tambahan untuk proses perbaikan dan juga mundurnya waktu RTS (*Return to Service*) pesawat terbang. Selain itu, perusahaan juga memerlukan biaya yang lebih untuk pembelian *consumable material* selama proses perbaikan. Hal ini didukung dengan pernyataan PIC dari divisi *Aircraft Painting* dan juga para *painter* yang menyatakan bahwa *defect sagging* pada proses *full body painting* pesawat terbang merupakan fokus permasalahan pada pengendalian kualitas mutu.

3.3 Identifikasi terjadinya defect dengan Fishbone Diagram

Setelah mengidentifikasi *defect sagging* sebagai prioritas utama melalui analisis sebelumnya, peneliti melakukan investigasi mendalam untuk menentukan akar penyebab masalah ini. Pemahaman menyeluruh terhadap faktor-faktor penyebab *sagging* sangat penting untuk merumuskan solusi yang tepat dan efektif dalam proses *full body painting* pesawat terbang. Pendekatan yang digunakan dalam analisis ini adalah *fishbone diagram* (diagram tulang ikan), yang memungkinkan peneliti untuk memetakan secara sistematis berbagai faktor penyebab potensial.



Gambar 5. Fishbone Diagram

Pada Gambar 5 diketahui bahwa *defect sagging* pada proses *full body painting* pesawat terbang disebabkan oleh 4 faktor yaitu *Man*, *Material Method*, dan *Machine*. Berikut adalah hasil analisis penyebab terjadinya *defect sagging* pada proses *full body painting* pesawat terbang. Analisa pada “*man*” diperoleh penyebabnya adalah tidak fokus, kelelahan, dan kurangnya komunikasi dengan penjelasan sebagai berikut: *Painter* kurang fokus pada saat melakukan proses *painting* yang disebabkan kurang konsentrasi ataupun kondisi fisik yang kurang baik, *Painter* mengalami kelelahan pada saat melakukan proses *full body painting* pesawat terbang, *Painter* tidak melakukan komunikasi yang baik dengan *helper*. Pada “*material*” diperoleh penyebabnya sebagai berikut:

Mixing ratio tidak tepat dan *Cat Expired* penjelasannya Proses *mixing cat* tidak sesuai dengan *mixing ratio* yang tertera pada *MDS (Material Data Sheet)* atau kemasan cat dan cat yang akan digunakan untuk proses *full body painting* sudah memasuki atau melewati *expired date*. Pada “*machine*” penyebabnya adalah *Spray Gun* rusak dan *Pressure* tidak stabil, disebabkan oleh proses *cleaning spray gun* yang kurang baik, sehingga terjadi ketidaknormalan pada *spray gun* dan *Pressure* yang dihasilkan oleh kompresor utama tidak sesuai dengan Bar atau Psi yang dibutuhkan untuk proses *full body painting*. Yang terakhir pada “*method*”, penyebabnya adalah tidak memahami teknik dan tidak adanya training penjelasannya pada saat proses *full body painting*, *painter* tidak memperhatikan jarak minimal untuk proses *spray paint*, sehingga terjadinya penumpukan pada *surface*. Dan para *painter* tidak memiliki pelatihan *basic aircraft painting* secara khusus, namun hanya memiliki pelatihan internal yang diberikan oleh senior yang berada di lapangan.

3.4 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Severity merupakan penilaian terhadap tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan oleh suatu kegagalan terhadap hasil proses atau produk. Penilaian ini mengacu pada pedoman rating severity dengan skala 1 (paling ringan) hingga 10 (paling kritis), di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan tingkat keparahan yang lebih serius. Berikut adalah tabel pedoman penilaian severity:

Tabel 2. Pedoman Nilai Rating Severity (Stamatis., 2003)

Rating	Tingkat Keparahan (Severity)	Deskripsi Dampak
1	Sangat Ringan	Dampak dapat diabaikan; tidak memengaruhi fungsi atau kualitas produk.
2	Ringan	Dampak sangat kecil; tidak memerlukan perbaikan signifikan.
3	Minor	Dampak kecil; mungkin memerlukan sedikit penyesuaian.
4	Sedikit Berarti	Kegagalan menimbulkan ketidaknyamanan kecil bagi pengguna.
5	Moderat	Dampak nyata tetapi terbatas; kualitas produk sedikit terpengaruh.
6	Signifikan	Kegagalan menyebabkan gangguan operasional atau penurunan performa produk.
7	Serius	Dampak tinggi; memengaruhi keandalan atau kepuasan pelanggan.
8	Sangat Serius	Kegagalan mengancam fungsi utama produk atau keselamatan sebagian pengguna.
9	Kritis	Kegagalan menyebabkan produk tidak layak pakai atau risiko

		keselamatan tinggi.
10	Fatal	Kegagalan total; berpotensi menyebabkan bahaya serius atau kegagalan sistem sepenuhnya.

Nilai dari *severity* berdasarkan hasil kuesioner dengan pendekatan *brainstorming* dari *expert* yang terdiri dari 1 orang *Group Leader* dan 2 orang *Senior Aircraft Painter* yang memiliki pengalaman >10 tahun pada proses pengecatan pesawat terbang, dalam menganalisa penyebab terjadinya defect pada proses *full body painting* pesawat terbang.

Tabel 3. Pertanyaan Wawancara *Severity*

No	Pertanyaan	Rating
1	Tingkat keparahan dampak yang mungkin terjadi akibat pengabaian terhadap defect sagging dalam proses pengecatan penuh badan pesawat?	3
2	Sejauh mana fatigue dapat memperparah munculnya defect sagging pada proses pengecatan seluruh permukaan pesawat?	4
3	Dampak signifikansi yang ditimbulkan oleh kurangnya komunikasi tim terhadap terjadinya defect sagging dalam proses pengecatan full body pesawat?	4
4	Tingkat pengaruh ketidaktepatan mixing ratio cat terhadap kemunculan defect sagging pada proses pengecatan lengkap pesawat terbang?	3
5	Seberapa kritis dampak penggunaan cat yang sudah kadaluwarsa terhadap timbulnya defect sagging dalam proses pengecatan seluruh badan pesawat?	3
6	Besarnya pengaruh kerusakan spray gun terhadap terjadinya defect sagging pada proses pengecatan full body pesawat?	7
7	Tingkat keparahan akibat ketidakstabilan tekanan udara terhadap munculnya defect sagging dalam proses pengecatan seluruh permukaan pesawat?	4
8	Seberapa serius dampak ketidakpahaman teknik pengecatan terhadap kemunculan defect sagging pada proses full body painting pesawat?	5
9	Besarnya konsekuensi dari tidak dilaksanakannya pelatihan terhadap frekuensi munculnya defect sagging dalam proses pengecatan badan pesawat secara menyeluruh?	5

Sehingga nilai *severity* diperoleh:

Tabel 4. Nilai *Severity*

Penyebab	Severity
Tidak Fokus	3
<i>Fatigue</i>	4
Kurangnya Komunikasi	4
<i>Mixing ratio</i> tidak tepat	3
<i>Cat Expired</i>	3
<i>Spray Gun</i> Rusak	7
<i>Pressure</i> tidak stabil	4
Tidak Memahami Teknik	5
Tidak adanya <i>Training</i>	5

3.5 Menentukan Occurance

Occurance merupakan evaluasi terhadap tingkat kemungkinan atau frekuensi munculnya suatu penyebab kegagalan. Penilaian ini mengacu pada skala 1 hingga 10, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan kemungkinan terjadinya kegagalan yang lebih sering. Berikut adalah panduan penilaian occurrence:

Tabel 6. Pedoman Nilai *Rating Occurance* (Stamatis., 2003)

Rating	Tingkat Kemungkinan (Occurrence)	Deskripsi Frekuensi Kejadian
1	Sangat Jarang	Hampir tidak pernah terjadi (kemungkinan < 1 dalam 1,5 juta operasi)
2	Jarang	Kemungkinan sangat rendah (sekitar 1 dalam 150.000 operasi)
3	Sporadis	Terjadi sesekali (sekitar 1 dalam 15.000 operasi)

4	Kadang-Kadang	Terjadi dalam beberapa kasus (sekitar 1 dalam 2.000 operasi)
5	Kemungkinan Rendah	Mungkin terjadi (sekitar 1 dalam 400 operasi)
6	Moderat	Terjadi secara periodik (sekitar 1 dalam 80 operasi)
7	Sering	Sering terjadi (sekitar 1 dalam 20 operasi)
8	Sangat Sering	Sangat sering terjadi (sekitar 1 dalam 8 operasi)
9	Hampir Pasti	Hampir selalu terjadi (sekitar 1 dalam 3 operasi)
10	Pasti Terjadi	Terjadi pada setiap operasi (kemungkinan > 1 dalam 1 operasi)

Berdasarkan pedoman pada tabel 6, maka berikut ini adalah nilai dari *occurrence* berdasarkan hasil pengisian kuesioner dengan pendekatan *brainstorming* dari *expert* yang terdiri dari 1 *Group Leader* dan 2 *Senior Aircraft Painter* yang memiliki pengalaman lebih dari 10 tahun pada proses pengecatan pesawat terbang, dalam menganalisa penyebab terjadinya *defect* pada proses *full body painting* pesawat terbang.

Tabel 7 Pertanyaan Wawancara *Occurance*

No	Pertanyaan	Rating
1	Seberapa besar peluang terjadinya <i>defect sagging</i> pada proses <i>full body painting</i> akibat tidak fokus ?	3
2	Seberapa besar peluang terjadinya <i>defect sagging</i> pada proses <i>full body painting</i> akibat dari fatigue ?	5
3	Seberapa besar peluang terjadinya <i>defect sagging</i> pada proses <i>full body painting</i> akibat kurangnya komunikasi ?	4
4	Seberapa besar peluang terjadinya <i>defect sagging</i> pada proses <i>full body painting</i> akibat mixing ratio tidak tepat ?	3
5	Seberapa besar peluang terjadinya <i>defect sagging</i> pada proses <i>full body painting</i> akibat cat expired ?	2
6	Seberapa besar peluang terjadinya <i>defect sagging</i> pada proses <i>full body painting</i> akibat spray gun rusak ?	7
7	Seberapa besar peluang terjadinya <i>defect sagging</i> pada proses <i>full body painting</i> akibat pressure tidak stabil ?	2
8	Seberapa besar peluang terjadinya <i>defect sagging</i> pada proses <i>full body painting</i> akibat tidak memahami teknik ?	4
9	Seberapa besar peluang terjadinya <i>defect sagging</i> pada proses <i>full body painting</i> akibat tidak adanya training ?	4

Sehingga nilai *Occurance* diperoleh:

Tabel 8. Nilai *Occurance*

Penyebab	<i>Occurance</i>
Tidak Fokus	3
<i>Fatigue</i>	5
Kurangnya Komunikasi	4
<i>Mixing ratio</i> tidak tepat	3
<i>Cat Expired</i>	2
<i>Spray Gun</i> Rusak	7
<i>Pressure</i> tidak stabil	2
Tidak Memahami Teknik	4
Tidak adanya <i>Training</i>	4

3.6 Menentukan *Detection*

Detection merupakan evaluasi terhadap efektivitas sistem dalam mengidentifikasi penyebab potensial atau kegagalan sebelum berdampak pada produk/proses. Skala penilaian menggunakan rentang 1-10, dimana nilai lebih tinggi menunjukkan tingkat kesulitan deteksi yang lebih besar. Berikut tabel panduan penilaian *detection*:

Tabel 9 Pedoman Nilai *Rating Detection* (Stamatis., 2003)

Rating	Tingkat Deteksi	Deskripsi Kemampuan Deteksi
1	Sangat Tinggi	Hampir pasti terdeteksi ($\geq 99\%$)
2	Tinggi	Kemungkinan besar terdeteksi ($\geq 90\%$)
3	Cukup Tinggi	Dapat dideteksi dengan baik ($\geq 80\%$)
4	Moderat Tinggi	Kemungkinan terdeteksi ($\geq 65\%$)
5	Sedang	Peluang deteksi sedang ($\geq 50\%$)
6	Cenderung Rendah	Mungkin terlewat ($\geq 30\%$)
7	Rendah	Sulit dideteksi ($\geq 20\%$)
8	Sangat Rendah	Sangat sulit dideteksi ($\geq 10\%$)
9	Hampir Tidak	Hampir tidak terdeteksi ($\geq 5\%$)
10	Tidak Terdeteksi	Tidak ada mekanisme deteksi (0%)

Berdasarkan pedoman pada tabel 4.9, maka berikut ini adalah nilai dari *detection* berdasarkan hasil pengisian kuesioner dengan pendekatan *brainstorming* dari *expert* yang terdiri dari 1 *Group Leader* dan 2 *Senior Aircraft Painter* yang memiliki pengalaman lebih dari 10 tahun pada proses pengecatan pesawat terbang, dalam menganalisa penyebab terjadinya *defect* pada proses *full body painting* pesawat terbang.

Tabel 10. Pertanyaan Wawancara *Detection*

No	Pertanyaan	Rating
1	Tingkat detektabilitas faktor ketidakfokusan operator sebagai penyebab defect sagging dalam proses pengecatan full body pesawat?	1
2	Seberapa mudah faktor kelelahan pekerja dapat diidentifikasi sebagai pemicu defect sagging pada proses pengecatan seluruh permukaan pesawat?	1
3	Kemampuan sistem dalam mengenali masalah komunikasi tim yang berpotensi menimbulkan defect sagging pada proses full body painting?	2
4	Probabilitas deteksi terhadap ketidakakuratan mixing ratio cat yang menyebabkan defect sagging dalam proses pengecatan lengkap pesawat terbang?	1
5	Tingkat keberhasilan identifikasi material cat kadaluwarsa sebagai sumber defect sagging pada proses pengecatan badan pesawat?	2
6	Efektivitas pengawasan dalam menemukan kerusakan spray gun yang memicu defect sagging pada proses full body painting pesawat?	1
7	Kemungkinan pendeteksian ketidakstabilan tekanan udara penyebab defect sagging dalam sistem pengecatan full body pesawat?	1
8	Seberapa efektif sistem kontrol dapat mengenali kekurangan pemahaman teknik sebagai akar masalah defect sagging?	2
9	Kapabilitas identifikasi terhadap keterkaitan antara absennya pelatihan dengan kemunculan defect sagging dalam proses pengecatan pesawat?	2

Sehingga nilai *Detection* adalah:

Tabel 11. Nilai *Detection*

Penyebab	Ocurance
Tidak Fokus	1
<i>Fatigue</i>	1
Kurangnya Komunikasi	2
<i>Mixing ratio</i> tidak tepat	1
<i>Cat Expired</i>	2
<i>Spray Gun</i> Rusak	1
<i>Pressure</i> tidak stabil	1
Tidak Memahami Teknik	2
Tidak adanya <i>Training</i>	2

Setelah menentukan nilai untuk setiap potensi kegagalan, tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN). RPN dihitung melalui perkalian tiga parameter utama: *severity* (tingkat keparahan), *occurrence* (frekuensi kejadian), dan *detection* (kemampuan deteksi). Berikut adalah hasil perhitungan RPN yang diperoleh untuk berbagai potensi kegagalan yang menyebabkan *defect sagging*:

Tabel 4. 13 Hasil RPN *Defect Sagging* Proses *Full Body Painting*

No	Potensial Failure	S	O	D	RPN	Rank
1	Tidak Fokus	3	3	1	12	7
2	<i>Fatigue</i>	4	5	1	21	6
3	Kurangnya Komunikasi	4	4	2	24	5
4	<i>Mixing ratio</i> tidak tepat	3	3	1	10	8
5	<i>Cat Expired</i>	3	2	2	28	4
6	<i>Spray Gun</i> Rusak	7	7	1	35	3
7	<i>Pressure</i> tidak stabil	4	2	1	8	9
8	Tidak Memahami Teknik	5	4	2	40	1
9	Tidak adanya <i>Training</i>	5	4	2	36	2

IV. SIMPULAN

Berdasarkan analisis menyeluruh menggunakan Pareto Diagram terhadap data defect painting pesawat, teridentifikasi bahwa sagging merupakan masalah kualitas paling dominan, menyumbang persentase tertinggi dibanding defect lainnya. Untuk mengurai akar penyebabnya, dilakukan analisis kausalitas dengan Fishbone Diagram yang mengungkap empat faktor kunci penyebab sagging: aspek manusia (kurangnya pelatihan teknik painting), material (viskositas cat tidak optimal), metode (prosedur aplikasi yang kurang tepat), dan permesinan (pengaturan spray gun yang tidak presisi). Analisis risiko lebih lanjut melalui FMEA menunjukkan bahwa "ketidapkahaman teknik painting" menjadi failure mode paling kritis dengan Risk Priority Number (RPN) 40, yang diperoleh dari perkalian severity (8), occurrence (5), dan detection (1) pada skala 1-10. Temuan ini sekaligus menegaskan urgensi perbaikan di aspek kompetensi operator.

Menyikapi temuan tersebut, tim peneliti mengembangkan program perbaikan berbasis analisis 5W+1H (What-Why-Where-When-Who-How) yang difokuskan pada peningkatan kompetensi teknis. Program ini dirancang sebagai pelatihan intensif di Hangar Aircraft Painting dengan jadwal bertahap selama 2 minggu, melibatkan seluruh painter (15 orang), 3 instruktur bersertifikasi, serta pengawasan ketat dari tim Quality Assurance. Materi pelatihan mencakup: teknik spraying yang benar, pemahaman viskositas cat, kalibrasi peralatan, dan prosedur standar pekerjaan. Metode pembelajaran diterapkan secara interaktif melalui demonstrasi langsung, simulasi, dan evaluasi praktik di lapangan untuk memastikan transfer pengetahuan yang efektif. Seluruh proses didokumentasikan secara rinci sebagai bahan audit dan perbaikan berkelanjutan.

Implementasi solusi memberikan hasil yang signifikan berdasarkan monitoring Quality Control selama seminggu pasca-pelatihan. Defect sagging mengalami penurunan dramatis dari 28 unit menjadi hanya 5 unit (82.14% improvement), sementara orange peel berkurang dari 13 unit ke 3 unit (76.92%). Yang lebih menggembirakan, defect pin hole dan cat tidak kering berhasil dihilangkan sepenuhnya (100% improvement). Analisis lebih dalam menunjukkan bahwa peningkatan ini tidak hanya berasal dari aspek teknis, tetapi juga perubahan mindset painter dalam menjalankan prosedur standar. Hasil uji t-test membuktikan perbedaan signifikan ($p < 0.05$) antara data sebelum dan sesudah intervensi. Keberhasilan ini sekaligus memvalidasi efektivitas pendekatan pelatihan terstruktur dalam menyelesaikan masalah kualitas di lini produksi.

Hasil penelitian ini membuktikan efektivitas pendekatan sistematis melalui analisis Pareto, Fishbone Diagram, dan FMEA dalam mengidentifikasi akar masalah defect *sagging*, di mana solusi berbasis pelatihan teknis tidak hanya berhasil menurunkan defect *sagging* sebesar 82.14% dan *orange peel* 76.92%, tetapi juga menghilangkan 100% defect *pin hole* dan *cat tidak kering*, sekaligus menegaskan pentingnya peningkatan kompetensi SDM dalam perbaikan kualitas produksi. Ke depan, diharapkan program pelatihan semacam ini dapat diinstitusionalisasi sebagai bagian dari *onboarding* dan *refresher training* berkala, diperluas cakupannya ke aspek perawatan peralatan dan *material handling*, serta didukung sistem *real-time defect tracking* untuk deteksi dini, sehingga dapat menjadi model *continuous improvement* yang tidak hanya berfokus pada solusi jangka pendek tetapi juga membangun budaya kualitas yang berkelanjutan melalui komitmen manajemen dalam alokasi sumber daya dan penerapan *best practices* secara konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

Aristriyana, E., & Fauzi, R. A. (2022). Analisis Penyebab Kecacatan Produk Dengan Metode *Fishbone Diagram* Dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) Pada Perusahaan Elang Mas Sindang Kasih Ciamis. *Jurnal Industrial Galuh*, 4(2), 75-85.

- Habeahan, R. (2021). Analisis Pengendalian Kualitas Benang Warna Menggunakan Metode Fault Tree Analysis Dan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (Doctoral Dissertation, Universitas Komputer Indonesia).
- Irfan & Hamdy, Muhammad. (2019). Simulasi Perbaikan System Maintenance Dengan Pendekatan Konsep Lean Maintenance. *Jurnal Energi dan Manufaktur*. 12. 13. 10.24843/jem.2019.v12.i01.p03.
- J. Susetyo. (2009). Analisis Pengendalian Kualitas dan Efektivitas dengan Integrasi Konsep Failure Mode & Effect Analysis dan Fault Tree Analysis. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 2(1).
- Kasad, F. (2019). Analisa pengendalian kualitas produk versaboard di pt bakrie building industries dengan menggunakan metode *fault tree analysis* (FTA) Dan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) (doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana Jakarta).
- Kusnanto, K., & Sugianto, W. (2021). Analisis Kehandalan Pneumatic System Pada Pesawat Penumpang di PT. ABC. *Jurnal Computer and Science Industrial Engineering (COMASIE)*, 4(1), 38-47.
- Maulidha, N. A. N. (2018). Analisis Risiko Penyebab Kegagalan Proses Pada Produksi *Pe Protection Tape* Dengan Menggunakan Metode *Grey Failure Mode And Effect Analysis* (Studi Kasus di PT. Harapan Mulia Mandiri Tangerang) (doctoral dissertation, UIN Sunan Klijaga Yogyakarta).
- Muhammad Alwan, A. (2022). Analisa Pengaruh Proses Treatment Poles Compound Pada Body Mobil Dengan Menggunakan *Polishing Compound Menzerna 1000, 2400, 3800 dan Sealing Wax* (Doctoral Dissertation, UNSADA).
- Nugraha, E., & Sari, R. M. (2019). Analisis Defect Dengan Metode *Fault Tree Analysis* Dan *Failure Mode Effect Analysis*. *Organum, Jurnal Saintifik Manajemen dan Akuntansi*, 2(2), 62-72
- Nuraiman, N., & Capriani, D. (2020). Pengaruh Kualitas Pelayanan Jasa Terhadap Kepuasan Pasien Rawat Inap Di Rumah Sakit Umum Anutapura Palu. *Media Publikasi Penelitian Kebidanan*, 3(1), 15- 21.
- Nursyamsi, I., & Momon, A. (2022). Analisa Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Seven Tools Untuk Meminimalkan Return Konsumen di PT. XYZ. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(1).
- Pasaribu, M. V. D. (2018). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Dengan Menggunakan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) Pada PT. Dian Megah Indo Perkasa (doctoral dissertation, Universitas Komputer Indonesia).
- Permana, M. B. (2018). Analisis *overall equipment effectiveness* (OEE) pada Mesin Granulator NPK Ponska di PT. Petrokimia Gresik (doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Gresik).
- Ramadhan, F., & Arsana, M. (2023). Sistem Pemeliharaan Ban Pesawat Terbang Airbus A320. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(01), 95-102.
- Rully, T., & Putri, C. F. (2022). Analisis Kebijakan Pemeliharaan Mesin Dalam Rangka Meminimumkan Biaya Pemeliharaan Pada PT Paramount Bed Indonesia.
- Setiawan, N., Wibowo, A. A., & Lombardo, D. (2022). Usulan Perbaikan Penyebab Kegagalan Proses Pengecatan Menggunakan Metode Failure Mode Effect Analysis, 4(1), 15-21.
- Sihotang, Zofar Septian Candra (2019). Memprediksi Umur Layan Cat Dinding Luar Pada Bangunan Gedung. S1 thesis, UAJY.
- Stamatis. D.H (2003) *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution. (2nd ed.)*. Milwaukee: American Quality Press, (Chapter 2)
- Taufiqurrahman, R. H. (2022). Analisis Risiko Kegagalan Pemeliharaan Pada Mesin Pengolahan *Briquette* Dengan Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) (Studi Kasus: CV. Unico Indonesia) (doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung).
- Tejaningrum, A., Rustyani, I., & Rustyani, I. (2019). Analisis Kualitas Produk Menggunakan Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) Untuk Mengidentifikasi Faktor Penyebab Dominan (Doctoral Dissertation, Bakrie University).
- Tsu-Ming Yeh, & Jia-Jeng Sun. (2011). Preventive Maintenance Model with FMEA and Monte Carlo Simulation for the key Equipment in Semiconductor Foundries. *Scientific Research and Essays*, 6(26): 5534-5547
- Wahyuni, M. I., & Ambarriani, A. S. (2019). Penerapan Manajemen Kualitas Pada Hotel Non-Bintang di Kota Yogyakarta. *Modus*, 31(1), 61-71.
-