

**INTEGRASI FMEA-FTA-BOWTIE UNTUK IDENTIFIKASI AKAR
MASALAH DAN PENCEGAHAN KEGAGALAN PRODUK MEBEL**

***INTEGRATION OF FMEA-FTA-BOWTIE FOR ROOT CAUSE
IDENTIFICATION AND FURNITURE PRODUCT FAILURE PREVENTION***

Atika Dwi Nanda^a, Dwi Iryaning Handayani^{b*}, Tri Prihatiningsih^c, Haryono^d

^a Program Studi Teknik Industri, Universitas Panca Marga
email: atikaadwii@gmail.com

^b Program Studi Teknik Industri, Universitas Panca Marga
email: dwiiryaning@upm.co.id

^c Program Studi Teknik Industri, Universitas Panca Marga
email: tri.prihatiningsih@upm.ac.id

^d Program Studi Teknik Industri, Universitas Panca Marga
email: haryono@upm.ac.id

Abstrak

Masalah: UKM Mebel Jaya mengalami peningkatan cacat atau kegagalan produk pada lemari kayu seiring dengan peningkatan volume produksi, yang mengancam kualitas produk secara keseluruhan.

Tujuan: Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor risiko, menganalisis penyebab utama, dan merancang langkah-langkah pengendalian risiko untuk kegagalan produk lemari guna meningkatkan kualitas produksi.

Metodologi: Studi ini mengintegrasikan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) untuk memprioritaskan risiko menggunakan *Risk Priority Number* (RPN), *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk melacak dan menstrukturkan penyebab utama kegagalan, serta *Bowtie Analysis* (BTA) untuk mengembangkan strategi pencegahan dan mitigasi melalui pengendalian penghalang

**Corresponding Author*

email: dwiiryaning@upm.co.id

Temuan/Hasil Penelitian: Hasil FMEA menunjukkan tiga penyebab kegagalan dominan dengan nilai RPN tertinggi: aplikasi pewarna yang tidak konsisten (RPN 116), pengukuran yang tidak akurat (RPN 114), dan alat potong yang tumpul (RPN 111). Hasil FTA menunjukkan bahwa kegagalan ini dipicu oleh prosedur operasional standar (SOP) yang tidak memadai, alat yang tidak memenuhi standar, pelatihan pekerja yang terbatas, dan pemeliharaan peralatan yang lemah. Output BTA mengusulkan pengendalian risiko termasuk pelatihan operator, pengembangan dan implementasi SOP, inspeksi produk akhir, dan pemeliharaan rutin peralatan.

Jenis penelitian: Penelitian analisis kuantitatif

Kata kunci: FMEA, FTA, Bowtie Analysis

Abstract

Problem: SME Mebel Jaya has experienced an increase in defects and product failures in wooden cupboards as production volume grows, threatening overall product quality.

Purpose: This study aims to identify risk factors, analyze root causes, and design risk control measures for cupboard product failures to improve production quality.

Methodology: This study integrates Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to prioritize risks using the Risk Priority Number (RPN), Fault Tree Analysis (FTA) to trace and structure root causes of failures, and Bowtie Analysis (BTA) to develop prevention and mitigation strategies through barrier controls.

Findings/Results: The FMEA results indicate three dominant failure causes with the highest RPN values: inconsistent dye application (RPN 116), inaccurate measurements (RPN 114), and blunt cutting tools (RPN 111). The FTA results show that these failures are driven by inadequate standard operating procedures (SOPs), substandard tools, limited worker training, and weak equipment maintenance. The BTA output proposes risk controls, including operator training, SOP development and implementation, final product inspections, and routine equipment maintenance.

Type of Research: Quantitative analytical research.

Keywords: FMEA, FTA, Bowtie Analysis

A. PENDAHULUAN

Dalam era globalisasi, industri mebel menjadi sektor bisnis yang sangat erat kaitannya dengan desain interior bangunan (Iraz & Suseno, 2023). Kualitas produk yang dihasilkan

menjadi faktor utama keberhasilan suatu perusahaan dalam mempertahankan dan memperluas pangsa pasar (Fatah & Al-Faritsy, 2021). Industri permebelan di Indonesia sendiri menunjukkan

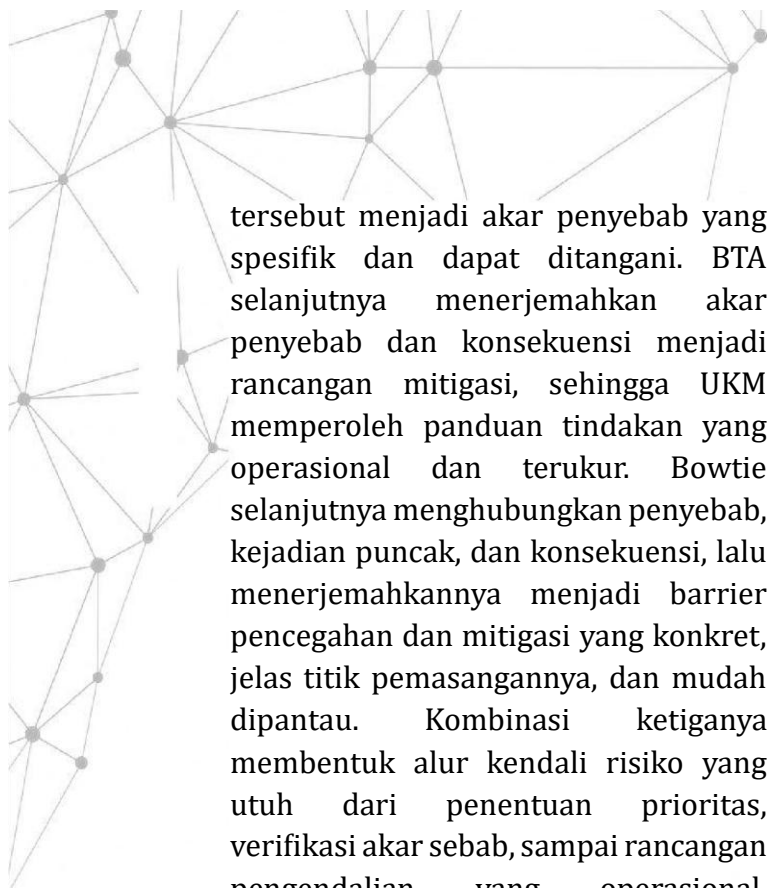
perkembangan yang pesat dan berpotensi menjadi sektor berkelanjutan. Namun demikian, tantangan dalam pengendalian mutu, khususnya tingginya tingkat produk cacat, menjadi isu yang signifikan (Berlyan et al., 2021). Produk cacat tidak hanya menimbulkan kerugian material bagi perusahaan, tetapi juga berdampak negatif terhadap kepuasan pelanggan dan reputasi perusahaan di pasar (Nazia & Fuad, 2023).

UKM Mebel Jaya merupakan usaha kecil menengah yang memproduksi furnitur kayu dan beroperasi sejak 2017. UKM ini memproduksi lemari sebagai produk utama dengan nilai jual tinggi. Namun, peningkatan volume produksi memunculkan masalah kualitas. Data produksi Oktober 2024 sampai Februari 2025 menunjukkan 660 unit diproduksi dan 198 unit tercatat cacat atau sekitar 30 persen. Angka ini menunjukkan risiko kegagalan produk masih tinggi. Risiko tersebut kemungkinan berasal dari kombinasi faktor proses, material, serta aspek teknis perakitan. Jika UKM tidak mengendalikan akar masalahnya, maka biaya kualitas meningkat dan daya saing menurun. Kondisi empiris ini menegaskan urgensi analisis risiko yang sistematis dan berbasis prioritas agar perbaikan tepat sasaran.

Beberapa penelitian menggunakan metode analisis risiko untuk mengurangi cacat pada proses manufaktur dan produksi mebel. Metode FMEA membantu

mengidentifikasi mode kegagalan secara sistematis dan memberi prioritas melalui Risk Priority Number atau RPN (Hayuni et al., 2025). Namun FMEA cenderung bergantung pada penilaian pakar dan belum menjelaskan rantai sebab secara mendalam, sehingga akar masalah sering belum terlihat jelas (Yargandana et al., 2024). FTA menawarkan struktur logis untuk menelusuri akar penyebab melalui diagram pohon, sehingga hubungan sebab dapat dipetakan lebih jelas (Berlyan et al., 2021). Namun FTA tidak secara langsung menata kendali pencegahan dan mitigasi dari hulu ke hilir, serta kurang menampilkan konsekuensi secara operasional ketika kejadian puncak terjadi (Putra, 2022). BTA mampu menghubungkan penyebab, kejadian puncak, konsekuensi, serta barrier pencegahan dan mitigasi dalam satu visual yang mudah dipahami untuk pengendalian risiko (Bramantio & Rachmawati, 2021). Namun BTA membutuhkan input penyebab dan struktur kejadian yang kuat dari analisis sebelumnya agar barrier yang dirancang tepat dan tidak bersifat umum (De Ruijter & Guldenmund, 2016).

Dengan demikian, integrasi FMEA, FTA, dan BTA menjadi penting untuk pengendalian potensi risiko kegagalan produk secara utuh. FMEA menetapkan prioritas mode kegagalan yang paling kritis sehingga fokus perbaikan menjadi jelas. FTA kemudian menurunkan mode kegagalan prioritas



tersebut menjadi akar penyebab yang spesifik dan dapat ditangani. BTA selanjutnya menerjemahkan akar penyebab dan konsekuensi menjadi rancangan mitigasi, sehingga UKM memperoleh panduan tindakan yang operasional dan terukur. Bowtie selanjutnya menghubungkan penyebab, kejadian puncak, dan konsekuensi, lalu menerjemahkannya menjadi barrier pencegahan dan mitigasi yang konkret, jelas titik pemasangannya, dan mudah dipantau. Kombinasi ketiganya membentuk alur kendali risiko yang utuh dari penentuan prioritas, verifikasi akar sebab, sampai rancangan pengendalian yang operasional, sehingga lebih efektif menekan cacat, mengurangi *rework*, dan menstabilkan kualitas produk pada UKM dengan sumber daya terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, UKM Mebel Jaya membutuhkan pendekatan pengendalian mutu yang tidak hanya mampu menentukan risiko paling kritis, tetapi juga menjelaskan akar penyebabnya secara logis, lalu menerjemahkannya menjadi langkah pengendalian yang jelas dan dapat diterapkan di rantai produksi. Integrasi FMEA, FTA, dan *Bowtie Analysis* dipilih karena mampu memenuhi tiga kebutuhan itu secara berurutan, yaitu menetapkan prioritas mode kegagalan, menelusuri akar masalah, dan merancang *barrier* pencegahan serta mitigasi. Oleh karena itu, penelitian ini oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk pengendalian risiko kegagalan

produk mebel dengan mengintegrasikan FMEA, FTA, dan *Bowtie Analysis*.

B. TINJAUAN TEORI

1. *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*

Metode FMEA digunakan untuk mengevaluasi dan mendeteksi penyebab utama penolakan dengan nilai RPN tertinggi. FMEA memiliki tujuan untuk memberikan penilaian pada aspek keparahan, frekuensi, dan pendeteksian berdasarkan efek potensi dari kegagalan, penyebab kegagalan, serta angka prioritas risiko (RPN). Penilaian ini diperoleh melalui proses observasi dan wawancara dengan tim kontrol kualitas. (Hayuni et al., 2024)

2. *Fault Tree Analysis (FTA)*

FTA menggambarkan keterkaitan antara penyebab dan disajikan dalam format untuk menyelidiki akar penyebab kegagalan operasional, tidak hanya itu dalam metode ini diimplementasikan dengan pendekatan yang bersifat dari atas ke bawah, dimulai dari asumsi bahwa terjadinya kesalahan pada kejadian puncak (*top event*) dan kemudian merincikan penyebab-penyebab hingga mencapai suatu penyebab dasar (*root cause*) (Iraz & Suseno, 2023)

3. *Bowtie Analysis (BTA)*

Diagram *Bowtie* menggambarkan risiko-risiko tersebut dan langkah-langkah pencegahan yang dapat

dilaksanakan, seperti melakukan inspeksi secara rutin pada peralatan dan menerapkan protokol keselamatan yang ketat (Pratama et al., 2025)

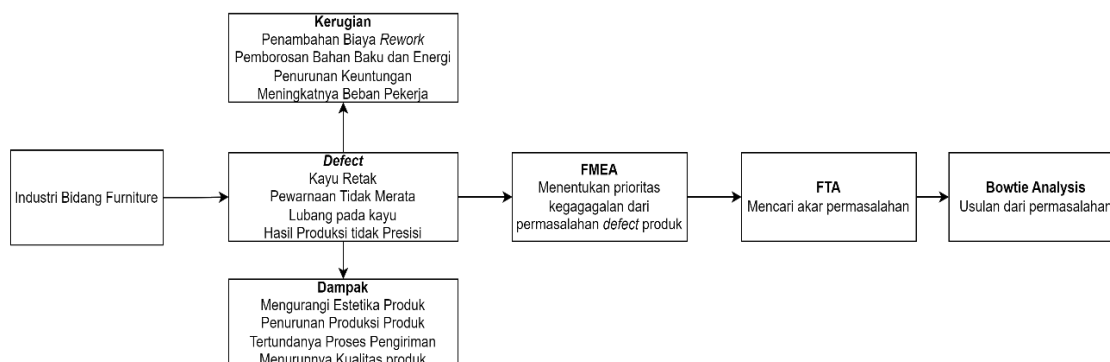
4. Integrasi FMEA-FTA-BTA

FMEA dipakai untuk menentukan prioritas kegagalan dari berbagai defect. Artinya, penelitian tidak langsung memperbaiki semuanya, tetapi memilih defect paling kritis berdasarkan penilaian risiko. FTA yang digunakan untuk menelusuri akar penyebab secara logis. Intinya, penelitian ingin memastikan penyebab dasar yang memicu defect benar benar teridentifikasi. Tahap terakhir adalah *Bowtie Analysis* yang menghasilkan usulan pengendalian. *Bowtie* menghubungkan penyebab, kejadian puncak, dan konsekuensi, lalu menempatkan *barrier* pencegahan sebelum *defect* terjadi dan *barrier* mitigasi untuk menahan dampak bila defect terlanjur muncul. Gambar 1 merupakan kerangka pikir penelitian yang menunjukkan alur logis dari

masalah kualitas pada industri furniture hingga rancangan pengendalian risiko. Proses dimulai dari industri, lalu muncul masalah utama berupa *defect* produk, yaitu kayu retak, pewarnaan tidak merata, lubang pada kayu, dan hasil produk tidak presisi. *Defect* ini menimbulkan dampak operasional seperti estetika produk menurun, kualitas produk turun, proses produksi melambat, dan pengiriman tertunda. *Defect* juga memicu kerugian bisnis, seperti biaya rework meningkat, pemborosan bahan baku dan energi, penurunan keuntungan, serta meningkatnya beban pekerja.

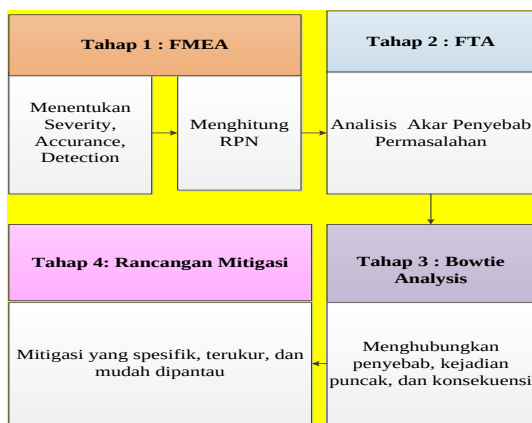
C. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada proses produksi lemari di UKM Mebel Jaya. Data yang dibutuhkan mencakup data produksi dan kualitas, terutama jenis *defect*, jumlah produk yang diproduksi, jumlah produk cacat, serta informasi proses kerja yang berkaitan dengan munculnya *defect*. Data tersebut



Gambar 1. Integrasi FMEA-FTA-BTA

diperkuat dengan observasi alur proses produksi, wawancara atau diskusi dengan pemilik usaha, serta dokumentasi aktivitas kerja seperti penggunaan alat, bahan *finishing*, metode pengukuran, dan prosedur pemeriksaan kualitas. Data ini menjadi dasar untuk menyusun daftar mode kegagalan, menentukan nilai penilaian pada FMEA, serta memverifikasi penyebab pada FTA dan *Bowtie*. Tahapan dalam penelitian terdapat pada [Gambar 2](#).



Gambar 2. Tahapan penelitian

Tahap 1 FMEA, pada tahap ini melakukan identifikasi mode kegagalan pada setiap aktivitas proses produksi lemari seperti: kesalahan ukuran, pewarnaan tidak merata, atau hasil potong tidak rapi. Setiap mode kegagalan dinilai dengan tiga parameter. *Severity* menilai seberapa parah dampaknya pada kualitas dan fungsi produk. *Occurrence* menilai seberapa sering kegagalan berpotensi terjadi. *Detection* menilai seberapa besar peluang kegagalan terdeteksi

sebelum produk dikirim. Nilai ketiganya kemudian dikalikan untuk menghasilkan *Risk Priority Number* (RPN). RPN berfungsi sebagai dasar prioritas. Mode kegagalan dengan RPN tertinggi menjadi fokus utama perbaikan karena memberi dampak besar dan paling berisiko bila dibiarkan. Setelah prioritas ditetapkan, penelitian masuk ke Tahap 2, FTA.

Tahap 2 FTA pada tahap ini menelusuri mengapa itu gagal. Mode kegagalan prioritas dari FMEA dijadikan *top event* dalam *Fault Tree*. Lalu menguraikannya menjadi penyebab antara dan penyebab dasar menggunakan logika AND atau OR. Hasil FTA membuat akar penyebab menjadi jelas dan terstruktur. Akar penyebab seperti ini penting karena tindakan perbaikan harus menyasar sumber masalah, bukan hanya gejalanya.

Tahap 3, *Bowtie Analysis*. Tahap ini menyatukan dua sisi yang sering terpisah dalam praktik. Sisi kiri adalah penyebab yang sudah dipetakan dari FTA. Sisi kanan adalah konsekuensi yang mungkin terjadi bila kegagalan lolos, misalnya *rework*, *scrap*, keterlambatan pengiriman, komplain pelanggan, atau *return* produk. Di tengahnya ada *top event*, yaitu kegagalan utama yang dianalisis.

Kekuatan *Bowtie* ada pada penempatan *barrier* atau pengendali. *Barrier* pencegahan ditempatkan di sisi kiri untuk memutus penyebab sebelum *top event* terjadi. Dengan cara ini,

pengendalian risiko menjadi sistematis, tidak lagi berupa saran umum.

Tahap 4. Rancangan Mitigasi adalah tahap implementasi. Tahap ini mengubah *output Bowtie* menjadi rencana tindakan yang bisa langsung dijalankan di lantai produksi. *Output Bowtie* biasanya berupa daftar *threats*, *top event*, *consequences*, serta *barrier* pencegahan dan *barrier* mitigasi. Pada Tahap 4, *barrier* tersebut tidak dibiarkan sebagai konsep. Peneliti menyusunnya menjadi paket mitigasi yang spesifik, terukur, dan mudah dipantau.

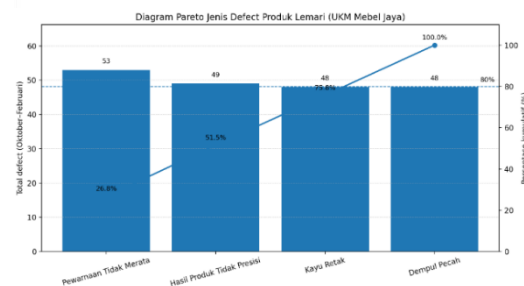
D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Diagram Pareto

Diagram pareto menunjukkan urutan kontribusi *defect* terhadap total cacat 198 unit. *Defect* terbesar adalah Pewarnaan Tidak Merata sebanyak 53 kasus atau 26,8%. Posisi kedua Hasil Produk Tidak Presisi sebanyak 49 kasus atau membuat kumulatif menjadi 51,5%. Posisi ketiga Kayu Retak sebanyak 48 kasus dan kumulatif naik menjadi 75,8%. Posisi terakhir Dempul Pecah juga 48 kasus dan kumulatif menjadi 100% (Gambar 3). Artinya, kontribusi antar kategori hampir seimbang. Tidak ada satu jenis defect yang sangat dominan (Handayani et al. 2024)

Garis 80% pada Pareto tidak tercapai hanya dengan 1–2 defect teratas. Bahkan setelah tiga defect utama, kumulatif baru 75,8%. Ini berarti prinsip 80–20 tidak terlalu kuat

di kasus ini. Jika UKM hanya fokus pada satu *defect* terbesar, penurunan total cacat akan terbatas. Untuk menurunkan cacat secara signifikan, perbaikan minimal harus mencakup tiga kategori teratas sekaligus. Fokus awal dimulai dari pewarnaan tidak merata dan hasil tidak presisi karena kontribusinya paling besar, tetapi kayu retak dan dempul pecah tidak bisa diabaikan karena porsinya hampir sama.



Gambar 3. Diagram pareto

2. Analisis FMEA

Hasil FMEA menunjukkan bahwa risiko kegagalan produk lemari di UKM Mebel Jaya terkonsentrasi pada beberapa mode kegagalan dengan nilai RPN tertinggi (Tabel 1). Nilai RPN menjadi indikator prioritas karena merupakan hasil perkalian *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*. Semakin tinggi RPN, semakin besar urgensi penanganannya Rahmadona (2024). Tiga nilai RPN tertinggi yaitu: teknik aplikasi pewarnaan tidak konsisten antar bagian dengan RPN 115,7, pengukuran tidak akurat dengan RPN 113,6, dan alat potong tumpul dengan RPN 110,4. Ketiganya berada pada kategori risiko tinggi dibandingkan mode kegagalan lain.

Tabel 1. FMEA

<i>Failure mode</i>	<i>Effect of failure</i>	<i>Cause of failure</i>	<i>Current control</i>	S	O	D	RPN
Kayu retak	Kekuatan lemari berkurang	Kualitas kayu buruk	Lakukan inspeksi kualitas bahan baku	4,3	4,1	4,9	86,4
Kayu retak	Retak setelah pemasangan	Proses pengeringan tidak sempurna	Gunakan kiln dryer dengan kontrol suhu dan kelembaban	4,8	2,2	6,7	70,2
Kayu retak	Daya tahan rendah	Kualitas material kurang baik	Ganti pemasok dengan kualitas lebih baik, buat standar penerimaan bahan baku	4,3	3,7	4,6	70,6
Kayu retak	Kayu pecah saat pemasangan	Penempatan sekrup atau paku terlalu dekat tepi	Ikuti standar jarak minimal pemasangan sekrup atau paku (2 sampai 3 cm dari tepi)	5,0	3,0	5,7	85,5
Kayu retak	Permukaan potongan kasar	Alat potong tumpul	Lakukan perawatan dan pengasahan rutin alat potong, gunakan pisau potong berkualitas	4,8	4,6	5,0	110,4
Dempul pecah	Lapisan dempul mudah terkelupas	Pemilihan dempul tidak sesuai dengan jenis kayu atau cat	Gunakan dempul sesuai spesifikasi kayu dan jenis finishing	3,3	4,7	5,4	81,7
Dempul pecah	Permukaan tidak rata	Pengaplikasian dempul terlalu tebal	Terapkan lapisan tipis bertahap, amplas di antara lapisan	4,4	3,2	5,6	78,1
Dempul pecah	Lapisan dempul rusak saat diampelas	Waktu pengeringan sebelum amplas terlalu singkat	Ikuti standar waktu pengeringan	4,4	2,5	5,0	53,4
Dempul pecah	Dempul tidak menempel sempurna	Permukaan kayu terlalu kotor	Bersihkan permukaan kayu dengan kain kering atau kompresor sebelum dempul	5,5	2,5	5,9	78,8
Dempul pecah	Lapisan dempul rapuh	Campuran dempul dan pengeras tidak seimbang	Gunakan takaran sesuai petunjuk	5,5	2,9	6,2	95,6
Hasil produk tidak presisi	Ukuran komponen tidak sesuai	Pengukuran tidak akurat	Gunakan alat ukur presisi, lakukan double check	4,9	4,6	5,2	113,6
Hasil produk tidak presisi	Potongan tidak sesuai desain	Alat potong atau mesin tidak terkalibrasi	Lakukan kalibrasi rutin mesin, catat jadwal perawatan	4,2	3,7	6,4	97,5
Hasil produk tidak presisi	Kualitas produk tidak konsisten	Pekerja baru atau proses dan pemasangan manual terlalu banyak	Lakukan inspeksi sebelum lanjut proses	4,1	4,2	5,2	86,6

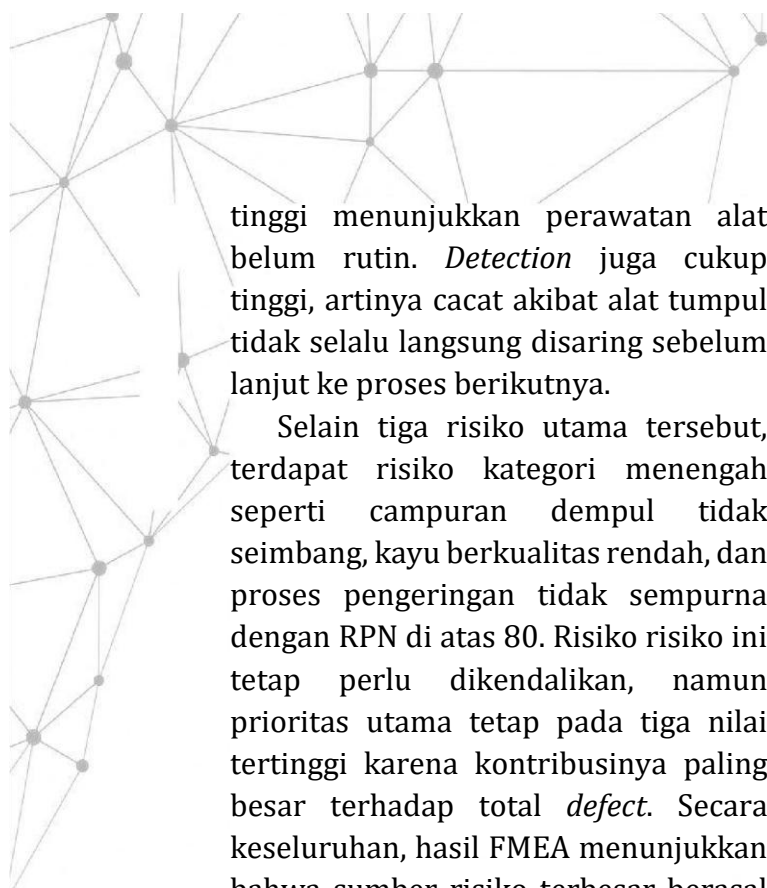
Tabel 1. FMEA (Lanjutan)

<i>Failure mode</i>	<i>Effect of failure</i>	<i>Cause of failure</i>	<i>Current control</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>D</i>	<i>RPN</i>
Hasil produk tidak presisi	Bentuk tidak simetris	Pengerjaan manual tanpa alat bantu presisi	Buat SOP khusus pengerjaan manual agar tetap mengikuti langkah presisi	4,9	2,6	6,4	78,5
Hasil produk tidak presisi	Permukaan bergelombang	Ketebalan papan tidak seragam	Gunakan mesin serut dengan pengaturan ketebalan konsisten	4,6	1,9	3,9	33,6
Pewarnaan tidak merata	Warna tidak merata di beberapa bagian	Amplas tidak merata	Gunakan amplas mesin untuk hasil konsisten, lakukan inspeksi visual	3,1	2,2	4,8	31,9
Pewarnaan tidak merata	Warna bervariasi antar bagian	Cat tidak diaduk rata	Aduk cat sesuai instruksi sebelum dan selama proses aplikasi	4,4	3,7	4,9	77,8
Pewarnaan tidak merata	Perbedaan warna antar bagian	Teknik aplikasi pewarna (spray, kuas, kain) tidak konsisten	Standarisasi teknik aplikasi (jarak, tekanan, arah, kuas atau kain)	5,2	4,5	5,0	115,7
Pewarnaan tidak merata	Lapisan cat mengelupas	Pengeringan antar lapisan pewarna tidak menyeluruh	Ikuti waktu pengeringan sesuai petunjuk, gunakan ruang pengering dengan kontrol suhu dan kelembaban	5,1	3,2	5,0	79,5

Artinya, ketiga faktor ini paling berkontribusi terhadap defect dan paling mendesak untuk dikendalikan.

Teknik aplikasi pewarnaan yang tidak konsisten menunjukkan nilai *Severity* dan *Detection* yang relatif tinggi. Dampaknya langsung terlihat pada perbedaan warna antar bagian, yang menurunkan estetika dan persepsi kualitas produk. *Occurrence* cukup tinggi, menandakan masalah ini sering terjadi. Hal ini mengindikasikan belum adanya standar teknik *finishing* yang konsisten, baik dalam metode spray, kuas, maupun kain lap. Kontrol saat ini belum cukup efektif untuk menjaga keseragaman hasil.

Pengukuran tidak akurat juga memiliki RPN sangat tinggi. Nilai *Occurrence* dan *Detection* menunjukkan bahwa kesalahan ukuran sering terjadi dan tidak selalu terdeteksi sebelum proses lanjut. Dampaknya signifikan karena menyebabkan komponen tidak presisi dan berpotensi menimbulkan *rework* atau *scrap* (Sumantika et al., 2024). Hal ini menunjukkan kontrol pengukuran dan verifikasi belum berjalan disiplin atau alat ukur belum optimal. Alat potong tumpul menjadi faktor teknis dominan pada proses pemotongan. Nilai *Severity* tinggi karena menghasilkan permukaan kasar dan dimensi tidak sesuai. *Occurrence*



tinggi menunjukkan perawatan alat belum rutin. *Detection* juga cukup tinggi, artinya cacat akibat alat tumpul tidak selalu langsung disaring sebelum lanjut ke proses berikutnya.

Selain tiga risiko utama tersebut, terdapat risiko kategori menengah seperti campuran dempul tidak seimbang, kayu berkualitas rendah, dan proses pengeringan tidak sempurna dengan RPN di atas 80. Risiko ini tetap perlu dikendalikan, namun prioritas utama tetap pada tiga nilai tertinggi karena kontribusinya paling besar terhadap total *defect*. Secara keseluruhan, hasil FMEA menunjukkan bahwa sumber risiko terbesar berasal dari tiga kelompok utama: ketidak-konsistenan proses finishing, kelemahan sistem pengukuran dan presisi, serta kurangnya perawatan peralatan produksi. Pola ini menunjukkan bahwa masalah tidak hanya pada material, tetapi lebih dominan pada faktor manusia dan sistem kerja. Temuan ini menjadi dasar logis untuk dilanjutkan ke tahap FTA guna menelusuri akar penyebab yang lebih mendasar, seperti ketiadaan SOP, kurangnya pelatihan, lemahnya pengawasan, dan tidak adanya jadwal *maintenance* yang terstruktur.

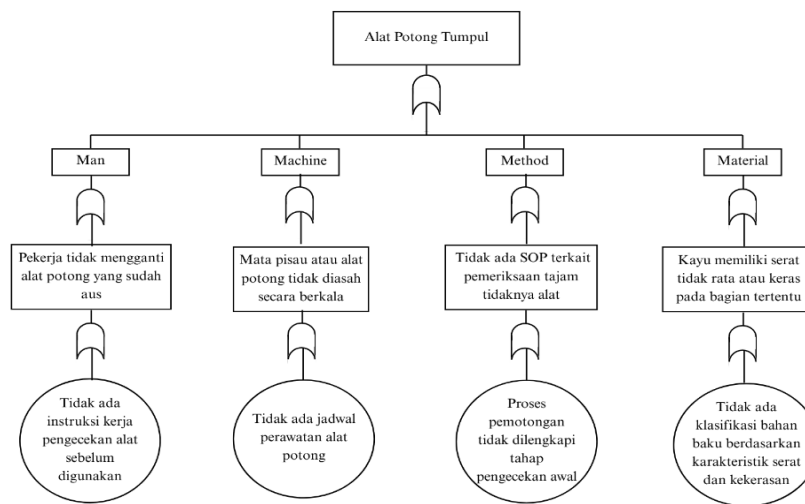
3. Fault Tree Analysis (FTA)

FTA menempatkan Alat Potong Tumpul sebagai *top event*. Diagram menunjukkan bahwa alat menjadi tumpul bukan karena satu faktor saja, tetapi karena gabungan masalah dari

sisi manusia, mesin, metode kerja, dan material (Gambar 4). Dampaknya serius karena memicu potongan kasar, ukuran tidak presisi, dan meningkatkan produk cacat.

Pada faktor *Man*, pekerja sering tidak mengganti alat yang sudah aus karena tidak ada instruksi kerja pengecekan alat sebelum digunakan. Pada faktor *Machine*, alat tidak diasah rutin karena tidak ada jadwal perawatan dan pengasahan. Pada faktor *Method*, proses pemotongan tidak memiliki tahapan kontrol awal karena SOP pemeriksaan alat belum tersedia. Ini membuat produksi tetap berjalan meski kondisi alat tidak layak. Pada faktor Material, beberapa kayu memiliki serat keras atau tidak rata sehingga mempercepat keausan pisau. Masalahnya, UKM belum melakukan klasifikasi bahan kayu berdasarkan karakteristik keras dan kerapatan. Kesimpulannya, akar utama *top event* ini adalah lemahnya standar kerja dan sistem pemeliharaan. Ini menjadi dasar untuk membuat barrier seperti SOP dan *checklist* pengecekan alat, jadwal *maintenance*, standar penggantian pisau, serta klasifikasi bahan sebelum pemotongan.

FTA menempatkan Pengukuran Tidak Akurat sebagai *top event* (Gambar 5). Artinya, masalah utama yang dianalisis adalah kesalahan ukuran komponen lemari yang membuat hasil tidak presisi dan memicu rework atau produk cacat. Diagram menunjukkan bahwa



Gambar 4. Diagram FTA alat potong tumpul

pengukuran tidak akurat muncul dari gabungan faktor *Man*, *Machine*, *Method*, dan *Material*, sehingga perbaikannya harus menasar sistem kerja, bukan hanya orangnya. Pada faktor *Man*, penyebabnya adalah pekerja tidak melakukan pengukuran dengan tepat karena kurang konsisten saat bekerja. Pada faktor *Machine*, pengukuran

menjadi salah karena alat ukur tidak dikalibrasi atau rusak, sehingga hasil ukur menyimpang. Pada faktor *Method*, akar masalahnya kuat yaitu tidak ada prosedur pengecekan standar. Ini terlihat dari cabang metode yang memuat kondisi seperti penggunaan alat ukur manual tanpa standar dan tidak adanya kontrol pengukuran

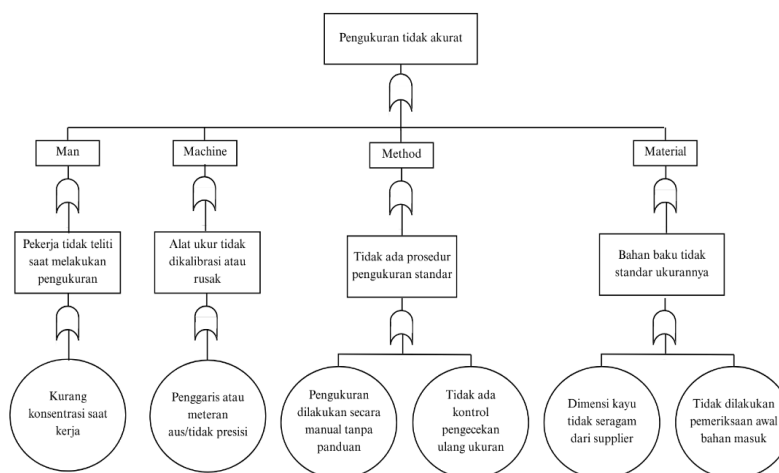


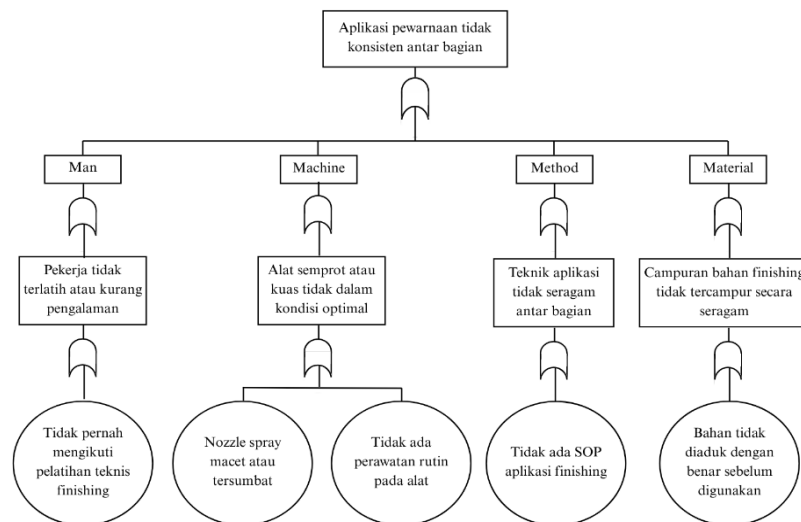
Diagram 5. Diagram FTA dengan top event pengukuran tidak akurat

ulang, sehingga kesalahan mudah lolos ke proses berikutnya. Pada faktor Material, masalah muncul karena bahan baku tidak standar ukurannya. Ini bisa terjadi karena elemen kayu tidak seragam dari pemasok dan tidak ada pemeriksaan awal bahan masuk. Kesimpulannya, top event ini dipicu oleh tiga akar utama: disiplin dan konsistensi kerja operator, keandalan alat ukur, dan lemahnya SOP serta kontrol proses. *Output* FTA ini menjadi dasar *barrier*, seperti SOP pengukuran, *checklist double check*, kalibrasi alat ukur berkala, standar penerimaan bahan baku, dan pelatihan teknik pengukuran presisi.

FTA menempatkan Aplikasi pewarnaan tidak konsisten antar bagian sebagai *top event* (**Gambar 6**). Artinya, warna antar komponen lemari

terlihat berbeda atau tidak seragam sehingga menurunkan kualitas visual dan memicu komplain. Diagram menunjukkan top event ini muncul dari kombinasi faktor *Man*, *Machine*, *Method*, dan *Material*. Jadi masalahnya bukan hanya keterampilan pekerja, tetapi juga alat, standar kerja, dan kesiapan bahan.

Pada faktor *Man*, penyebab utamanya adalah pekerja tidak terlatih atau kurang pengalaman, yang diperkuat oleh akar masalah tidak pernah mengikuti pelatihan teknik finishing. Pada faktor *Machine*, alat seperti *spray gun* atau alat aplikasi tidak bekerja optimal karena *nozzle* atau bagian alat tersumbat dan tidak ada perawatan rutin alat. Kondisi ini membuat pola semprot, tekanan, dan ketebalan lapisan berubah, sehingga



Gambar 6. Diagram FTA aplikasi pewarnaan tidak konsisten antar bagian

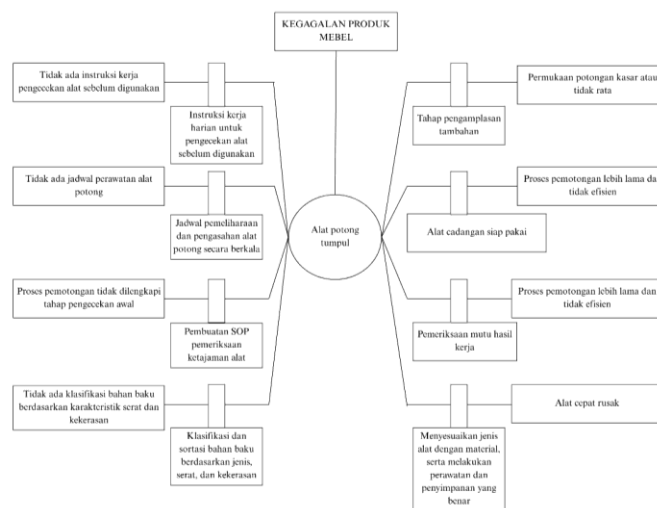
hasil warna antar bagian tidak sama. Pada faktor *Method* dan *Material*, akar masalahnya adalah teknik aplikasi tidak seragam antar bagian karena tidak ada SOP aplikasi *finishing*, serta campuran bahan *finishing* tidak tercampur merata karena tidak ada standar pencampuran. Selain itu, bahan juga tidak dipersiapkan dengan baik karena bahan tidak diaduk dan disaring sebelum digunakan. Kesimpulannya, *top event* ini terutama dipicu oleh lemahnya standarisasi proses *finishing*, tidak adanya kontrol pada alat, dan ketidakdisiplinan persiapan bahan. Ini menjadi dasar pengendalian seperti SOP *finishing*, pelatihan operator, standar *mixing* dan penyaringan bahan, serta jadwal pembersihan dan pengecekan *spray gun* sebelum pekerjaan.

4. Bowtie Analysis

Diagram Bowtie menempatkan alat potong tumpul sebagai *top event*, yaitu

kondisi saat proses pemotongan mulai kehilangan kendali (Gambar 7). Di sisi kiri, penyebab utamanya bukan hanya pisau aus, tetapi masalah sistem kerja, seperti tidak ada instruksi pengecekan alat sebelum dipakai, tidak ada jadwal pengasahan dan perawatan, proses pemotongan berjalan tanpa tahap kontrol awal, serta bahan kayu tidak diklasifikasikan berdasarkan kekerasan. *Barrier* pencegahan yang tepat fokus pada standarisasi dan disiplin proses, yaitu SOP pengecekan alat, checklist sebelum kerja, jadwal *maintenance*, dan aturan penggantian atau pengasahan pisau, termasuk kontrol bahan agar pemotongan menyesuaikan karakter kayu.

Di sisi kanan, konsekuensinya muncul sebagai hasil potong kasar dan tidak presisi, yang memicu ketidaksesuaian ukuran, kesulitan perakitan, *rework*, dan pemborosan bahan serta waktu. *Barrier* mitigasi harus menghentikan penyebaran



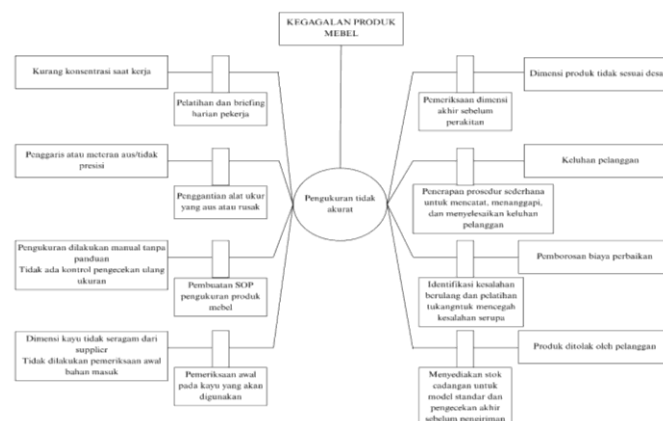
Gambar 7. Diagram bowtie analysis dengan top event alat potong tumpul

dampak, misalnya inspeksi hasil potong sebelum lanjut proses, pemisahan komponen yang tidak sesuai, dan tindakan koreksi cepat seperti penggantian alat atau *rework* terkontrol. *Bowtie* ini menegaskan bahwa pengendalian efektif harus mengunci dua hal, pencegahan agar top event tidak terjadi, dan mitigasi agar kerugian tidak membesar saat top event terlanjur terjadi (Culwick et al., 2020)

Diagram *Bowtie* ini menempatkan pengukuran tidak akurat sebagai top event (Gambar 8), yaitu titik kritis saat proses produksi mulai kehilangan presisi ukuran (Purwanto et al., 2024). Di sisi kiri terlihat sumber pemicunya terutama berasal dari faktor manusia dan sistem kerja, seperti kurang konsisten saat bekerja, penggunaan alat ukur yang tidak presisi, serta pengukuran dilakukan manual tanpa panduan. *Diagram Bowtie* juga menegaskan akar masalah yang

bersifat sistem (Tyas, 2022) yaitu tidak ada prosedur pengecekan standar, belum ada SOP pengukuran untuk produk mebel, serta tidak ada seleksi atau standar alat ukur yang digunakan. Karena itu, *barrier* pencegahan yang relevan adalah pelatihan dan briefing kerja, penggunaan alat ukur yang lebih presisi, penerapan SOP pengukuran, dan penerapan tahap *double check* sebelum proses lanjut. Tujuannya satu, menurunkan peluang kesalahan ukur sejak awal.

Di sisi kanan, konsekuensi utama dari *top event* ini adalah dimensi produk tidak sesuai desain, yang berujung pada keluhan pelanggan, pemborosan biaya perbaikan, bahkan produk tidak dapat digunakan jika ketidaksesuaian ukuran sudah terlanjur parah. Diagram kemudian menempatkan *barrier* mitigasi untuk menahan dampak agar tidak menyebar, seperti inspeksi lanjutan sebelum produk keluar, identifikasi kesalahan



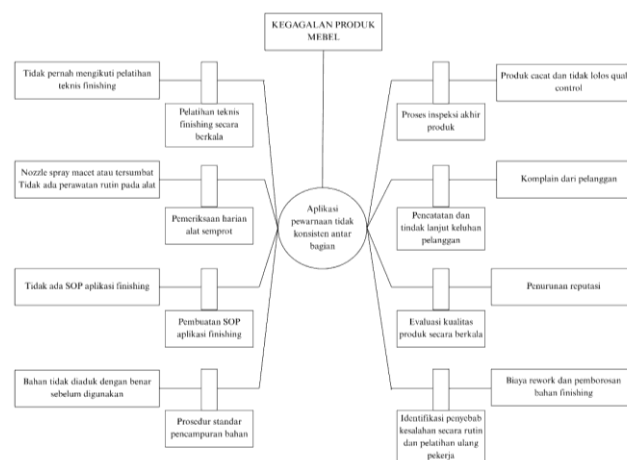
Gambar 8. Diagram *bowtie analysis* dengan top event pengukuran tidak akurat

berdasarkan produk yang sudah terukur, dan tindakan koreksi seperti pengukuran ulang serta perbaikan terkontrol pada komponen yang masih bisa diselamatkan. Pengendalian paling efektif ada di sisi kiri melalui standarisasi cara ukur dan kontrol proses. Mitigasi di sisi kanan tetap perlu, tetapi fungsinya hanya membatasi kerugian ketika kesalahan ukur sudah terjadi.

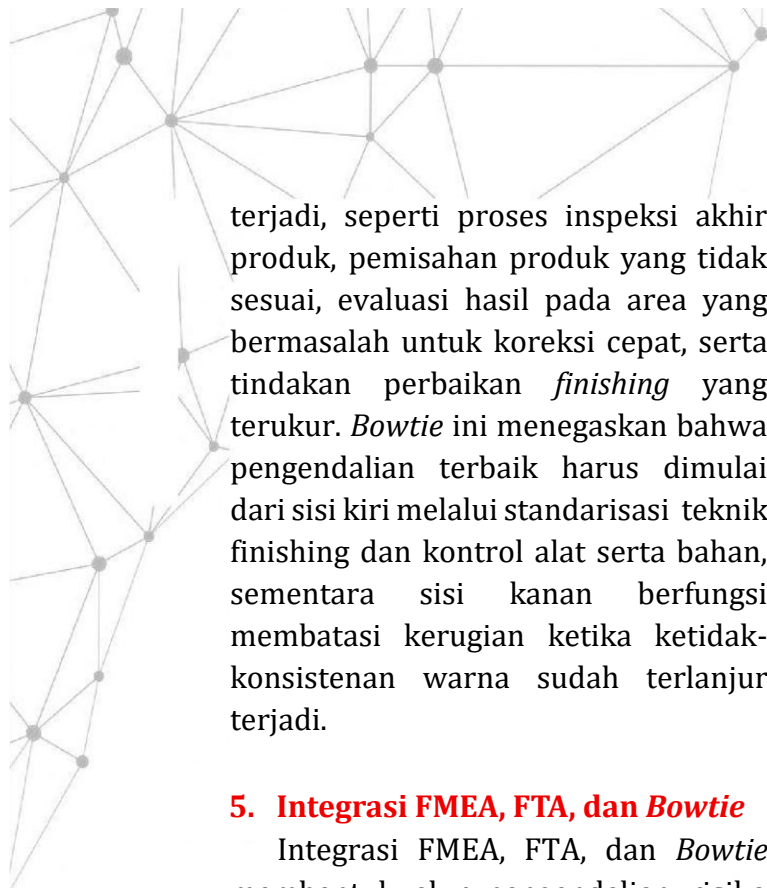
Diagram *Bowtie* menempatkan Aplikasi pewarnaan tidak konsisten antar bagian” sebagai *top event*, yaitu kondisi saat proses finishing menghasilkan perbedaan warna antar komponen lemari (Gambar 9). Di sisi kiri, penyebab utamanya berasal dari kelemahan kompetensi, alat, metode, dan persiapan bahan. Diagram menunjukkan pemicu seperti pekerja tidak pernah mengikuti pelatihan finishing, prosedur finishing kurang

jas, *nozzle spray* tersumbat atau alat tidak optimal, tidak ada SOP aplikasi finishing, serta bahan finishing tidak disaring dan tidak diaduk merata. *Barrier* pencegahan yang tepat adalah yang mengunci konsistensi proses, yaitu pelatihan finishing terstruktur, pembuatan dan penerapan SOP aplikasi finishing, pemeriksaan kondisi alat *spray* dan perawatan rutin, serta standar pencampuran, pengadukan, dan penyaringan bahan sebelum aplikasi.

Di sisi kanan, konsekuensi dari *top event* terlihat pada keluaran kualitas dan dampak bisnis. Dampak langsungnya adalah produk cacat dan tidak lolos *quality control*, lalu muncul komplain pelanggan dan penurunan reputasi. Dampak lanjutan biasanya berupa biaya *rework* dan pemborosan bahan finishing. *Barrier* mitigasi yang relevan adalah kontrol setelah kejadian



Gambar 9. Diagram *bowtie analysis* dengan top event aplikasi pewarnaan tidak konsisten antar bagian



terjadi, seperti proses inspeksi akhir produk, pemisahan produk yang tidak sesuai, evaluasi hasil pada area yang bermasalah untuk koreksi cepat, serta tindakan perbaikan *finishing* yang terukur. *Bowtie* ini menegaskan bahwa pengendalian terbaik harus dimulai dari sisi kiri melalui standarisasi teknik finishing dan kontrol alat serta bahan, sementara sisi kanan berfungsi membatasi kerugian ketika ketidak-konsistenan warna sudah terlanjur terjadi.

5. Integrasi FMEA, FTA, dan *Bowtie*

Integrasi FMEA, FTA, dan *Bowtie* membentuk alur pengendalian risiko yang utuh dari identifikasi sampai tindakan. FMEA berperan sebagai tahap penyaringan dan penentuan fokus. Dari banyak mode kegagalan di proses produksi lemari, FMEA memilih yang paling kritis melalui RPN. Prioritas pada tiga top risk yang konsisten muncul, yaitu aplikasi pewarnaan tidak konsisten, pengukuran tidak akurat, dan alat potong tumpul. Setelah prioritas dipastikan, FTA mengambil alih untuk memperdalam sebab (Amelia, 2025). FMEA hanya memberi tahu mana yang paling berisiko, tetapi belum menjelaskan struktur akar masalah. FTA mengubah *failure mode* prioritas itu menjadi *top event* lalu menurunkan menjadi penyebab antara dan penyebab dasar yang logis. Hasil FTA memperlihatkan pola akar penyebab yang berulang, yaitu tidak ada SOP dan *checkpoint* proses, tidak

ada *maintenance* dan kalibrasi alat, keterampilan operator belum distandarkan, serta kontrol material belum kuat. FTA juga membantu memilah mana penyebab yang benar-benar akar dan mana yang hanya gejala, sehingga solusi tidak keliru, misalnya hanya menambah inspeksi padahal akar masalahnya ada pada SOP, pelatihan, atau perawatan alat (Fadilah, 2023).

Bowtie mengubah hasil FTA menjadi rancangan pengendalian yang operasional. Dari FTA, sisi kiri *Bowtie* terisi *threats* yang spesifik, misalnya tidak ada instruksi pengecekan alat, *nozzle spray* tersumbat, alat ukur tidak presisi, atau bahan finishing tidak diaduk dan disaring. *Bowtie* lalu menghubungkan *threats* itu ke top event, kemudian ke sisi kanan berupa konsekuensi seperti produk cacat, *rework*, pemborosan biaya, keluhan pelanggan, dan penurunan reputasi. Keunggulan *Bowtie* ada pada penempatan *barrier* pencegahan sebelum *top event* terjadi dan *barrier* mitigasi setelah *top event* terjadi. Ini membuat rekomendasi lebih jelas, karena setiap *barrier* ditempatkan pada titik proses yang tepat dan memiliki tujuan yang berbeda, menurunkan peluang kejadian atau menekan dampak. Jadi, integrasinya bekerja seperti rantai sebab-akibat yang terstruktur. FMEA menentukan prioritas risiko, FTA memastikan akar penyebabnya akurat dan logis (Mahsamia, 2024) dan *Bowtie*

menerjemahkan akar penyebab serta konsekuensi menjadi *barrier* pengendalian yang jelas. *Output* akhirnya bukan hanya daftar masalah, tetapi paket kontrol yang bisa dijalankan, seperti SOP pengukuran dan *finishing*, *double check* dan *check point*, kalibrasi alat ukur, jadwal pengasahan dan *maintenance* alat potong, standar mixing dan penyaringan bahan *finishing*, serta inspeksi akhir yang terukur. Dampak integrasi ini adalah pengendalian menjadi lebih tepat sasaran, mudah dipantau, dan lebih efektif menurunkan *defect* dibanding menggunakan satu metode saja.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan merancang strategi pengendalian risiko kualitas pada Mebel Jaya melalui integrasi metode FMEA, FTA, dan Bowtie Analysis. Berdasarkan hasil analisis FMEA, ditemukan tiga mode kegagalan kritis dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi, yaitu aplikasi pewarnaan yang tidak konsisten, pengukuran tidak akurat, dan alat potong tumpul. Melalui penelusuran akar masalah dengan metode FTA, diketahui bahwa kegagalan tersebut secara dominan disebabkan oleh faktor internal seperti ketiadaan SOP pengecekan alat, kurangnya jadwal perawatan mesin, alat ukur yang tidak terkalibrasi, serta rendahnya standarisasi teknik kerja bagi para

perajin. Sebagai bentuk tindak lanjut, pendekatan *Bowtie Analysis* memberikan kontribusi berupa rancangan pengendalian risiko yang komprehensif, mencakup tindakan pencegahan melalui pelatihan teknis, penyusunan prosedur kerja standar, dan mitigasi risiko melalui inspeksi hasil akhir serta sistem penanganan keluhan pelanggan yang lebih terstruktur.

Penelitian ini berkontribusi pada penyediaan kerangka kerja manajemen risiko yang terintegrasi bagi industri mebel skala UKM dalam memitigasi kegagalan produk secara sistematis dari tahap identifikasi hingga pengendalian operasional. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan subjek yang hanya berfokus pada satu lini produk (lemari kayu) di satu lokasi UKM, sehingga hasil penelitian ini belum dapat digeneralisasi untuk seluruh jenis industri furnitur. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk memperluas cakupan analisis pada varian produk yang lebih beragam dan mengintegrasikan metode kuantitatif seperti *Statistical Process Control* (SPC) atau Peta Kendali P guna memantau stabilitas proses produksi secara berkelanjutan. Selain itu, penelitian di masa depan dapat mengevaluasi efektivitas implementasi SOP yang telah dirancang dalam jangka panjang terhadap penurunan tingkat cacat produk secara nyata di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, N. D. (2025). Perbaikan Kualitas Proses Produksi Sarung Tangan Golf dengan Pendekatan Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA)(Studi Kasus: PT. Adi Satria Abadi). *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/56602>
- Berlyan, R., Kurniawan, W., & Sari, I. P. (2021). Usulan perbaikan kualitas produk topside menggunakan metode FMEA Di PT. XYZ. *Journal of Management: Small and Medium Enterprises (SMEs)*, 14(2), 189-203. <https://doi.org/10.35508/jom.v14i2.4752>
- Bramantio, B., & Rachmawati, F. (2021). Analisis risiko kecelakaan kerja Menggunakan metode bowtie pada proyek the grandstand Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), D170-D175. <http://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/72060>
- Culwick, M. D., Endlich, Y., & Prineas, S. N. (2020). The Bowtie diagram: a simple tool for analysis and planning in anesthesia. *Current Opinion in Anesthesiology*, 33(6), 808-814. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000926>
- De Ruijter, A., & Guldenmund, F. (2016). The bowtie method: A review. *Safety science*, 88, 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.001>
- Fadilah, M. N. (2023). Analisis Penyebab Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan Scaffolding Dengan Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA)(Studi Kasus: Proyek RS UII). *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/44920>
- Fatah, A., & Al-Faritsy, A. Z. (2021). Peningkatan dan pengendalian kualitas produk dengan menggunakan metode PDCA (studi kasus pada PT. X). *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, 3(1), 21-30. <https://doi.org/10.37631/jri.v3i1.288>
- Handayani, D. I. (2024). Transforming Tofu Quality Control: Integrating Statistical Process Control, Ishikawa, and Interpretive Structural Modeling for Superior Outcomes: Integrating Statistical Process Control, Ishikawa, and Interpretive Structural Modeling for Superior Outcomes. *Journal of Industrial Engineering and Halal Industries*, 5(1), 18-28. <https://doi.org/10.14421/jiehis.4685>
- Hayuni, A., Ilmaniati, A., & Masrofah, I. (2024). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Ayam Marinasi dengan Menggunakan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA) dan 5W+1H (Studi Kasus: PT. QL Trimitra). *Jurnal Media Teknik Dan Sistem Industri*, 8(1), 27-37. <https://doi.org/10.35194/jmtsi.v8i1.4064>
- Iraz, G., & Suseno, S. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Cookies Cokelat Dengan

- Menggunakan Fmea (Failure Mode And Effect Analysis) Dan Fta (Fault Tree Analysis)(Studi Kasus: Griya Cokelat Nglanggeran, Gunung Kidul). *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 2(8), 3242-3250. <https://doi.org/10.55681/sentri.v2i8.1392>
- Mahsamia, A. (2024). Analisis Pengendalian Kualitas dengan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) aan Fault Tree Analysis (FTA) Pada Proses Produksi Handuk. *Thesis*. Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/52888>
- Nazia, S., & Fuad, M. (2023). Peranan Statistical Quality Control (SQC) Dalam Pengendalian Kualitas: Studi Literatur. *Jurnal Mahasiswa Akuntansi Samudra*, 4(3), 125-138. <https://doi.org/10.33059/jmas.v4i3.8079>
- Pratama, S. W. P., Dhani, M. R., & Subekti, A. (2025, October). Analisis Risiko pada Perbaikan Single Point Mooring: Pendekatan Confined space Risk Analysis dan Bow-Tie Analysis. In *Seminar MASTER PPNS* (Vol. 10, No. 1, pp. 94-104). <https://master.ppns.ac.id/submissions/index.php/SeminarMASTER/article/view/12>
- Purwanto, S. I. R., Safrudin, Y. N., & Susanto, H. (2024). Perancangan Sistem Pengendalian Risiko Menggunakan Simplified Bowtie Analysis pada Fasilitas FSO Federal II di PT XYZ. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 6(5), 1795-1805. <https://doi.org/10.38035/rrj.v6i5.1044>
- Putra, A. N. V., Prabowo, R., & Mollah, M. K. (2022). Usulan Peningkatan Efektivitas Mesin Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (Oee) Dan Fault Tree Analysis (Fta) Pada Mesin Moulding Pt. Tfm. *Industrial Engineering Journal*, 11(2). <https://doi.org/10.53912/iej.V11i2.764>
- Rahmadona, A. S. (2024). Perancangan Key Risk Indicator Sebagai Sistem Peringatan Dini Pada Program Kerja Fasilitas Ekstra (Fastr) (Studi Kasus PT. PLN Mctn). *Thesis*. Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/51924>
- Sumantika, A., Prasetyo, B. A., & Sirait, G. (2024). Mitigasi risiko pada proses produksi tahu menggunakan pendekatan metode failure mode and effect analysis dan risk priority number. *Jurnal Surya Teknika*, 11(1), 40-45. <https://doi.org/10.37859/jst.v11i1.7084>
- Tyas, R. L., Deswandri, Jatmiko, D. T., Shariff, A. M., & Hermansyah, H. (2022). Visualizing primary cooling system risks with bowtie diagram for RSG GAS operator guidance. *Process Safety Progress*, 41, S98-S105. <https://doi.org/10.1002/prs.12336>
- Yargandana, M. B. M. A. B., Annasit, A., & Aprianto, T. S. (2024). Analisis Mitigasi Risiko pada primary



reformer dengan penerapan
bowtie diagram di PT TX.
In *Prosiding Seminar Nasional
Teknologi Energi dan Mineral* (Vol.

4, No. 1, pp. 772-779).
[https://doi.org/10.53026/prosid
ingsntem.v4i1.262](https://doi.org/10.53026/prosidingsntem.v4i1.262)