Analisis Risiko Keselamatan Kerja pada Area *Wet Charge* Menggunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) DI PT.XYZ

Blima Sahrul Pradana[1]
Program Studi S1 Teknik Industri
Direktorat Kampus Surabaya,
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia
blimasahrul@student.telkomuniversity.ac.id

Ilma Mufidah[2]
Program Studi S1 Teknik Industri
Direktorat Kampus Surabaya,
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia
ilmamufidah@telkomuniversity.ac.id

Ayu Endah Wahyuni[3]
Program Studi S1 Teknik Industri
Direktorat Kampus Surabaya,
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia
ayuendah@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak*—PT XYZ merupakan perusahaan manufaktur aki yang beroperasi sejak tahun 2022 dengan proses kerja yang sebagian besar masih manual dan menggunakan mesin lama. Data kecelakaan kerja periode 2022–2025 mencatat tujuh insiden, dengan area *Wet Charge* menyumbang proporsi tertinggi (43%) yang seluruhnya berkaitan dengan paparan *asam sulfat* (H_2SO_4). Metode *Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control* (HIRADC) yang diterapkan perusahaan sejak 2023 bersifat kualitatif, tidak mencakup insiden yang terjadi setelah dokumen tersebut disusun, dan tidak dirancang untuk menelusuri hubungan sebab dan akibat antar kegagalan. Penelitian ini mengintegrasikan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi, mengukur, dan menelusuri akar penyebab risiko pada area *Wet Charge*. Penilaian FMEA terhadap 14 mode kegagalan menghasilkan kondisi instalasi listrik sebagai prioritas tertinggi (RPN = 173,89; kontribusi 21,89% terhadap total RPN berdasarkan diagram Pareto). Analisis FTA terhadap risiko tersengat listrik dan kebakaran masing-masing mengidentifikasi tiga *basic event*. Usulan mitigasi berupa penambahan *cable tray*, *conduit*, dan penutup mesin yang terintegrasi dengan sistem *scrubber* eksisting dirumuskan sebagai rancangan konseptual tanpa mengubah konstruksi utama mesin. Penelitian ini bersifat studi kasus tunggal dengan populasi responden yang terbatas, sehingga generalisasi hasil ke konteks industri lain perlu dilakukan secara hati hati.**

***Kata kunci*—FMEA, FTA, RPN, keselamatan dan kesehatan kerja, Wet Charge**

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri manufaktur yang semakin kompetitif menuntut perusahaan untuk meningkatkan produktivitas tanpa mengabaikan aspek Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Sektor manufaktur melibatkan penggunaan mesin, peralatan, dan bahan kimia yang memiliki potensi bahaya; apabila potensi tersebut tidak diidentifikasi dan dikendalikan secara sistematis, kecelakaan kerja dapat terjadi dan mengganggu kelangsungan proses produksi [1].

PT XYZ adalah perusahaan manufaktur aki accumulator yang beroperasi sejak tahun 2022. Sebagai perusahaan yang relatif baru, sebagian besar proses kerjanya masih bersifat manual dan menggunakan mesin mesin lama, kondisi yang berpotensi meningkatkan risiko keselamatan kerja di samping memengaruhi efisiensi produksi. Data kecelakaan kerja perusahaan periode 2022–2025 mencatat tujuh insiden pada tiga area produksi, yaitu *Wet Charge*, *Utility*, dan *Casting*. Area *Wet Charge* menyumbang proporsi tertinggi, yaitu 43% dari total insiden (tiga kejadian), dengan seluruh kejadian disebabkan oleh percikan *asam sulfat* (H_2SO_4) yang mengenai mata pekerja; area *Utility* dan *Casting* masing-masing menyumbang 28,5%.

Sejak tahun 2023 perusahaan telah menerapkan *Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control* (HIRADC) sebagai dasar pengendalian risiko. Namun, pendekatan tersebut bersifat kualitatif dan deskriptif sehingga penilaian tingkat keparahan dan probabilitas kejadian tidak dilakukan secara terukur, dan metode ini tidak dirancang untuk menelusuri hubungan sebab dan akibat antar kegagalan [2]. Indikasi kesenjangan tersebut terlihat pada insiden yang terjadi pada 4 Juli 2025 akibat kebocoran selang pompa suplai pada mesin *Acid filling* sebuah sumber bahaya yang tidak tercantum secara eksplisit dalam dokumen HIRADC yang disusun dua tahun sebelumnya. Dengan kata lain, dokumen HIRADC eksisting belum diperbarui mengikuti perubahan kondisi lapangan, termasuk pembaruan sebagian alat dan mesin, sehingga tingkat representasinya terhadap risiko aktual patut dipertanyakan.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengintegrasikan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). FMEA digunakan untuk menilai dan memprioritaskan mode kegagalan berdasarkan *Risk Priority Number* (RPN) [3], sedangkan FTA digunakan untuk menelusuri penyebab kecelakaan secara sistematis dari *top event* menuju akar penyebabnya [4]. Kombinasi kedua metode diharapkan memberikan pemetaan risiko yang lebih terukur dibandingkan pendekatan kualitatif semata, karena

FMEA memberikan basis prioritas sedangkan FTA memberikan basis penelusuran struktural. Perlu dicatat bahwa kombinasi ini tidak serta merta menghilangkan unsur subjektivitas penilaian, karena skor *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* tetap bergantung pada pertimbangan responden yang terlibat.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) menerapkan FMEA secara sistematis guna mengidentifikasi, menilai, dan memprioritaskan mode kegagalan pada area *Wet Charge*, dan (2) merumuskan rekomendasi pengendalian risiko melalui FTA terhadap mode kegagalan yang menjadi prioritas. Lingkup penelitian dibatasi pada aktivitas operasional di area *Wet Charge*, analisis FTA hanya dilakukan terhadap risiko yang teridentifikasi sebagai prioritas melalui diagram Pareto, dan usulan pengendalian risiko disajikan dalam bentuk rancangan konseptual tanpa spesifikasi dimensi teknis rinci.

II. KAJIAN TEORI

A. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan upaya perlindungan bagi tenaga kerja agar proses produksi berlangsung aman dan sumber daya dimanfaatkan secara bertanggung jawab [5]. Kecelakaan kerja tidak hanya menimbulkan kerugian langsung berupa cedera dan kerusakan fasilitas, tetapi juga kerugian tidak langsung berupa gangguan proses produksi. Di Indonesia, penerapan K3 diatur melalui Undang Undang Nomor 1 Tahun 1970, Undang Undang Nomor 13 Tahun 2003, dan Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3), yang mewajibkan penerapan SMK3 secara terencana dan terukur bagi perusahaan dengan jumlah pekerja atau tingkat bahaya tertentu.

B. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada suatu proses atau sistem dan mengevaluasi dampaknya [6]. Setiap mode kegagalan dinilai melalui tiga parameter, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), masing-masing pada skala 1–10, dengan *Risk Priority Number* dihitung sebagai $RPN = S \times O \times D$ [7]. Nilai RPN kemudian dikelompokkan ke dalam kategori risiko [8]

TABEL 2. 1
(RISK PRIORITY NUMBER (RPN))

Kategori *Risk Priority Number* (*RPN*)	
$RPN < 30$	Rendah
$30 \leq RPN \leq 60$	Sedang
$61 \leq RPN \leq 100$	Tinggi
$RPN \geq 101$	Sangat Tinggi

Metode RPN memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil: kombinasi nilai S, O, dan D yang berbeda dapat menghasilkan angka RPN yang sama, sehingga dua mode kegagalan dengan profil risiko yang sebenarnya berbeda misalnya satu dengan dampak sangat parah namun jarang terjadi, dan satu lagi dengan dampak ringan namun sering terjadi dapat memperoleh prioritas penanganan yang setara apabila hanya mengandalkan nilai RPN tunggal [7]. Rinoza dan Kurniawan [9] menekankan bahwa RPN yang lebih tinggi mengindikasikan rendahnya keandalan komponen, namun tetap menyarankan penilaian tambahan sebelum keputusan pengendalian diambil. Karena keterbatasan tersebut, hasil FMEA pada penelitian ini divisualisasikan melalui diagram Pareto sebagai pertimbangan tambahan dalam menetapkan prioritas, dan bukan semata mata mengandalkan urutan nilai RPN [10].

C. *Fault Tree Analysis (FTA)*

Fault Tree Analysis (FTA) adalah teknik analisis top down yang menelusuri penyebab suatu kejadian puncak (*top event*) hingga ke penyebab paling mendasar (*basic event*) melalui serangkaian kejadian antara (*intermediate event*) yang dihubungkan dengan gerbang logika AND dan OR [4]. Menurut Suryaningrum, dkk [11], kajian FTA meliputi identifikasi data, analisis sistem, penyusunan diagram dari *top event* ke *basic event*, penyesuaian diagram, estimasi probabilitas kejadian, dan penentuan prioritas penanganan. Pada penelitian ini, tahap estimasi probabilitas kuantitatif *basic event* tidak dilakukan karena keterbatasan data keandalan komponen (reliability data) di lapangan; FTA digunakan sebatas untuk memetakan struktur hubungan sebab akibat secara kualitatif. Keterbatasan ini konsisten dengan sejumlah studi terapan lain yang mengintegrasikan FMEA dan FTA pada konteks industri dengan ketersediaan data yang serupa [12], meskipun studi pada sistem dengan data keandalan yang lebih lengkap menunjukkan bahwa integrasi FTA FMEA dapat diperluas hingga estimasi probabilitas kuantitatif [13].

III. METODE

Penelitian ini merupakan studi kasus pada satu perusahaan manufaktur aki (PT XYZ) dengan fokus pada area kerja *Wet Charge*, yang dipilih berdasarkan proporsi kecelakaan tertinggi dan pola kejadian yang berulang pada data historis 2022–2025. Populasi penelitian mencakup seluruh pekerja pada area *Wet Charge*, yaitu satu leader dan dua anggota (tiga orang), ditambah HSE dan manajer produksi sebagai responden penilaian FMEA, sehingga total lima responden. Ukuran populasi yang kecil merupakan konsekuensi dari struktur organisasi area kerja yang memang ramping, namun hal ini turut membatasi keterwakilan statistik dari skor *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* yang dihasilkan.

Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan dan kuesioner kepada kelima responden untuk menilai keberadaan hazard serta memberikan skor S, O, dan D pada skala 1–10 mengikuti kriteria Chin dkk. [7]. Data sekunder diperoleh dari dokumen kecelakaan kerja, dokumen HIRADC perusahaan, dan Instruksi Kerja (SOP) proses *Acid filling* dan *Wet Charging*. Instrumen hazard awal disusun dari dua sumber dokumen HIRADC perusahaan dan kajian literatur kemudian divalidasi oleh kelima responden sebelum digunakan pada tahap penilaian FMEA.

Tahap pengolahan data terdiri atas dua metode yang diterapkan secara berurutan. Pertama, FMEA digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, menilai efek dan

penyebabnya, memberi skor S, O, dan D dari rata rata lima responden, menghitung $RPN = S \times O \times D$ lalu memvisualisasikan hasil melalui diagram Pareto untuk menetapkan prioritas berdasarkan kontribusi kumulatif. Kedua, FTA diterapkan terhadap risiko yang menjadi prioritas Pareto, dimulai dari penentuan *top event*, identifikasi *intermediate event*, identifikasi *basic event*, hingga perumusan usulan mitigasi berdasarkan hierarki pengendalian risiko.

Tahap verifikasi dilakukan untuk memastikan setiap tahapan FMEA dan FTA konsisten dengan kaidah metode yang digunakan. Tahap validasi hasil rancangan mitigasi dan konsep desain dilakukan melalui konsultasi dengan pihak HSE perusahaan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

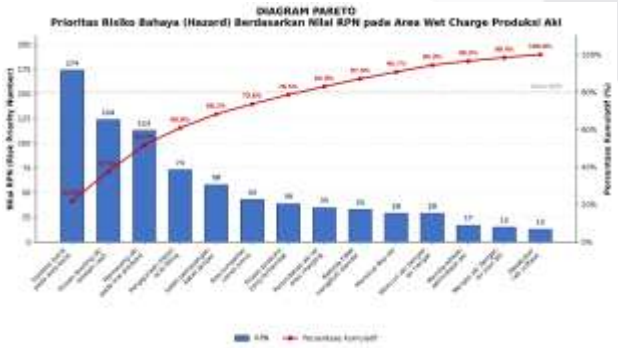
Bagian ini menyajikan hasil identifikasi bahaya, penilaian FMEA, penentuan prioritas melalui diagram Pareto, analisis FTA terhadap risiko prioritas, serta usulan mitigasi yang dirumuskan berdasarkan *basic event* yang teridentifikasi.

A. Identifikasi Bahaya dan Kesenjangan HIRADC

Perbandingan antara dokumen HIRADC eksisting dan kondisi aktual di lapangan menunjukkan adanya kesenjangan. Observasi lapangan mengidentifikasi tiga kondisi tambahan yang belum tercantum dalam HIRADC, yaitu permukaan lantai kerja yang bergelombang akibat paparan kimia, posisi instalasi kabel yang berada di jalur pekerja, dan proses pendinginan aki dengan air mengalir yang berdekatan dengan instalasi listrik. Melalui proses pengumpulan dan validasi hazard yang melibatkan kelima responden, diperoleh 14 kombinasi aktivitas/lokasi bahaya risiko yang menjadi dasar penilaian FMEA, sebagian bersumber dari dokumen HIRADC, sebagian dari kajian literatur, dan sebagian dari masukan langsung responden di lapangan.

B. Penilaian FMEA dan Prioritas Pareto

Penilaian FMEA terhadap 14 mode kegagalan, menggunakan skor rata rata dari lima responden, menghasilkan rentang RPN antara 13,44 hingga 173,89. Seluruh 14 nilai RPN tersebut kemudian divisualisasikan melalui diagram Pareto Gambar 4.1 untuk menentukan prioritas penanganan, tanpa memilah sebagian mode kegagalan saja, sebagaimana dijelaskan berikut.

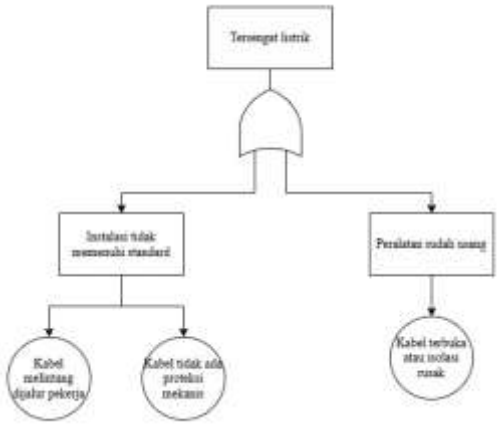


GAMBAR 4. 1
(DIAGRAM PARETO PRIORITAS RISIKO BERDASARKAN NILAI RPN)

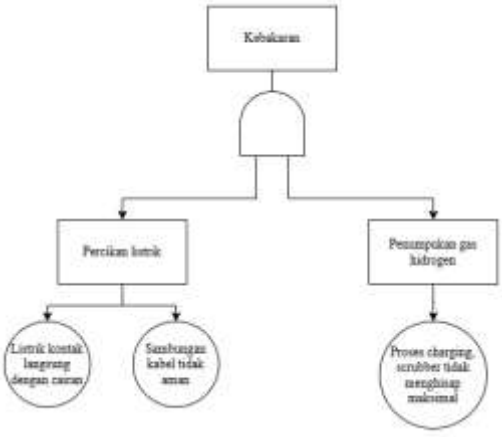
Kondisi instalasi listrik pada area kerja menempati prioritas tertinggi dengan RPN sebesar 173,89 kategori sangat tinggi, didorong terutama oleh nilai *Severity* yang tinggi 8,80 yang mencerminkan potensi dampak tersengat listrik dan kebakaran. Nilai ini turut dikuatkan oleh insiden riil yang telah tercatat dan oleh temuan observasi lapangan berupa kabel yang melintang di jalur pekerja tanpa proteksi mekanis. Mode kegagalan dengan RPN tertinggi berikutnya proses leveling aki setelah charging RPN 124,03 dan pemasangan aki pada line charging RPN 113,09 juga berkategori sangat tinggi, namun tidak dianalisis lebih lanjut pada tahap FTA karena penelitian ini membatasi analisis FTA hanya pada kontributor RPN kumulatif tertinggi berdasarkan diagram Pareto, sebagaimana dijelaskan berikut.

Diagram Pareto pada Gambar 4.1 menyajikan nilai RPN dari 14 mode kegagalan yang diurutkan dari yang tertinggi. Kondisi instalasi listrik pada area kerja berkontribusi sebesar 21,89% terhadap total RPN keseluruhan, melebihi ambang 20% yang menjadi acuan umum prinsip Pareto untuk kontributor tunggal dominan. Berdasarkan hasil ini, risiko yang bersumber dari instalasi listrik yang dapat bermanifestasi sebagai tersengat listrik atau kebakaran ditetapkan sebagai *top event* untuk analisis FTA pada tahap berikutnya.

C. *Fault Tree Analysis*



GAMBAR 4. 2
(FTA RISIKO TERSENGAT LISTRIK)



GAMBAR 4. 3
(FTA RISIKO KEBAKARAN)

Gambar 4.2 menyajikan hasil FTA untuk risiko tersengat listrik. Risiko ini dapat terjadi melalui dua *intermediate*

event, yaitu instalasi yang tidak memenuhi standar dan kondisi peralatan yang sudah usang. Instalasi yang tidak memenuhi standar diuraikan menjadi dua *basic event*: kabel yang melintang di jalur pekerja dan kabel tanpa proteksi mekanis, keduanya terkonfirmasi melalui observasi lapangan. Peralatan yang sudah usang diuraikan menjadi satu *basic event*, yaitu kabel terbuka atau isolasi rusak.

Gambar 4.3 menyajikan hasil FTA untuk risiko kebakaran, yang dapat terjadi melalui dua *intermediate event*, yaitu percikan listrik dan penumpukan gas hidrogen. Percikan listrik diuraikan menjadi dua *basic event*: kontak langsung listrik dengan cairan berkaitan dengan proses pendinginan aki menggunakan air mengalir yang berdekatan dengan konektor pengecasan dan sambungan kabel yang tidak aman. Penumpukan gas hidrogen diuraikan menjadi satu *basic event*, yaitu proses charging yang tidak dihisap secara maksimal oleh sistem *scrubber*. Gas hidrogen memiliki batas bawah konsentrasi ledakan sekitar 4% di udara [14], sehingga penumpukan gas tanpa penghisapan yang memadai merupakan kondisi berbahaya bila bertemu dengan sumber percikan listrik.

Kedua diagram FTA secara keseluruhan menghasilkan enam *basic event* sebagai akar penyebab, tiga untuk masing-masing risiko. Perlu digarisbawahi bahwa penelitian ini tidak melakukan kuantifikasi probabilitas kegagalan pada tiap *basic event* karena keterbatasan data reliabilitas komponen kelistrikan di lapangan; analisis FTA yang disajikan bersifat kualitatif struktural, bukan estimasi probabilitas *top event* secara numerik. Konsekuensinya, urutan penting relatif antar *basic event* dalam laporan ini didasarkan pada penilaian kualitatif observasi lapangan, bukan pada perhitungan minimal cut set atau nilai probabilitas gabungan.

D. Usulan Mitigasi dan Rancangan Konseptual

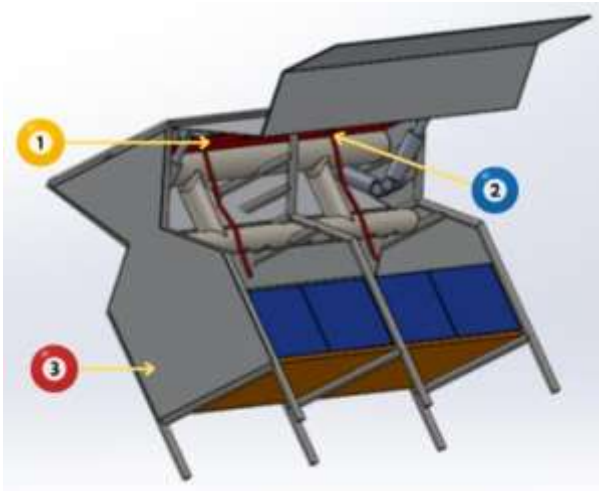
Tabel I merangkum usulan mitigasi untuk keenam *basic event*, disusun berdasarkan hierarki pengendalian risiko. Lima dari enam usulan tergolong *Engineering Control*, sedangkan satu usulan inspeksi rutin sambungan listrik dan area *water bath* tergolong *Administrative Control* karena keterbatasan untuk sepenuhnya mengeliminasi kontak antara air dan komponen kelistrikan pada desain eksisting.

TABEL 4. 1
(USULAN MITIGASI BERDASARKAN *BASIC EVENT)*

No	*Basic event*	Usulan Mitigasi	Kategori
1	Kabel melintang di jalur pekerja	Penataan kabel menggunakan *cable tray*	*Engineering*
2	Kabel tanpa proteksi mekanis	Perlindungan kabel menggunakan *conduit*	*Engineering*
3	Kabel terbuka / isolasi rusak	Inspeksi rutin dan penggantian kabel	*Engineering*
4	Kontak langsung listrik dengan cairan	Inspeksi rutin koneksi listrik dan area water bath	*Administrative*
5	Sambungan kabel tidak aman	Sambungan sesuai standar pada junction box	*Engineering*
6	*Scrubber* tidak menghisap maksimal	Penutup mesin terintegrasi sistem *scrubber*	*Engineering*

Tiga usulan *Engineering Control* penataan kabel menggunakan *cable tray*, perlindungan mekanis kabel menggunakan *conduit*, dan penutup mesin yang terintegrasi dengan sistem *scrubber* eksisting divisualisasikan dalam bentuk rancangan konseptual pada Gambar 4.4 Rancangan ini menambahkan komponen pengendalian pada struktur mesin *Wet Charge* yang sudah ada tanpa mengubah konstruksi utamanya, dengan pertimbangan efisiensi biaya implementasi dibandingkan penggantian mesin secara keseluruhan. Sebagai catatan penting, rancangan ini bersifat konseptual: dimensi komponen, spesifikasi material yang tahan terhadap lingkungan asam, serta pengujian ergonomis dan efektivitas penghisapan gas belum ditentukan. Keterbatasan ini juga menjadi catatan eksplisit dari narasumber HSE pada tahap validasi, yang merekomendasikan penambahan spesifikasi material dan dimensi pada kajian teknis lanjutan.

Validasi terhadap struktur FTA dan rancangan mitigasi menunjukkan kesesuaian antara *top event*, *basic event*, dan usulan pengendalian yang diajukan; setiap *basic event* pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 memperoleh usulan mitigasi yang secara langsung menyasar penyebabnya. Meskipun demikian, validasi ini tidak menggantikan pengujian teknis atau simulasi efektivitas penghisapan gas hidrogen oleh sistem *scrubber* pada kondisi beban kerja nyata, sehingga klaim penurunan risiko pada tahap ini bersifat konseptual dan belum terukur secara kuantitatif.



GAMBAR 4. 4
(RANCANGAN KONSEPTUAL MESIN *WET CHARGE* DENGAN TIGA USULAN *ENGINEERING CONTROL* YANG TERINTEGRASI)

Ketiga komponen pada Gambar 4.4 tidak berdiri sendiri sendiri, melainkan ditambahkan sekaligus pada satu unit mesin *Wet Charge* yang sama. Komponen satu dan dua menjawab *basic event* yang berkaitan dengan risiko tersengat listrik, yaitu kabel yang melintang di jalur pekerja dan kabel tanpa proteksi mekanis, sedangkan komponen tiga menjawab *basic event* penumpukan gas hidrogen akibat penghisapan *scrubber* yang tidak maksimal pada risiko kebakaran. Dengan demikian, satu rancangan mesin yang sama merepresentasikan penyelesaian atas kedua risiko yang dianalisis melalui FTA.



GAMBAR 4. 5
(KONDISI AKTUAL AREA *WET CHARGE* SEBAGAI KONTEKS RANCANGAN MITIGASI)

V. KESIMPULAN

Penerapan FMEA terhadap 14 mode kegagalan pada area *Wet Charge* PT XYZ menghasilkan kondisi instalasi listrik sebagai prioritas risiko tertinggi, dengan RPN sebesar 173,89 dan kontribusi 21,89% terhadap total RPN berdasarkan diagram Pareto. Analisis FTA terhadap risiko tersengat listrik dan kebakaran yang bersumber dari kondisi tersebut mengidentifikasi enam *basic event*, yaitu kabel yang melintang di jalur pekerja, kabel tanpa proteksi mekanis, kabel terbuka atau isolasi rusak, kontak langsung listrik dengan cairan, sambungan kabel yang tidak aman, dan penghisapan gas hidrogen yang tidak maksimal oleh sistem *scrubber*. Berdasarkan keenam *basic event* tersebut, dirumuskan usulan mitigasi berupa penataan kabel menggunakan *cable tray*, perlindungan mekanis kabel menggunakan *conduit*, penutup mesin yang terintegrasi dengan sistem *scrubber* eksisting, dan inspeksi rutin sambungan listrik, yang tiga di antaranya divisualisasikan sebagai rancangan konseptual pada mesin *Wet Charge* tanpa mengubah konstruksi utamanya. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi FMEA dan FTA dapat memberikan basis penilaian risiko yang lebih terukur dan terstruktur dibandingkan pendekatan HIRADC kualitatif yang selama ini diterapkan perusahaan,

REFERENSI

[1] A. Fadilah and C. K. Herbawani, “Analisis Faktor Risiko Terjadinya Kecelakaan Kerja dengan Menggunakan HIRARC sebagai Tolak Ukur: Literatur Review,” *MEDIA KESEHATAN MASYARAKAT INDONESIA*, vol. 21, no. 4, pp. 292–296, Aug. 2022, doi: 10.14710/mkmi.21.4.292 296.

[2] D. Chaterina, U. Gultom, I. Adam, and T. Sukwika, “Journal of Applied Management Research Risk Assessment of Occupational Health and Safety in Lifting Operations Using the HIRADC Method: A Case Study in Oil and Gas Construction,” *Journal of Applied Management Research*, vol. 5, no. 1, 2025, doi: 10.36441/jamr.

[3] N. L. Rizqi, S. Utoyo, and S. S. Riskijah, “EVALUASI PELAKSANAAN K3 PROYEK JALAN TOL SERANG PANIMBANG SEKSI 2 DENGAN METODE FMEA, FTA DAN DOMINO,” 2024. [Online]. Available: http://josmrk.polinema.ac.id/

[4] M. Nur, M. Harahap, and A. Fiatno, “wahyuniamalia,+M.Nur+2,” 2019.

[5] F. Muhammad Azhari, W. Oetomo, Sajiyo, and L. Djoko Nugroho, “JSpTS (Jurnal Spesialis Teknik Sipil),” 2024.

[6] A. Zuniawan, “A Systematic Literature Review of *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) Implementation in Industries,” 2020. [Online]. Available: http://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/ijiem

[7] K. S. Chin, Y. M. Wang, G. Ka Kwai Poon, and J. B. Yang, “Failure mode and effects analysis using a group based evidential reasoning approach,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 36, no. 6, pp. 1768–1779, Jun. 2009, doi: 10.1016/j.cor.2008.05.002.

[8] A. M. Azzahra, “Penilaian Risiko menggunakan Metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) terkait Kontaminasi Silang pada Area Pengemasan di Industri Farmasi ‘XYZ,’” *OBAT: Jurnal Riset Ilmu Farmasi dan Kesehatan*, vol. 2, no. 5, pp. 01–11, Jul. 2024, doi: 10.61132/obat.v2i5.600.

[9] M. Rinoza and F. Ahmad Kurniawan, “ANALISA RPN (*RISK PRIORITY NUMBER*) TERHADAP KEANDALAN KOMPONEN MESIN KOMPRESORDOUBLE SCREW MENGGUNAKAN METODE FMEA DI PABRIK SEMEN PT. XYZ,” Online, 2021.

[10] E. Mulyati and A. Zahradika, “ANALISIS PENYEBAB DEAD STOCK SPAREPART KAPAL MENGGUNAKAN METODE DMAIC DI PT. ASDP INDONESIA FERRY (PERSERO) PADA DIVISI SUPPLY CHAIN MANAGEMENT,” *Jurnal Logistik Bisnis*, vol. 12, no. 01, 2022, [Online]. Available: https://ejurnal.poltekpos.ac.id/index.php/logistik/

[11] A. Suryaningrum, H. Rudianto, A. Mahmudi, and E. Prasetyo, “Analisis Faktor Penyebab Keterlambatan Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (Studi Kasus Pembangunan Office Headquarter Surabaya),” *INTER TECH*, vol. 2, no. 1, pp. 18–29, May 2024, doi: 10.54732/i.v2i1.1104.

[12] R. A. Banuwati, H. Chandra, and A. F. Dimyati, “Analisis Safety Risk Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan Failure Mode and Effect,” 2025.

[13] M. Shafiee, E. Enjema, and A. Kolios, “An integrated FTA FMEA model for risk analysis of engineering systems: A case study of subsea blowout preventers,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 6, 2019, doi: 10.3390/app9061192.

[14] J. Jeon and S. J. Kim, “Recent progress in hydrogen flammability prediction for the safe energy systems,” *Energies (Basel).*, vol. 13, no. 23, Dec. 2020, doi: 10.3390/en13236263.