

ANALISIS DAN PENGELOLAAN RISIKO PADA PROSES PRODUKSI PANEL LISTRIK MENGGUNAKAN PENDEKATAN FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS DAN FAULT TREE ANALYSIS

Mar'atus Sholihah*, Rahmatul Hidayat

Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60111

Abstrak

Manajemen risiko berperan penting untuk meminimalkan dampak risiko yang dihadapi oleh suatu perusahaan dalam mencapai tujuannya. Manajemen risiko yang komprehensif sangat diperlukan pada perusahaan manufaktur pembuatan panel listrik yang memiliki potensi risiko besar. Mengingat belum adanya analisis risiko di bidang ini, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menyusun pengelolaan risiko yang komprehensif berdasarkan aktivitas proses produksi panel listrik di sebuah studi kasus PT X dengan mengkombinasikan pendekatan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA). FTA bersama dengan kerangka IDEF0 digunakan untuk mengidentifikasi risiko, sementara FMEA digunakan untuk menilai risiko berdasarkan factor severity, occurrence, dan detection. Penelitian ini menghasilkan identifikasi 192 risiko yang kemudian digolongkan menjadi 30% high risk, 69% medium risk, dan 1% low risk. Berdasarkan penentuan prioritas risiko dengan konsep Pareto, penelitian ini menyusun rekomendasi upaya penanganan risiko prioritas yang terdiri dari avoiding, mitigating, transferring, dan accepting risk. Kombinasi pendekatan FMEA, FTA, dan IDEF0 telah berhasil membantu proses analisis dan penyusunan pengelolaan risiko dengan lebih jelas dan komprehensif. Penelitian ini dapat menjadi landasan bagi perusahaan lain di industri sejenis untuk mengevaluasi, memperbaiki maupun menyusun pengelolaan risiko.

Kata kunci: Failure Mode and Effect Analysis; Fault Tree Analysis; IDEF0; analisis risiko; manajemen risiko; panel listrik; proses produksi; case-based research

Abstract

[Risk Analysis and Management in the Electrical Panel Production Process Using the Failure Mode and Effects Analysis and Fault Tree Analysis Approaches] Risk management is important in minimizing the impact of risks a company faces in achieving its goals. Comprehensive risk management is essential for electrical panel manufacturing companies that have high potential risks. Given the absence of risk analysis in this field, this study aims to analyze and develop comprehensive risk management based on electrical panel production process activities in a case study of PT X by combining the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA) approaches. FTA and the IDEF0 framework are used to identify risks, while FMEA is used to assess risks based on severity, occurrence, and detection factors. This study identified 192 risks, which were then classified into 30% high risk, 69% medium risk, and 1% low risk. Based on determining risk priorities with the Pareto concept, this study developed recommendations for priority risk management efforts including avoiding, mitigating, transferring, and accepting risk. The combination of FMEA, FTA, and IDEF0 approaches has succeeded in helping the process of analyzing and compiling risk management more clearly and comprehensively. This study can be a basis for other companies in similar industries to evaluate, improve, and compile risk management.

Keywords: Failure Mode and Effect Analysis; Fault Tree Analysis; IDEF0; risk analysis; risk management; electrical panel; production process; case-based research

*Penulis Korespondensi.

E-mail: sholihah@ie.its.ac.id

1. Pendahuluan

Manajemen risiko adalah serangkaian kegiatan terkoordinasi yang dilakukan oleh suatu organisasi

untuk mengarahkan dan mengendalikan berbagai kemungkinan risiko yang berkaitan dengan aktivitas pencapaian tujuan organisasi (Hutchins, 2018). Pengelolaan risiko menjadi penting karena bertujuan untuk meminimalkan dampak risiko yang dihadapi oleh perusahaan dan mempertahankan keunggulan kompetitifnya (Saeidi et al., 2019). Sehingga keberadaan manajemen risiko di perusahaan memiliki peranan yang sangat krusial.

PT X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur yang memproduksi panel listrik, seperti RCP panel, SAS panel, *teleprotection* panel, AC/DC *distribution board*, dan sebagainya. Perusahaan ini menerapkan sistem produksi *make to order* (MTO) berbasis proyek. Proses produksi hanya dilakukan jika terdapat pesanan dengan menyesuaikan spesifikasi produk sesuai keinginan pelanggan. PT X telah menerapkan manajemen risiko yang berpedoman pada Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Akan tetapi manajemen risiko yang diterapkan hanya berfokus pada Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Sehingga risiko yang diidentifikasi hanya sebatas cedera, sakit, atau kerusakan akibat paparan bahaya. Meskipun perusahaan telah melakukan pengelolaan risiko, daftar risiko yang diatur belum mampu mengakomodasi seluruh kemungkinan risiko. Sehingga pengelolaan risiko yang optimal pada proses produksi secara komprehensif sangat diperlukan.

Penelitian terkait analisis risiko maupun perancangan pengelolaan risiko telah banyak dilakukan di industri manufaktur, seperti yang berfokus pada proses rantai pasok (Sumantri & Marwati, 2023), proses produksi (Abdussalam & Donoriyanto, 2024), pada K3 (Yuamita, 2023), maupun yang berfokus pada biomekanika proses produksi (Azwir et al. 2021). Pendekatan untuk menganalisis risiko yang paling umum digunakan dalam bidang ini adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) (Abdussalam & Donoriyanto, 2024; Mawangi, Mawangi, & Moesriati, 2021; Mu'adzah & Firmansyah, 2020). FMEA digunakan untuk menilai risiko yang telah teridentifikasi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh risiko tersebut terhadap perusahaan. Metode FMEA umum digunakan karena dapat meningkatkan keandalan dalam menilai potensi risiko dengan menggunakan tiga parameter yaitu *severity* (tingkat keparahan risiko), *occurrence* (probabilitas kejadian), dan *detection* (tingkat kemudahan mendeteksi risiko dengan sistem yang ada) untuk menentukan tingkat kekritisan tiap risiko (Wu, Liu, & Nie, 2021).

Meskipun telah banyak penelitian sejenis, namun belum ada penelitian terdahulu yang secara spesifik berfokus pada analisis risiko pada proses produksi panel listrik yang memberikan langkah sistematis pengelolaan risiko mulai dari identifikasi, evaluasi, dan penanganan risiko. (Dal Forno et al. 2024) menggunakan *Process Failure Mode Effect and Analysis* (PFMEA) untuk mengurangi risiko di perusahaan panel listrik namun penelitian ini tidak menyajikan langkah sistematis bagaimana pengelolaan risiko tersebut dilakukan. Selain itu, pendekatan FMEA

di penelitian terdahulu hanya berperan untuk menilai risiko yang telah teridentifikasi. Penilaian risiko akan menghasilkan hasil yang baik, jika risiko yang diidentifikasi sebelumnya tepat. Sehingga sangat diperlukan pendekatan lain yang membantu mengidentifikasi risiko secara komprehensif dan tepat. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi risiko berdasarkan kemungkinan kegagalan dalam proses produksi. FTA membantu mengidentifikasi penyebab risiko dengan menemukan akar penyebab permasalahan dari setiap aktivitas produksi sehingga dapat mengetahui bagaimana sebuah sistem dapat dikatakan gagal secara logis dalam konteks manajemen risiko (Yazdi et al., 2023). Akan tetapi, identifikasi risiko dengan FTA akan berjalan efektif dan efisien apabila didasarkan pada informasi proses produksi yang terdokumentasikan dengan benar. Sehingga penelitian ini menggunakan kerangka *Integration Definition for Function Modeling* (IDEF0) sebelum aplikasi FTA. IDEF0 digunakan untuk menggambarkan proses bisnis dan membantu mengidentifikasi faktor yang mempengaruhi aktivitas yang dijalankan berupa *input*, *control*, *output*, dan *mechanism* (ICOM) (Manenti, Ebrahimi-arjestan, Yang, & Yu, 2019). Kombinasi antara FMEA, FTA, dan IDEF0 diharapkan dapat membantu proses identifikasi dan penilaian risiko lebih tepat dan komprehensif.

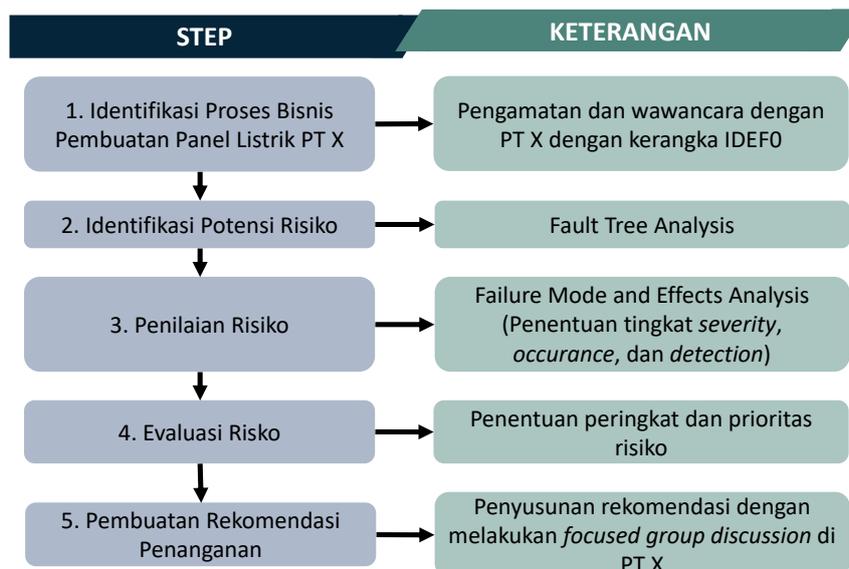
Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk merancang pengelolaan risiko pada proses produksi panel listrik dengan mengkombinasikan pendekatan FMEA, FTA, dan IDEF0. Penelitian ini merupakan penelitian berbasis studi kasus di PT X di mana pendekatan IDEF0 dan FTA digunakan untuk mengidentifikasi risiko, sedangkan FMEA digunakan untuk menilai risiko yang teridentifikasi. Selanjutnya, dilakukan pemetaan risiko pada studi kasus yang menjadi dasar penentuan upaya penanganan risiko sehingga probabilitas dan dampak yang dihasilkan risiko terhadap perusahaan dapat dikurangi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam lima tahap yang digambarkan pada **Gambar 1**.

Tahap Identifikasi Proses Bisnis

Proses bisnis adalah suatu rangkaian aktivitas yang saling terkait dan saling mempengaruhi dalam menciptakan, mengolah, dan memberikan nilai pada suatu produk atau layanan (Dwiano, Mulyatno, & Sisworo, 2021). Identifikasi proses bisnis dilakukan untuk mengetahui aktivitas proses pembuatan panel listrik, terutama *control relay protection panel* (panel RCP) yang menjadi studi kasus proyek atau produk yang dikerjakan oleh PT X. Tahap ini dilakukan melalui pengamatan langsung dan wawancara dengan pihak perusahaan bagian produksi. Kerangka IDEF0 digunakan untuk menggambarkan proses bisnis perusahaan khususnya untuk proses produksi panel listrik.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Tahap Identifikasi Potensi Risiko

Identifikasi potensi risiko dilakukan dengan menggunakan FTA. FTA merupakan metode analisis yang menggunakan model grafik dari berbagai kombinasi kesalahan paralel yang menyebabkan terjadinya peristiwa yang tidak diharapkan. Kesalahan didefinisikan sebagai kejadian yang berhubungan dengan kegagalan komponen, kesalahan manusia, atau kejadian lainnya. FTA bersifat *top-down* di mana grafik digambarkan dengan kegagalan pada kejadian puncak (*top-event*) yang kemudian diuraikan hingga kegagalan paling dasar (Budiyanto & Fernanda, 2020).

Setiap aktivitas pada proses produksi yang telah digambarkan dengan IDEF0 dianalisis untuk menentukan potensi risikonya dengan mempertimbangkan tujuan dari masing-masing aktivitas tersebut. Potensi risiko merupakan potensi kegagalan yang terjadi dalam mencapai tujuan tersebut (*sub system failure*). Selanjutnya, kegagalan tersebut dijabarkan untuk memperoleh akar permasalahan dari kegagalan tersebut yang merupakan risiko penyebab kegagalan.

Tahap Penilaian Risiko

Penilaian risiko dilakukan menggunakan metode FMEA. FMEA adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi dan mencegah suatu permasalahan pada produk atau proses sebelum masalah tersebut terjadi. Sehingga secara substansial akan mengurangi biaya dengan mengidentifikasi perbaikan produk dan proses di awal tahap pengembangan (desain), di mana perubahan masih mudah dan murah untuk dilakukan. FMEA akan menghasilkan proses yang kokoh karena permasalahan pada proses telah dikurangi atau dihilangkan, serta adanya tindakan korektif yang telah dilakukan (Mikulak et al., 2017)

Penilaian risiko dimulai dengan penentuan *potential effect*, *risk cause*, dan *current control* pada masing-masing risiko dengan menggunakan kuesioner. Penentuan *potential effect* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tingkat konsekuensi atau dampak (*severity*) yang dihasilkan jika risiko tersebut terjadi.

Penentuan *risk cause* dilakukan untuk mengetahui frekuensi kejadian (*occurrence*) dari risiko. Sedangkan penentuan *current control* dilakukan untuk mengetahui bagaimana tingkat kontrol atau deteksi (*detection*) dari kondisi saat ini pada proses produksi panel listrik PT X.

Kuesioner penilaian risiko diberikan dan diisi oleh empat orang ahli proses produksi panel listrik dari PT X. Responden dipilih dengan ketentuan: (1) memiliki pemahaman yang mendalam mengenai proses pembuatan panel listrik, khususnya panel RCP; dan (2) memiliki pengalaman minimal 5 tahun dalam proyek produksi panel listrik. Selain itu, peneliti menargetkan sebanyak empat orang responden yang memiliki penguasaan menyeluruh terhadap seluruh tahapan proses, mencakup aspek mekanik, elektrik, hingga *engineering*. Kriteria ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa penilaian risiko dilakukan oleh pihak yang benar-benar memahami keseluruhan proses secara teknis dan praktis, sehingga hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara objektif.

Berdasarkan kriteria tersebut, empat orang ahli yang berpartisipasi dalam penilaian risiko memiliki rincian posisi dan pengalaman sebagai berikut: (1) *Team Leader* Elektrik (40 tahun) memiliki pengalaman lebih dari 10 tahun di bidang instalasi dan perakitan panel listrik; (2) *Team Leader* Elektrik (45 tahun) dengan pengalaman lebih dari 10 tahun menangani supervisi dan *troubleshooting* panel kelistrikan; (3) Mekanik (30 tahun) dengan pengalaman kerja lebih dari 5 tahun dalam perakitan mekanik dan pengujian panel; dan (4) Mekanik (33 tahun) dengan pengalaman lebih dari 5 tahun dalam pemasangan dan pemeliharaan komponen mekanik panel listrik. Keempatnya dipilih karena keterlibatan aktif dan kompetensi teknis mereka dalam aktivitas produksi, serta dianggap mewakili perspektif praktis dalam identifikasi dan penilaian risiko operasional.

Kriteria penilaian pada masing-masing parameter juga diberikan dengan menggunakan skala 1 hingga 10. Untuk membantu proses penilaian, penelitian ini menyusun kriteria penilaian risiko yang tertera pada **Tabel 1** untuk *severity*, **Tabel 2** untuk

Tabel 1. Kriteria Penilaian Severity

Kriteria Efek	Penjelasan	Rank
<i>Very Hazardous</i>	Kegagalan dapat membahayakan operator, aset, produk, dan proyek tanpa adanya peringatan	10
<i>Hazardous</i>	Kegagalan dapat membahayakan operator, aset, produk, dan proyek dengan adanya peringatan terlebih dahulu	9
<i>Very High</i>	Kegagalan mengganggu operator, aset, produk, dan proyek secara keseluruhan	8
<i>High</i>	Kegagalan mengganggu 80% pengerjaan proyek	7
<i>Moderate</i>	Kegagalan mengganggu 60% pengerjaan proyek	6
<i>Low</i>	Kegagalan mengganggu 40% pengerjaan proyek	5
<i>Very Low</i>	Kegagalan mengganggu 20% pengerjaan proyek	4
<i>Minor</i>	Kegagalan memberikan dampak minor pada proyek	3
<i>Very Minor</i>	Kegagalan memberikan dampak pada proyek yang dapat diabaikan	2
<i>No Effect</i>	Kegagalan tidak memberikan dampak	1

Tabel 2. Kriteria Penilaian Occurrence

Kriteria Efek	Penjelasan	Rank
<i>Very High</i>	2 kali dalam sebulan	10
<i>High</i>	1 kali dalam sebulan	9
	>4 kali dalam setahun	8
	4 kali dalam setahun	7
<i>Moderate</i>	3 kali dalam setahun	6
	2 kali dalam setahun	5
	1 kali dalam setahun	4
<i>Low</i>	4 kali dalam 5 tahun	3
	2 kali dalam 5 tahun	2
	1 kali dalam 5 tahun	1

Tabel 3. Kriteria Penilaian Detection

Kriteria Efek	Penjelasan	Rank
<i>Almost Impossible</i>	Sistem deteksi hampir tidak memungkinkan untuk mendeteksi kegagalan	10
<i>Very Remote</i>	Sistem deteksi sangat kecil kemungkinan untuk mampu mendeteksi kegagalan	9
<i>Remote</i>	Sistem deteksi kecil kemungkinan untuk dapat mendeteksi kegagalan	8
<i>Very Low</i>	Sistem deteksi memiliki peluang yang kecil untuk dapat mendeteksi kegagalan	7
<i>Low</i>	Sistem deteksi memiliki kemungkinan untuk dapat mendeteksi kegagalan	6
<i>Moderate</i>	Sistem deteksi memiliki kemungkinan akan mendeteksi kegagalan	5
<i>Moderately High</i>	Sistem deteksi memiliki kemungkinan besar akan mendeteksi kegagalan	4
<i>High</i>	Sistem deteksi memiliki peluang yang besar untuk mendeteksi kegagalan	3
<i>Very High</i>	Sistem deteksi hampir pasti mendeteksi kegagalan	2
<i>Almost Certain</i>	Sistem deteksi pasti mendeteksi kegagalan	1

occurrence, dan **Tabel 3** untuk *detection* yang mengacu pada (Mikulak et al., 2017). Kriteria penilaian dasar dari (Mikulak et al., 2017) dimodifikasi dan disesuaikan dengan konteks proses produksi panel listrik dengan mempertimbangkan data historis kejadian risiko yang ada.

Penilaian risiko dilakukan secara individual melalui pengisian kuesioner oleh empat orang responden. Setiap responden memberikan skor terhadap parameter *severity*, *occurrence*, dan *detection* untuk setiap risiko secara mandiri. Nilai akhir untuk setiap parameter diperoleh dengan mencari modus skor dari keempat responden, yang kemudian digunakan untuk menentukan *Risk Priority Number* (RPN). Apabila tidak ditemukan modus skor karena nilai masing-masing responden sangat berbeda, maka konsolidasi nilai dilakukan dengan cara menanyakan kembali kepada keempat responden secara bersama-sama nilai akhir yang disepakati untuk diberikan.

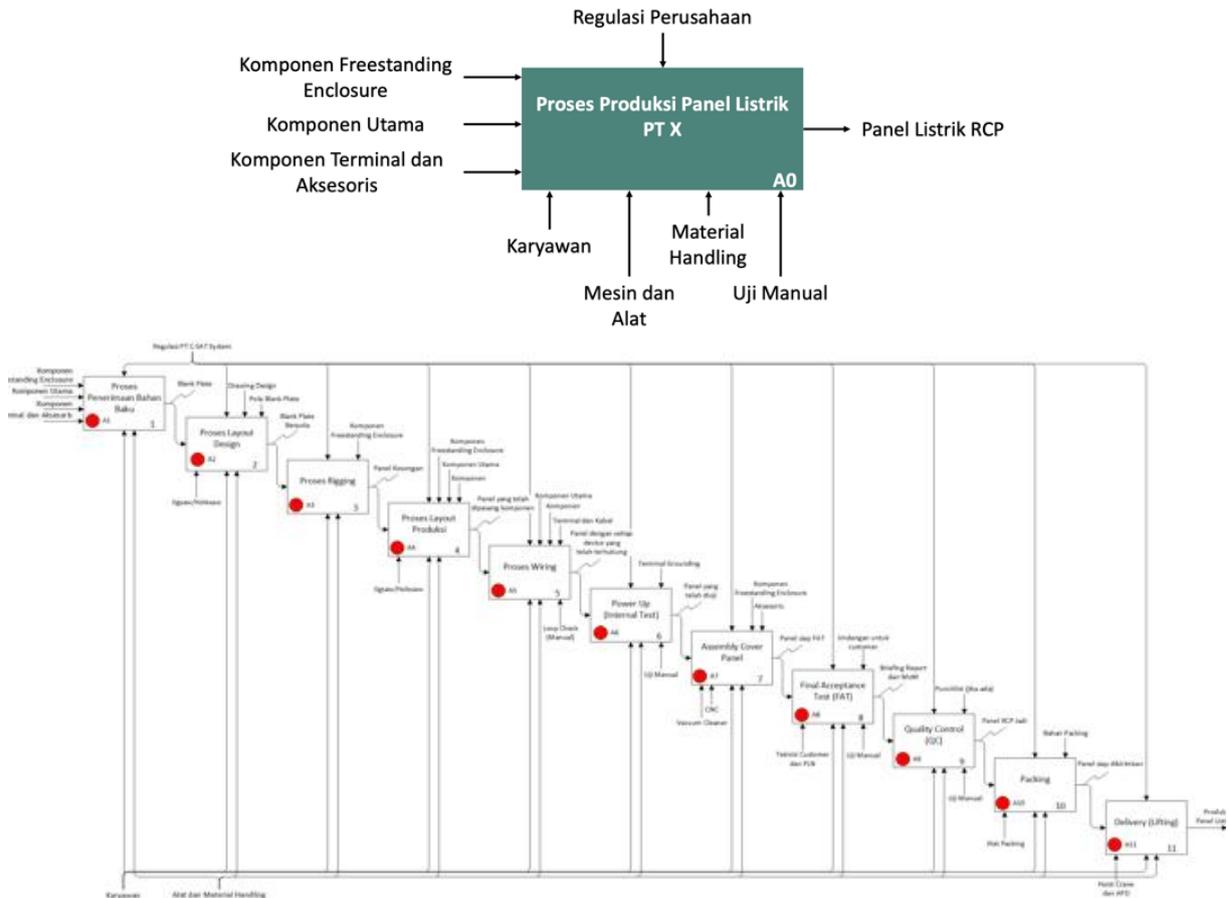
Setelah diperoleh nilai masing-masing parameter pada setiap risiko, perhitungan RPN

dilakukan dengan mengalikan ketiga parameter penilaian risiko, yaitu *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Perhitungan RPN digunakan untuk membantu dalam pemetaan risiko atau mengetahui tingkat risiko termasuk ke dalam kategori *high risk*, *medium risk*, dan *low risk*.

Tahap Evaluasi Risiko

Evaluasi risiko dilakukan dengan menentukan peringkat risiko dan pemetaan risiko berdasarkan hasil perhitungan RPN yang telah dilakukan. Penentuan peringkat risiko dilakukan dengan cara mengurutkan nilai RPN dari nilai yang tertinggi ke terendah. Hal ini untuk memudahkan dalam pemetaan risiko.

Pemetaan risiko dilakukan untuk menentukan tingkat atau level risiko. Penentuan level risiko didasarkan pada *risk appetite* perusahaan. Penetapan *risk appetite* dalam penelitian ini dilakukan melalui diskusi dengan pihak perusahaan, khususnya perwakilan dari Divisi Produksi dan HSE (*Health, Safety, and Environment*). Diskusi tersebut



Gambar 2. IDEF0 Level 0 dan 1 Proses Produksi Panel Listrik

menghasilkan kesepahaman mengenai toleransi risiko yang masih dapat diterima oleh perusahaan. *Risk appetite* kemudian diterjemahkan ke dalam skala penilaian parameter *severity*, *occurrence*, dan *detection*, dengan mengacu pada standar dari (Mikulak et al., 2017) dan disesuaikan dengan konteks industri panel listrik di PT X. Misalnya, risiko dengan *severity* tinggi dan *occurrence* sedang namun masih memiliki peluang deteksi tinggi dianggap sebagai risiko yang dapat dikendalikan dan masih dalam batas toleransi perusahaan. Penyesuaian skala ini dilakukan untuk mencerminkan persepsi risiko di lapangan dan memastikan bahwa proses penilaian relevan dengan kondisi operasional PT X. Berdasarkan *risk matrix* tersebut, maka dilakukan pemetaan risiko berdasarkan nilai RPN yang dikelompokkan ke dalam empat level risiko, yaitu *extreme*, *high*, *medium*, dan *low*.

Langkah selanjutnya adalah menentukan prioritas risiko untuk mengetahui risiko mana yang perlu ditangani dan diprioritaskan terlebih dahulu. Penentuan prioritas risiko dilakukan dengan menggunakan konsep *Diagram Pareto* dengan mengklasifikasikan prioritas risiko menjadi 80% dari RPN kumulatif sebagai risiko prioritas dan 20% dari RPN kumulatif sebagai risiko non-prioritas (Irfanto, 2022). *Pareto* ini digunakan karena banyak dinilai sebagai metodologi yang mudah diterapkan dan sangat efektif (Grosfeld-Nir, Ronen, & Kozlovsky, 2007). Mengingat prinsip ini menyajikan ringkasan informasi praktis yang mengungkap atribut-atribut penting.

Dalam konteks penelitian ini, penggunaan *Pareto* menyajikan informasi risiko mana saja yang memiliki total nilai RPN terbesar dan berkontribusi besar pada tidak tercapainya tujuan perusahaan. Selain itu, terdapat kriteria atau syarat lain dalam menentukan prioritas risiko yaitu setiap risiko yang memiliki nilai *severity* minimal dengan skala 9, tanpa memandang nilai *occurrence* dan *detection* termasuk ke dalam risiko prioritas.

Tahap Penentuan Upaya Penanganan Risiko

Penentuan upaya penanganan risiko dilakukan pada setiap risiko yang tergolong pada risiko prioritas. Penanganan risiko dikelompokkan menjadi 4 jenis, yaitu *avoiding risk*, *mitigating risk*, *transfer risk*, dan *accept risk* (Smith & Merritt, 2020). Penentuan rekomendasi upaya penanganan risiko dilakukan berdasarkan hasil penilaian risiko dengan menggunakan *current control* sebagai dasar yang didiskusikan dengan pihak perusahaan.

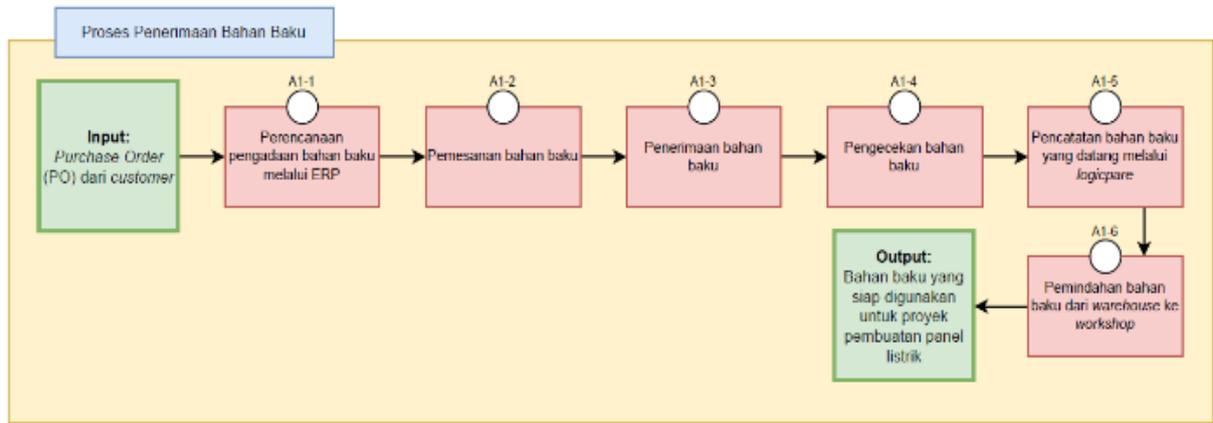
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Penelitian

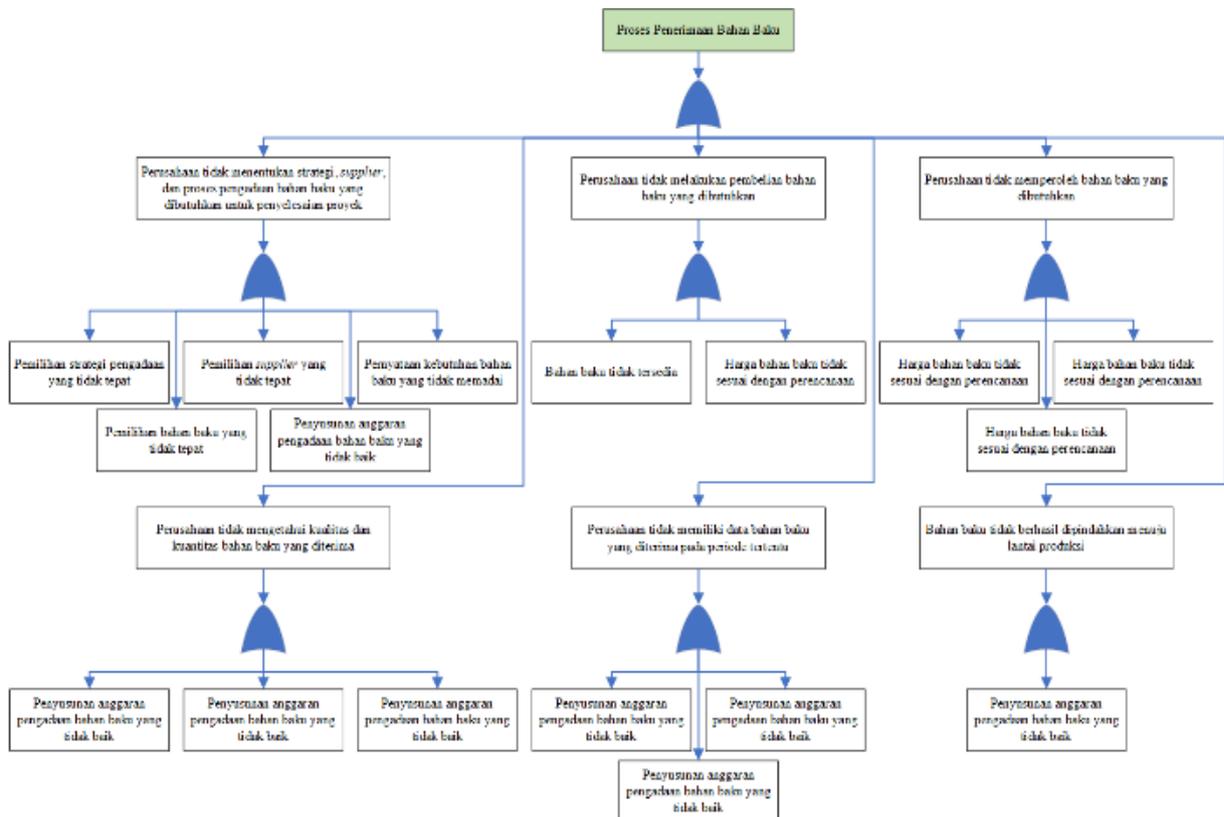
Sub-bab 3.1 ini akan menampilkan hasil dari tahapan penelitian yang telah dilakukan.

Hasil Identifikasi Proses Bisnis

Berdasarkan hasil wawancara, **Gambar 2** menunjukkan proses produksi panel listrik yang digambarkan dengan kerangka IDEF0. Diketahui



Gambar 3. Aktivitas pada Proses Penerimaan Bahan Baku



Gambar 4. FTA Aktivitas Penerimaan Bahan Baku

terdapat 11 proses utama pada proses produksi panel listrik yang dilakukan oleh PT X, antara lain penerimaan bahan baku, *layout design*, *rigging*, *layout produksi*, *wiring*, *power up (internal test)*, *assembly cover panel*, *final acceptance test (FAT)*, *quality control*, *packing*, dan *loading (delivery)*. Setiap proses kemudian dijabarkan menjadi aktivitas-aktivitas detail untuk memudahkan identifikasi potensi risiko pada proses produksi panel listrik. Salah satu contoh penjabaran aktivitas pada proses produksi ditunjukkan pada Gambar 3 yaitu penjabaran proses penerimaan bahan baku.

Hasil Identifikasi Potensi Risiko

Salah satu contoh FTA yang disusun pada penelitian ini adalah FTA untuk proses penerimaan bahan baku sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 4. FTA ini digunakan untuk mengidentifikasi potensi

risiko. Dari FTA ini kemudian diperoleh identifikasi risiko yang relevan yang ditunjukkan oleh Tabel 4. Berdasarkan hasil penjabaran aktivitas pada masing-masing proses, diperoleh 64 aktivitas yang dilakukan oleh PT X dalam memproduksi panel listrik.

Hasil Penilaian Risiko

Masing-masing risiko dinilai berdasarkan *potential effect*, *risk cause*, dan *current control*. Identifikasi *potential effect*, *risk cause*, dan *current control* pada masing-masing risiko ditunjukkan pada Tabel 5. Berdasarkan kriteria penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang telah disusun, masing-masing risiko kemudian dinilai yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 6. Tabel 6 juga menunjukkan hasil perhitungan RPN dari masing-masing risiko yang ada.

Tabel 4. Hasil Identifikasi Risiko Proses Produksi Panel Listrik

Kode Aktivitas	Aktivitas	Kode Risiko	Risiko	Kode Sub System Failure	Sub System Failure	Tujuan
A1	Proses Penerimaan Bahan Baku					
A1-1	Perencanaan pengadaan bahan baku melalui ERP	R1	Pemilihan strategi pengadaan yang tidak efektif	SSF1	Perusahaan tidak menentukan strategi, <i>supplier</i> , dan proses pengadaan bahan baku yang dibutuhkan untuk penyelesaian proyek	Perusahaan menentukan strategi, <i>supplier</i> , dan proses pengadaan bahan baku yang dibutuhkan untuk penyelesaian proyek
		R2	Pemilihan <i>supplier</i> yang buruk			
		R3	Pernyataan kebutuhan bahan baku yang tidak lengkap dan jelas			
		R4	Pemilihan bahan baku yang salah			
		R5	Penyusunan anggaran pengadaan bahan baku yang tidak baik			
A11-3	Pengawasan <i>area safety</i>	R188	Banyak benda (<i>obstacle</i>) yang berserakan di area <i>loading</i>	SSF63	<i>Area loading</i> belum aman dari gangguan	<i>Area loading</i> aman bebas dari gangguan
A11-4	Pengangkatan panel menggunakan <i>hoist crane</i> ke atas truk	R190	Kesalahan dalam mengoperasikan <i>hoist crane</i>	SSF64	Panel gagal diangkat ke atas truk dengan aman	Panel berhasil diangkat ke atas truk dengan aman
		R191	Gangguan pada <i>hoist crane</i> saat proses <i>loading</i>			
		R192	Kurangnya penggunaan pengaman tambahan			

Tabel 5. Hasil Identifikasi *Potential Effect*, *Risk Cause*, dan *Current Control* (Kuesioner FMEA)

Kode Aktivitas	Aktivitas	Kode Risiko	Risiko	<i>Potential Effect</i>	S	<i>Risk Cause</i>	O	<i>Current Control</i>	D
A1-1	Perencanaan pengadaan bahan baku melalui ERP	R1	Pemilihan strategi pengadaan yang tidak efektif	Strategi yang dilakukan menjadi tidak optimal dan mempengaruhi produktivitas perusahaan		Pengambilan keputusan yang tidak sistematis dikarenakan tidak mempertimbangkan kebutuhan dan persyaratan perusahaan		Adanya evaluasi terhadap kapasitas produksi dan ketersediaan pasokan	
		R2	Pemilihan <i>supplier</i> yang buruk	Kualitas bahan baku yang diterima tidak sesuai dengan harga yang ditawarkan		Perusahaan tidak melakukan riset yang memadai terhadap pemasok yang tersedia		Adanya hubungan kemitraan dengan pemasok yang terpercaya dan berkualitas	
A11-4	Pengangkatan panel menggunakan <i>hoist crane</i> ke atas truk	R191	Gangguan pada <i>hoist crane</i> saat proses <i>loading</i>	<i>Hoist crane</i> tidak berfungsi saat proses <i>loading</i>		<i>Hoist crane</i> tidak dirawat dengan benar		Pemeliharaan <i>hoist crane</i> secara berkala	

Kode Aktivitas	Aktivitas	Kode Risiko	Risiko	Potential Effect	S	Risk Cause	O	Current Control	D
		R192	Kurangnya penggunaan pengaman tambahan	Peningkatan potensi kerusakan pada panel saat diturunkan ke atas truk		Proses loading tidak mengikuti standar		Adanya SOP dalam proses loading	

Tabel 6. Hasil Penilaian Risiko dan Perhitungan RPN

Kode Risiko	Risiko	S	O	D	RPN
R1	Pemilihan strategi pengadaan yang tidak efektif	9	4	3	108
R2	Pemilihan supplier yang buruk	8	3	2	48
R3	Pernyataan kebutuhan bahan baku yang tidak lengkap dan jelas	7	3	2	42
.....
R191	Gangguan pada hoist crane saat proses loading	7	2	1	14
R192	Kurangnya penggunaan pengaman tambahan	6	3	1	18

Tabel 7. Risk Appetite PT X

Severity		Occurrence		Detection	
Skala	Level Risiko	Skala	Level Risiko	Skala	Level Risiko
10	Extreme	10	High	10	High
9	Extreme	9	High	9	High
8	High	8	Medium	8	Medium
7	Medium	7	Medium	7	Medium
6	Medium	6	Medium	6	Medium
5	Medium	5	Medium	5	Low
4	Medium	4	Low	4	Low
3	Low	3	Low	3	Low
2	Low	2	Low	2	Low
1	Low	1	Low	1	Low

		Severity				
		Negligible	Minor	Moderate	Significant	Severe
Occurrence	Very Likely	Medium	Medium	High	High	Extreme
	Likely	Medium	Medium	Medium	High	High
	Possible	Low	Medium	Medium	Medium	High
	Unlikely	Low	Low	Medium	Medium	Medium
	Very Unlikely	Low	Low	Low	Medium	Medium

Gambar 5. Risk Matrix PT X

Tabel 8. Kategori atau Pengelompokan Level Risiko

Level Risiko	RPN
Extreme	RPN > 150 (Nilai severity 9-10)
High	70 ≤ RPN ≤ 150
Medium	20 ≤ RPN ≤ 70
Low	RPN < 20

Hasil Evaluasi Risiko

Berdasarkan penilaian dan perhitungan RPN yang ditampilkan pada Tabel 6, dilakukan pemeringkatan risiko dari nilai RPN tertinggi ke terendah. Untuk membuat risk matrix diperlukan data berupa risk appetite perusahaan yang ditunjukkan pada Tabel 7. Gambar 5 menunjukkan risk matrix dalam

studi kasus ini. Sementara Tabel 8 menunjukkan dasar pengelompokan level risiko. Dengan menggunakan data Tabel 7 dan Tabel 8, setiap risiko dapat dipetakan dan dikelompokkan berdasarkan levelnya yang dapat dilihat pada Tabel 9. Sementara hasil penentuan prioritas risiko ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel 9. Hasil Pemetaan Risiko

Kode Risiko	Risiko	S	O	D	RPN	Level Risiko
R8	Keterlambatan datangnya bahan baku	9	7	7	441	Extreme
R16	Pekerjaan tertunda hingga memperoleh <i>drawing design</i>	10	5	6	300	Extreme
.....
R6	Kelebihan beban (<i>overload</i>) pada panel	8	4	4	128	High
R40	Perubahan kualitas bahan baku	8	5	3	120	High
.....
R102	Sambungan fisik antara kabel dan komponen yang salah	8	4	2	64	Medium
R103	Kerusakan pada kabel dan komponen	8	4	2	64	Medium
.....
R180	Kesalahan dalam pemasangan tripleks	5	2	1	10	Low
R187	Menyalakan MCB yang salah	7	1	1	7	Low

Tabel 10. Hasil Penentuan Prioritas Risiko

Kode Risiko	Risiko	S	O	D	RPN	Persentase (%)	Kumulatif Persentase (%)	Level Risiko
R8	Keterlambatan datangnya bahan baku	9	7	7	441	4,22	4,22	Extreme
R16	Pekerjaan tertunda hingga memperoleh <i>drawing design</i>	10	5	6	300	2,87	7,08	Extreme
R107	Pengerjaan revisi berdasarkan hasil <i>loop check</i>	6	8	6	288	2,75	9,84	Extreme
R188	Banyak benda (<i>obstacle</i>) yang berserakan di area <i>loading</i>	6	7	6	252	2,41	12,25	Extreme
R116	Tegangan listrik tidak stabil	9	5	5	225	2,15	14,40	Extreme
.....
R145	Bahasa yang digunakan tidak jelas dan terlalu teknis	3	2	2	12	0,11	99,72	Low
R181	Ukuran tripleks yang tidak sesuai dengan ukuran panel	6	2	1	12	0,11	99,84	Low
R180	Kesalahan dalam pemasangan tripleks	5	2	1	10	0,10	99,93	Low
R187	Menyalakan MCB yang salah	7	1	1	7	0,07	100,00	Low

Tabel 11. Hasil Rekomendasi Upaya Penanganan Risiko

Kode Risiko	Risiko	RPN	Level Risiko	Penanganan Risiko	Deskripsi
R8	Keterlambatan datangnya bahan baku	405	Extreme	<i>Avoiding Risk</i> <i>Mitigating Risk</i>	Melakukan perencanaan dan pemesanan dengan mempertimbangkan <i>lead time</i> Melakukan pemantauan atau <i>tracking</i> untuk mengetahui atau mendeteksi permasalahan yang terjadi selama pengiriman Menjalin komunikasi yang efektif dan berkala terkait kemajuan pengiriman
R16	Pekerjaan tertunda hingga memperoleh <i>drawing design</i>	300	Extreme	<i>Transfer Risk</i> <i>Avoiding Risk</i> <i>Mitigating Risk</i>	Adanya perjanjian dengan <i>supplier</i> apabila terjadi keterlambatan dalam pengiriman Adanya kesepakatan dengan <i>customer/client</i> pada saat PO untuk segera menyediakan <i>drawing design</i> Melakukan komunikasi terkait jadwal pelaksanaan proyek dan tenggat waktu pengiriman <i>drawing design</i> oleh <i>customer</i>
R107	Pengerjaan revisi berdasarkan hasil <i>loop check</i>	288	Extreme	<i>Avoiding Risk</i>	Melakukan pemeriksaan setelah setiap aktivitas selesai dilakukan
R188	Banyak benda (<i>obstacle</i>) yang berserakan di area <i>loading</i>	252	Extreme	<i>Mitigating Risk</i>	Mengamankan atau mengosongkan area <i>loading</i> agar tidak mengganggu proses <i>loading/lifting</i>

Kode Risiko	Risiko	RPN	Level Risiko	Penanganan Risiko	Deskripsi
R116	Tegangan listrik tidak stabil	225	<i>Extreme</i>	<i>Mitigating Risk</i>	Adanya panduan dalam mengatasi fluktuasi tegangan listrik Memeriksa panel listrik untuk mengetahui penyebab utama ketidakstabilan pada tegangan Mempertimbangkan untuk menggunakan <i>stabilizer</i>
R79	Komponen <i>blank plate</i> yang dipasang tidak kuat	36	<i>Low</i>	<i>Avoiding Risk</i> <i>Mitigating Risk</i>	Menerapkan standar atau cara pemasangan mur/baut dengan benar Melakukan pengecekan setiap selesai merakit apakah mur/baut telah dipasang dengan kencang
R82	Komponen <i>rear door</i> yang dipasang tidak kuat	36	<i>Low</i>	<i>Avoiding Risk</i> <i>Mitigating Risk</i>	Menerapkan standar atau cara pemasangan mur/baut dengan benar Melakukan pengecekan setiap selesai merakit apakah mur/baut telah dipasang dengan kencang
R91	<i>Tubing</i> tidak menutupi seluruh kabel	36	<i>Low</i>	<i>Mitigating Risk</i>	Menyesuaikan kembali ukuran tubing dengan ukuran kabel yang akan dipasang agar tertutup sempurna

Hasil Penentuan Upaya Penanganan Risiko

Tabel 11 menunjukkan usulan rekomendasi upaya penanganan risiko yang disusun dalam penelitian ini. Usulan tersebut kemudian dikomunikasikan melalui *focused-group discussion* dengan keempat ahli perwakilan perusahaan.

3.2. Analisis dan Pembahasan

Sub-bab 3.2 ini akan menguraikan analisis dari hasil penelitian yang telah ditampilkan pada Sub-bab 3.1.

Analisis Risiko pada Proses Produksi Panel Listrik

Berdasarkan identifikasi proses bisnis PT X (**Gambar 2** dan **Gambar 3**), penelitian ini mengidentifikasi 192 risiko (**Tabel 4**) dari 64 aktivitas pada proses produksi panel listrik dengan menggunakan pendekatan FTA (contoh pada **Gambar 4**). Penelitian ini kemudian mengelompokkan penyebab risiko ke dalam empat kategori, yaitu *man*, *machine*, *material*, dan *method*. Pengelompokan ini menghasilkan 100 risiko dari kategori *method*, 81 risiko termasuk ke dalam kelompok *man*, 8 risiko termasuk ke dalam kelompok *material*, dan 5 risiko termasuk ke dalam kelompok *machine*. Sebagian besar risiko berasal dari kategori *method* dan *man* karena sebagian besar proses produksi dilakukan dengan cara manual tanpa menggunakan mesin. Proses produksi yang dilakukan menggunakan peralatan secara manual akan memiliki kecenderungan untuk terjadi kesalahan, baik dari cara pengerjaan, maupun *human error* dibandingkan proses produksi yang dilakukan dengan menggunakan mesin (McBride, Rogers, & Fisk, 2014). Pengelompokan risiko menjadi empat kategori tersebut membantu perusahaan untuk mengetahui dengan cepat kategori teknis apa (*man*, *machine*, *material*, atau *method*) dalam proses produksi yang memiliki potensi risiko besar secara kuantitatif.

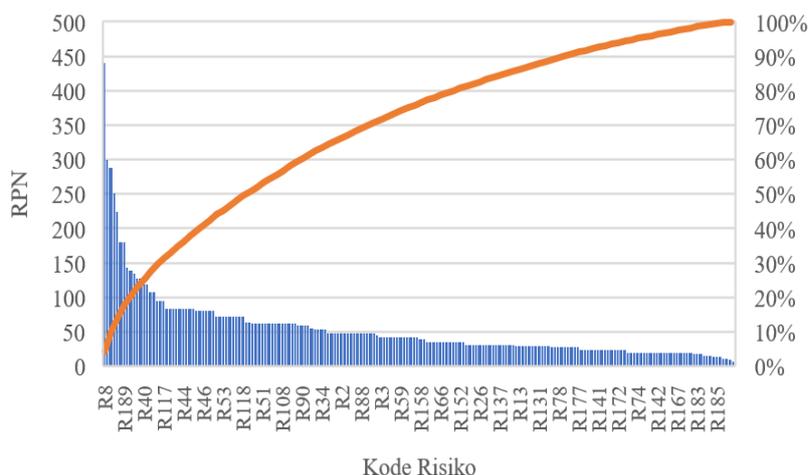
Analisis Penilaian Risiko

Tabel 6 menyajikan hasil penilaian risiko yang didasarkan pada kuesioner FMEA yang telah diisi oleh para ahli (**Tabel 5**). Dari **Tabel 6** ini dapat diketahui

bahwa penilaian risiko dengan nilai *severity* tertinggi diberikan kepada risiko pekerjaan tertunda hingga memperoleh *drawing design* (R16) dengan nilai *severity* sebesar 10. Risiko ini memiliki nilai *severity* yang tinggi dikarenakan apabila pekerjaan proyek tertunda akibat keterlambatan gambar teknik maka akan berdampak pada terlambatnya penyelesaian proyek panel listrik dan tidak sesuai dengan kesepakatan pada saat *purchase order* (PO) dengan pelanggan. Sedangkan nilai *occurrence* tertinggi (nilai 8) diberikan kepada beberapa risiko dengan salah satu contohnya adalah risiko pengerjaan revisi berdasarkan hasil *loop check* (R107). Hal tersebut dikarenakan adanya permintaan pelanggan yang belum terpenuhi pada produk panel yang telah diproduksi sehingga memerlukan revisi yang akan menambah waktu pengerjaan. Sementara nilai tertinggi untuk *detection* bernilai 7 yang diberikan untuk risiko keterlambatan datangnya bahan baku (R8) dikarenakan perusahaan masih sering mengalami keterlambatan datangnya bahan baku dari pemasok walaupun pemesanan telah dilakukan dari jauh-jauh hari.

Berdasarkan hasil perhitungan RPN (**Tabel 6**) dapat diketahui bahwa risiko yang memiliki nilai RPN terbesar adalah R8 yaitu keterlambatan datangnya bahan baku, dengan nilai RPN sebesar 441. Efek yang dapat ditimbulkan oleh risiko tersebut adalah akan terganggunya jadwal produksi yang dapat mengakibatkan penundaan proses produksi. Apabila terjadi penundaan proses produksi, maka perusahaan akan kesulitan untuk memenuhi tenggat waktu penyelesaian yang disepakati sebelumnya. Hal tersebut akan mempengaruhi produktivitas, efisiensi, dan bahkan mempengaruhi tingkat kepuasan pelanggan (Noerpratomo, 2018). Penyebab dari risiko ini adalah terdapat masalah dalam proses pengiriman oleh pemasok, seperti kemacetan, jarak, atau masalah logistik lainnya. Sedangkan *current control* yang dilakukan oleh perusahaan adalah melakukan pemesanan dari jauh hari sebelum proses produksi dimulai dan membuat cadangan persediaan. Akan tetapi berdasarkan hasil penilaian risiko, dapat

Penentuan Prioritas Risiko



Gambar 6. Pareto Diagram untuk Penentuan Prioritas Risiko

diketahui bahwa *current control* yang dilakukan terbukti belum efektif. Sehingga diperlukan rekomendasi penanganan lain untuk risiko ini.

Analisis Evaluasi Risiko

Berdasarkan hasil pemetaan risiko yang didasarkan pada *risk appetite* dan kategori atau pengelompokan level risiko PT X (Tabel 7, Tabel 8, dan Gambar 5), diketahui bahwa terdapat 17 risiko termasuk *extreme risk*, 26 risiko merupakan *high risk*, 116 risiko merupakan *medium risk*, dan 33 risiko termasuk *low risk* (Tabel 9). Gambar 6 menunjukkan *Diagram Pareto* dari nilai RPN semua risiko yang ada. Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa risiko prioritas merupakan risiko yang memiliki nilai RPN sebesar 441 (R8) hingga risiko yang memiliki nilai RPN sebesar 36 (R91). Selain menggunakan prinsip *Pareto*, penentuan prioritas risiko juga didasarkan pada nilai *severity* yang di mana sebuah risiko memiliki nilai *severity* sebesar 9 akan digolongkan ke risiko prioritas tanpa memedulikan nilai RPN. Sebagai contoh, risiko dengan kode R119 memiliki nilai *severity* sebesar 9 sehingga digolongkan ke dalam risiko prioritas. Berdasarkan penentuan prioritas risiko tersebut, 107 risiko masuk ke dalam risiko prioritas dan 85 risiko yang termasuk ke dalam risiko non-prioritas (Tabel 10).

Penelitian ini menggunakan dua pendekatan dalam menentukan prioritas risiko, yaitu menggunakan prinsip *Pareto* dan nilai *severity* dengan ambang batas 9. Hal ini dapat menjadi contoh bagi perusahaan sejenis dalam menentukan prioritas risiko dengan menggabungkan beberapa pertimbangan kuantitatif (*Pareto* berdasarkan RPN) serta subjektif-kualitatif (kebijakan perusahaan). Dengan kombinasi pertimbangan ini diharapkan hasil prioritas risiko menjadi lebih tepat dan relevan.

Analisis Penanganan Risiko

Strategi penanganan risiko yang digunakan terdiri dari empat cara yaitu *avoiding risk* (menghindari terjadinya risiko dengan mengeliminasi risiko), *mitigating risk* (mengurangi dampak atau kemungkinan

terjadinya risiko), *transferring risk* (memindahkan konsekuensi risiko pada pihak ketiga), dan *accepting risk* (menerima konsekuensi risiko). Berdasarkan hasil rekomendasi penanganan risiko (Tabel 11), rekomendasi upaya penanganan risiko yang diberikan didominasi oleh *mitigating risk* dan *avoiding risk*, serta terdapat beberapa risiko yang ditransfer (*transfer risk*). Hal tersebut dikarenakan potensi risiko pada aktivitas yang ada pada proses produksi panel listrik disebabkan oleh parahnya dampak yang muncul apabila risiko tersebut terjadi sehingga disarankan untuk mengurangi dampak atau menghindari risiko tersebut.

Rekomendasi penanganan risiko pada masing-masing risiko tidak hanya menggunakan satu jenis upaya penanganan risiko, tetapi terdapat beberapa jenis penanganan yang tergantung dengan potensi risiko tersebut. Sementara itu, sebagian besar risiko yang direkomendasikan untuk ditangani dengan cara *transfer risk* berkaitan dengan proses penerimaan bahan baku yang di mana proses tersebut sangat berhubungan dengan pihak ketiga yaitu *supplier*. Dengan adanya rekomendasi upaya penanganan risiko ini, diharapkan dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh penyebab risiko tersebut.

Upaya penanganan risiko yang diusulkan dalam penelitian ini bermanfaat sebagai contoh praktis bagi perusahaan sejenis dalam menangani risiko yang ada. Rekomendasi yang diberikan dapat menjadi landasan dalam penyusunan penanganan risiko yang disesuaikan dengan kondisi masing-masing perusahaan. Akan tetapi penelitian ini belum mengikutsertakan kajian finansial dari rekomendasi penanganan risiko. Sehingga implementasi atas rekomendasi yang diusulkan membutuhkan kajian finansial terlebih dahulu untuk mempertimbangkan kemampuan dan komitmen dari perusahaan dalam mengimplementasikan rekomendasi penanganan risiko secara finansial.

4. Kesimpulan

Penelitian ini merancang pengelolaan risiko pada proses produksi panel berbasis studi kasus di PT

X, sebuah perusahaan manufaktur penghasil panel listrik. Pengelolaan risiko dimulai dengan melakukan identifikasi risiko yang menggunakan pendekatan FTA dan IDEF0. Risiko yang telah teridentifikasi kemudian dinilai dengan pendekatan FMEA yang berfokus pada tiga parameter penilaian yaitu *severity*, *occurrence*, dan *detection* dari masing-masing risiko.

Dari 11 proses utama (64 aktivitas detail), telah teridentifikasi 192 potensi risiko penyebab kegagalan dalam proses produksi panel listrik. Berdasarkan hasil perhitungan RPN dari masing-masing risiko (perkalian antara nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*) diketahui bahwa terdapat 9% risiko merupakan *extreme risk*, 14% risiko merupakan *high risk*, 60% risiko merupakan *medium risk*, dan 17% risiko merupakan *low risk*. Semua risiko tersebut kemudian digolongkan berdasarkan tingkat prioritas risiko dengan menggunakan konsep Pareto dan kebijakan perusahaan (nilai *severity* minimum 9). Penggolongan ini menghasilkan 107 risiko termasuk ke dalam risiko prioritas dan 85 risiko termasuk ke dalam risiko non-prioritas.

Penelitian ini memberikan rekomendasi penanganan risiko kategori risiko prioritas. Rekomendasi ini disusun berdasarkan hasil penilaian risiko, *current control* dari setiap risiko dan difinalisasi oleh perusahaan. Hal ini menghasilkan 39% risiko direkomendasikan untuk ditangani dengan cara *avoiding risk*, 59% risiko ditangani dengan cara *mitigating risk*, dan 2% risiko ditangani dengan cara *transfer risk*.

Penelitian ini telah berkontribusi secara teoritis dan praktis di bidang manajemen risiko. Penelitian ini mengusulkan tahapan sistematis pengelolaan risiko dengan mengkombinasikan pendekatan FMEA, FTA, dan IDEF0. Khususnya identifikasi proses bisnis menggunakan IDEF0 dan identifikasi potensi risiko dari proses bisnis tersebut dengan FTA telah berhasil membantu mengidentifikasi risiko lebih jelas dan komprehensif dibandingkan dengan penelitian sejenis (Dal Forno et al. 2024). Selain itu, penelitian ini telah merumuskan kriteria penilaian risiko dengan parameter *severity*, *occurrence*, dan *detection* (**Tabel 1-3**) yang relevan dan sesuai dengan konteks proses produksi panel listrik. Identifikasi kriteria penilaian ini berkontribusi secara teoritis karena sebelumnya belum ada kriteria penilaian risiko dalam penelitian terdahulu yang berfokus pada risiko di proses produksi panel listrik, khususnya di Indonesia. Selain itu, rumusan kriteria penilaian risiko tersebut juga dapat digunakan oleh perusahaan sejenis lainnya dalam menilai risiko yang terjadi (kontribusi praktis). Usulan rekomendasi penanganan risiko yang diberikan dapat menjadi landasan bagi perusahaan lain dalam industri sejenis untuk mengevaluasi, memperbaiki maupun menyusun pengelolaan risiko di perusahaan masing-masing.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang dapat dijadikan sebagai peluang pengembangan riset selanjutnya. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dalam melakukan penilaian risiko (berdasarkan penilaian ahli). Penilaian risiko akan lebih handal jika dilakukan dengan pendekatan kuantitatif yang didasarkan pada data historis pengelolaan risiko

khususnya pada parameter *occurrence*. Selain itu, penelitian ini berbasis studi kasus hanya pada satu perusahaan produksi panel listrik. Implementasi dari usulan pengelolaan risiko pada perusahaan sejenis atau industri lain dibutuhkan untuk memperkuat validitas usulan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dana dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember untuk karya ini, di bawah skema Program Insentif Penulisan Publikasi dan Hak Kekayaan Intelektual (PPHKI) 2025.

5. Daftar Pustaka

- Abdussalam, I., & Donoriyanto, D. S. (2024). Analisis Risiko Kegagalan Proses Produksi Bakpia Menggunakan Metode FMEA Di Rumah Produksi Bakpia AS Sidoarjo. *Jurnal Teknik Ibnu Sina (JT-IBSI)*, 9(02), 104–114. <https://doi.org/10.36352/JT-IBSI.V9I02.976>
- Azwir, H. H. (2021). PENGURANGAN RISIKO MUSCULOSKELETAL DISORDERS PADA AREA MESIN LASER PERFORATOR DI PERUSAHAAN ROKOK MENGGUNAKAN OWAS DAN QFD. *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 16(3), 177-188. <https://doi.org/10.14710/jati.16.3.177-188>
- Budiyanto, M. A., & Fernanda, H. (2020). Risk Assessment of Work Accident in Container Terminals Using the Fault Tree Analysis Method. *Journal of Marine Science and Engineering 2020, Vol. 8, Page 466*, 8(6), 466. <https://doi.org/10.3390/JMSE8060466>
- Dal Forno, A. J., Ribeiro, M., Saldias, D. A. P., & Martins, M. L. (2024). USING PROCESS FAILURE MODE EFFECT AND ANALYSIS (PFMEA) FOR RISK REDUCTION IN AN ELECTRICAL PANEL COMPANY. *International Journal of Manufacturing Economics and Management*, IV(2), 6-17. <https://doi.org/10.54684/ijmem.2024.4.2.6>
- Dwiano, E. R., Mulyatno, I. P., & Sisworo, S. J. (2021). Analisis Risiko Pada Proses Bongkar Muat Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Fault Tree Analysis (FTA) di PT. ABADI JAYA MARITIM. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(2), 162–172.
- Grosfeld-Nir, A., Ronen, B., & Kozlovsky, N. (2007). The Pareto managerial principle: when does it apply? *International Journal of Production Research*, 45(10), 2317–2325. <https://doi.org/10.1080/00207540600818203>
- Hutchins, G. (2018). *ISO 31000: 2018 enterprise risk management*. Greg Hutchins.
- Irfanto, R. (2022). The Analysis Cause of Casting Repair Work with Pareto Chart in Project X. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 106–117. <https://doi.org/10.28932/JTS.V18I1.4485>
- Manenti, G., Ebrahimiarestan, M., Yang, L., & Yu, M. (2019). Functional modelling and IDEF0 to enhance and support process tailoring in systems engineering. *ISSE 2019 - 5th IEEE*

- International Symposium on Systems Engineering, Proceedings.*
<https://doi.org/10.1109/ISSE46696.2019.8984539>
- Mawangi, S. K., Mawangi, S. K. I., & Moesriati, A. (2021). Kajian Risiko Proses Pengolahan Lumpur Tinja Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) (Studi Kasus: Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Kota Batu). *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), D176–D182. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.72607>
- McBride, S. E., Rogers, W. A., & Fisk, A. D. (2014). Understanding human management of automation errors. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 15(6), 545–577.
- Mikulak, R. J., McDermott, R., & Beauregard, M. (2017). *The basics of FMEA*. CRC press.
- Mu'adzah, & Firmansyah, N. A. (2020). Analisis Enterprise Risk Management Menggunakan FMEA pada PT XYZ. *Teknoin*, 26(2), 154–164. <https://doi.org/10.20885/TEKNOIN.VOL26.IS2.ART6>
- Noerpratomo, A. (2018). Pengaruh persediaan bahan baku dan proses produksi terhadap kualitas produk di CV. Banyu Biru Connection. *Almana: Jurnal Manajemen Dan Bisnis*, 2(2), 20–30.
- Saeidi, P., Saeidi, S. P., Sofian, S., Saeidi, S. P., Nilashi, M., & Mardani, A. (2019). The impact of enterprise risk management on competitive advantage by moderating role of information technology. *Computer Standards & Interfaces*, 63, 67–82. <https://doi.org/10.1016/J.CSI.2018.11.009>
- Smith, P. G., & Merritt, G. M. (2020). *Proactive Risk Management: Controlling Uncertainty in Product Development.*
<https://doi.org/10.4324/9780367807542>
- Sumantri, & Marwati, D. N. (2023). Analisis Risiko Rantai Pasok pada Industri Pengolahan Sagu Basah di Desa Bunga Eja dengan Metode Supply Chain Operation Reference (SCOR) dan House of Risk (HOR): *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 11(3), 316–326. <https://doi.org/10.30605/PERBAL.V11I3.2959>
- Wu, Z., Liu, W., & Nie, W. (2021). Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2021 112:5, 112(5), 1409–1436. <https://doi.org/10.1007/S00170-020-06425-0>
- Yazdi, M., Mohammadpour, J., Li, H., Huang, H. Z., Zarei, E., Pirbalouti, R. G., & Adumene, S. (2023). Fault tree analysis improvements: A bibliometric analysis and literature review. *Quality and Reliability Engineering International*, 39(5), 1639–1659. <https://doi.org/10.1002/QRE.3271>
- Yuamita, F. (2023). Analisis Risiko Potensi Kecelakaan Kerja Pada Pekerja Departemen Persiapan Produksi Menggunakan Metode HIRADC (Hazard Identification, Risk Assesment And Determining Control):(Studi Kasus: PT Mandiri Jogja International). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 2(3), 159–167.