



## ***Valuation and Action Recommendations on the Control Panel of PT Bukaka Teknik Utama Duri's Pumping Unit Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)***

### **Valuasi dan Rekomendasi Tindakan Pada Panel Kontrol Pumping Unit PT Bukaka Teknik Utama Site Duri Menggunakan Failure Mode and Effect Analysis(FMEA)**

**Putut Son Maria<sup>1\*</sup>, Alif Mir'atul Ansyari<sup>2</sup>, Elva Susianti<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Syarif Kasim Riau, Indonesia

<sup>3</sup>Teknologi Rekayasa Sistem Elektronik, Politeknik Caltex Riau, Indonesia

Koresponden E-Mail: [1putut.son@uin-suska.ac.id](mailto:1putut.son@uin-suska.ac.id)

*Makalah: Diterima 19 December 2025; Diperbaiki 26 December 2025; Disetujui 31 December 2025*

*Corresponding Author: Putut Son Maria*

#### **Abstrak**

PT Bukaka Teknik Utama Site Duri adalah perusahaan yang bergerak di bidang peralatan minyak dan gas dan bekerja sama dengan PT Chevron Pacific Indonesia dalam pengelolaan *pumping unit* tipe *sucker rod pump* untuk proses ekstraksi minyak mentah. *Pumping unit* digerakkan oleh motor listrik berdaya 75 HP yang dikendalikan dan dimonitor melalui panel kontrol. Panel kontrol memiliki peran penting dalam menjaga keandalan dan keselamatan operasi karena dilengkapi dengan berbagai komponen proteksi, seperti *overload*, *overvoltage*, *overcurrent*, dan *thermal protection*. Namun, berdasarkan data operasional, masih terjadi kegagalan fungsi panel kontrol yang menyebabkan terhentinya operasi pompa dan tidak tercapainya target produksi minyak harian serta meningkatkan risiko kerusakan pada motor penggerak. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan valuasi risiko dan memberikan rekomendasi tindakan perbaikan pada panel kontrol *pumping unit* menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa komponen *contactor* dan *overvoltage* memiliki tingkat risiko tertinggi, sedangkan fuse dan MCB memiliki tingkat risiko terendah. Rekomendasi tindakan yang diberikan adalah meliputi penggantian komponen dan/atau penggantian dengan spesifikasi yang lebih tinggi, sedangkan rekomendasi penerapan tindakan preventif seperti perbaikan sistem *grounding* dan penambahan proteksi terhadap kelembaban dan debu. Implementasi rekomendasi ini diharapkan dapat menurunkan tingkat kegagalan operasi dan meningkatkan keandalan panel kontrol pada masa operasional berikutnya.

Kata kunci: Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), panel kontrol, pumping unit, manajemen risiko, keandalan sistem.

#### **Abstract**

PT Bukaka Teknik Utama Site Duri is a company engaged in the oil and gas equipment sector and collaborates with PT Chevron Pacific Indonesia in managing sucker rod pump type pumping units for crude oil extraction processes. The pumping units are powered by 75 HP electric motors that are controlled and monitored through a control panel. The control panel plays an important role in maintaining operational reliability and safety as it is equipped with various protection components, such as *overload*, *over voltage*, *over current*, and *thermal protection*. However, based on operational data, there are still control panel malfunctions that cause pump operations to stop and daily oil production targets to not be achieved, as well as increasing the risk of damage to the drive motor. This study aims to conduct a risk assessment and provide recommendations for improvements to the pumping unit control panel using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. The FMEA analysis results show that the *contactor* and *overvoltage* components have the highest risk levels, while the fuse and MCB have the lowest risk levels. The recommended actions include replacing components with higher specifications and implementing preventive measures such as repairing the grounding system and adding protection against moisture and dust. The implementation of these recommendations is expected to reduce the failure rate and improve the reliability of the control panel in the next operational period.

Keyword: Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), control panel, pumping unit, risk management, system reliability.

## 1. Pendahuluan

PT. Bukaka Teknik Utama Site Duri(anak perusahaan PT Bukaka Teknik Utama berpusat di Bogor) yang bergerak di bidang *Gas and Oil Equipment*, dalam operasinya di Duri bekerja sama dengan PT. Chevron Pacific Indonesia, mengelola pumping unit tipe *sucker rod pump* untuk mengekstraksi minyak mentah. *Pumping unit* merupakan perangkat yang berfungsi sebagai alat bantu dalam proses pengangkatan minyak mentah dari dalam perut bumi ke permukaan dengan prinsip kerja turun naik[1]. Disaat *pumping unit* bergerak naik atau turun, maka akan selalu terjadi proses pengisapan minyak mentah. Penggerak utama pompa adalah motor dengan daya 75 HP yang dikendalikan dan dimonitor melalui panel kontrol. Panel kontrol adalah perangkat sistem kendali yang penting untuk mendukung keamanan dan keselamatan motor, di dalamnya terdapat komponen-komponen untuk proteksi *overload*, *overvoltage*, *overcurrent*, *space heater*, *thermal overload* dan *overheat indicator*.

Catatan data menunjukkan bahwa beberapa kali terjadi kegagalan fungsi pada panel kontrol yang mengakibatkan operasional pompa menjadi terganggu dan terhenti, dan berimbas pada tidak tercapainya target produksi minyak harian. Efek lain dari kegagalan fungsi panel kontrol juga menambah risiko kerusakan pada motor penggerak sehingga umur pakainya menjadi lebih singkat. PT Bukaka Teknik Utama Tbk memiliki unit produksi sebanyak 206 unit pumping unit sepanjang tahun 2023 dengan pendapatan dari layanan pemeliharaan mencapai sekitar Rp 89,5 miliar. Jika pendapatan dirata-rata maka nilai kontribusinya sekitar Rp 245 juta per hari, atau sekitar Rp 1,71 miliar per minggu atau ekivalen sekitar Rp 7,46 miliar per bulan. Nominal tersebut hanya mencerminkan pendapatan dari layanan pemeliharaan, belum termasuk penjualan unit atau kontribusi terhadap produksi minyak. Meski tidak disebutkan secara langsung dalam laporan kerugian akibat kegagalan (*failure*) satu pumping unit dapat diperkirakan melalui potensi produksi minyak yang hilang. Jika satu unit mampu memompa sekitar 200 barel minyak per hari dengan asumsi harga minyak US \$80 per barel dan kurs Rp16.000/USD, maka potensi kerugian per hari bisa mencapai Rp 256 juta. Nilai dari potensi kerugian akibat kegagalan satu unit per hari dapat menyamai atau bahkan melampaui pendapatan jasa pemeliharaan hariannya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan valuasi dan rekomendasi tindakan terhadap panel kontrol pada pumping unit PT Bukaka Teknik Utama Site Duri sehingga tingkat kejadian kegagalan operasi atau kegagalan fungsi peralatan dapat direduksi[2,3], selain itu juga dapat digunakan sebagai mitigasi resiko signifikan[4-6] pada periode kerja di masa yang akan datang.

## 2. Metode dan Materi

Data kuantitatif yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari catatan PT Bukaka Teknik Utama Site Duri selama rentang periode Januari 2022 sampai Desember 2025. Data telah diverifikasi dan mendapatkan persetujuan untuk digunakan dalam penulisan artikel. Dalam penelitian ini juga merekap data kualitatif dalam bentuk pernyataan dari teknisi dan engineer terkait dengan kondisi, jumlah dan tindakan yang menjadi prosedur standar yang dilaksanakan oleh perusahaan, hal ini penting untuk memastikan bahwa alur kerja dan tahap yang diperlukan untuk menggunakan metode FMEA telah memenuhi syarat secara teknis dan administratif[7].

Valuasi yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis*(FMEA) yaitu metode perhitungan yang didasarkan pada penyebab kegagalan, jenis kegagalan dan efek lanjutannya. Metode FMEA menggunakan pendekatan secara *bottom-up* dan dapat dilaksanakan dimulai dari rekam data pada masing-masing komponen secara parsial. FMEA berbeda dalam hal pendekatan metode *top-down* lain seperti pada FMECA(*Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis*), RCM(*Reliability-Centered Maintenance*) dan FTA(*Fault Tree Analysis*)[8][9], selain itu juga berbeda dari orientasi hasil dan kesesuaian penerapan terhadap kompleksitas skala sistem yang akan divalusi. Berdasarkan beberapa parameter seperti fokus identifikasi, hasil dari metode, pendekatan metode, dan kesesuaian terhadap tingkat kompleksitas sistem, maka FMEA adalah metode yang paling sesuai untuk digunakan dalam penelitian ini dibandingkan dengan FMECA, RCM dan FTA[8].

Data yang diperlukan untuk diolah dalam instrumen FMEA adalah tingkat keparahan(*severity*), frekuensi kejadian(*occurrence*) dan probabilitas kegagalan yang dapat dideteksi(*detection*)[3][10]. Setiap komponen dalam sistem yang akan divalusi harus ada catatan datanya untuk tiga indikator di atas agar dapat dihitung level prioritasnya(*risk priority number*).

**Tabel 1.** Skoring untuk indikator tingkat keparahan(*Severity*)

Dampak	Kriteria keparahan	Skor
Bahaya, kegagalan terjadi tanpa ada peringatan	Tidak sesuai dengan peraturan pemerintah; Menghentikan pengoperasian sistem produksi atau layanan jasa	10
Serius, kegagalan terjadi dengan peringatan	Tidak sesuai dengan peraturan pemerintah; Menghasilkan produk atau hasil jasa yang membahayakan konsumen	9

Ekstrim	Mengganggu kelancaran sistem produksi atau layanan jasa; Produk tidak dapat dioperasikan atau hasil jasa sangat tidak memuaskan	8
Mayor	Sedikit mengganggu kelancaran proses produksi atau layanan jasa; Kriteria produk tidak sempurna tetapi masih bisa difungsikan atau hasil jasa tidak cukup memuaskan tetapi masih bisa diterima konsumen	7
signifikan	Kinerja produk menurun karena beberapa fungsi tertentu mungkin tidak beroperasi atau Kinerja hasil jasa menurun karena fungsi kenyamanan tidak terpenuhi	6
Sedang	Kinerja produk atau hasil jasa menurun tetapi masih bisa diperbaiki	5
Rendah	Kinerja produk atau hasil jasa menurun tetapi tidak memerlukan perbaikan	4
Kecil	Dampak kecil terhadap sistem produksi atau layanan jasa atau kinerja produk atau hasil jasa- masih ada keluhan dari beberapa konsumen	3
Sangat kecil	Dampak sangat kecil terhadap sistem produksi atau layanan jasa atau kinerja produk atau hasil jasa masih ada keluhan hanya dari konsumen tertentu	2
Tidak ada dampak	Tidak ada dampak terhadap sistem produksi atau layanan jasa maupun produk atau hasil jasa	1

**Tabel 2.** Skoring untuk indikator tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan(*Occurrence*)

Peluang terjadi kegagalan	Tingkat kemungkinan kegagalan	Skor
Sangat tinggi dan ekstrim; kegagalan hampir tidak terhindarkan	1 dari 10	10
Sangat tinggi; kegagalan berhubungan dengan proses yang gagal sebelumnya	1 dari 3	9
Tinggi; kegagalan terus berulang	1 dari 8	8
Relatif tinggi	1 dari 20	7
Sedang cenderung tinggi	1 dari 80	6
Sedang	1 dari 400	5
Relatif rendah	1 dari 2000	4
Rendah	1 dari 15000	3
Sangat rendah	1 dari 150000	2
Hampir tidak mungkin terjadi kegagalan	1 dari 1500000	1

**Tabel 3.** Skoring untuk indikator tingkat kemungkinan kegagalan deteksi(*Detection*)

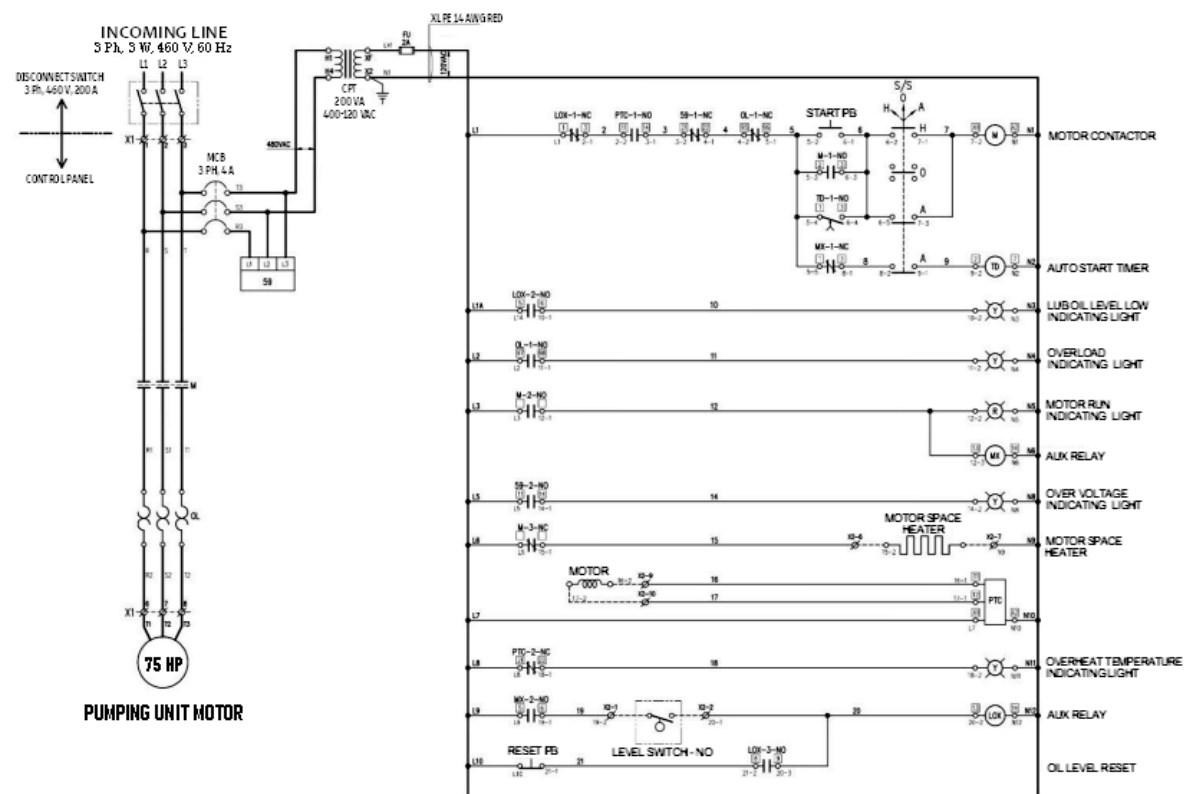
Kemungkinan kegagalan terdeteksi	Kriteria berdasarkan rancangan pengendalian saat ini	Skor
Hampir mustahil	Tidak ada kendali untuk mendeteksi potensi kegagalan	10
Sangat kecil	Terdapat sangat sedikit kendali untuk mendeteksi potensi kegagalan	9
Kecil	Terdapat sedikit kendali untuk mendeteksi potensi kegagalan	8
Sangat rendah	Terdapat kendali tetapi sangat rendah kemampuannya untuk mendeteksi potensi kegagalan	7
Rendah	Terdapat kendali tetapi rendah kemampuannya untuk mendeteksi potensi kegagalan	6
Sedang	Terdapat kendali yang memiliki kemampuan sedang/cukup untuk mendeteksi potensi kegagalan	5
Agak Tinggi	Terdapat kendali yang memiliki kemampuan sedang cenderung tinggi untuk mendeteksi potensi kegagalan	4
Tinggi	Terdapat kendali yang memiliki kemampuan tinggi untuk mendeteksi potensi kegagalan	3
Sangat tinggi	Terdapat kendali yang memiliki kemampuan sangat tinggi untuk mendeteksi potensi kegagalan	2
Hampir pasti	Kendali hampir pasti dapat mendeteksi potensi kegagalan	1

Penskoran nilai tingkat keparahan(*severity*), *occurrence* dan *detection* ditetapkan berdasarkan standar FMEA seperti pada Tabel 1, 2 dan 3[12]. Skor yang diberikan pada setiap komponen tidak hanya bergantung menggunakan catatan data tetapi juga berdasarkan justifikasi dari teknisi atau kepala divisi yang bertanggung jawab menangani komponen atau perangkat, jadi peran penting dari tenaga ahli di lapangan mutlak diperlukan dalam pengisian tabulasi setiap komponen.

Diagram pengkabelan panel kontrol yang menjadi obyek penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Penggerak utama berupa Motor yang membutuhkan sumber daya listrik tiga fase dengan tegangan 460V dan frekuensi 60Hz. Sebagai langkah pengamanan awal, digunakan *Disconnect Switch* berkapasitas 200A

sebagai pemutus utama, serta *Miniature Circuit Breaker* (MCB) tiga fase yang berfungsi melindungi rangkaian sebelum masuk ke sistem kontrol. Motor yang digunakan memiliki daya 75 HP, yang dioperasikan melalui *Magnetic Contactor* (MC) serta dilengkapi dengan *overload relay* (OL) untuk mencegah kerusakan akibat beban berlebih. Motor dalam sistem ini dapat dioperasikan secara manual menggunakan tombol tekan (*push button*) Start untuk menyalakan motor dan tombol Stop untuk mematikannya. Selain itu, terdapat *Auto Start Timer* yang memungkinkan motor menyala secara otomatis setelah kondisi tertentu terpenuhi. Sistem ini juga dilengkapi dengan relay tambahan (*auxiliary relay*) yang berfungsi sebagai pendukung dalam operasi dan proteksi motor. Komponen keandalan dan keselamatan operasional, panel kontrol ini dilengkapi dengan berbagai lampu indikator yang menunjukkan status sistem. Beberapa di antaranya adalah indikator level oli pelumas rendah, indikator beban lebih, indikator motor beroperasi, indikator tegangan lebih, dan indikator suhu berlebih. Selain itu, sistem ini juga memiliki *space heater* yang berperan dalam mencegah kelembaban di dalam control panel untuk meminimalkan[11] resiko kerusakan komponen listrik karena faktor cuaca. Panel kontrol ini juga dilengkapi dengan beberapa sensor dan perlindungan tambahan, seperti *Level Switch* yang mendeteksi level oli pelumas, *Over voltage Relay* untuk melindungi sistem dari lonjakan tegangan, serta *Thermistor Protection* yang berfungsi memonitor suhu motor agar tidak mengalami panas berlebih (*overheating*).

Diagram pengkabelan panel kontrol ditunjukkan pada Gambar 1, terdapat 10 komponen yang krusial untuk dilakukan valuasinya yaitu : *pilot lamp*, *relay*, *contactor*, *fuse*, PTC(positive temperature coefficient), *overvoltage*, *transformator*, TDR(time delay relay), thermal over load relay(TOLR) dan mini circuit breaker(MCB). Masing-masing dari 10 komponen tersebut nantinya akan disusun tabulasi datanya berdasarkan parameter *severity*(S), *Occurrence*(O) dan *detection*(D) pada *worksheet* FMEA, kemudian dihitung nilai RPN-nya(*risk priority number*) untuk mengetahui rangking prioritasnya. Standar ambang batas yang digunakan untuk penentuan kategori tingkat kegagalan mengacu pada standar ISO 31010[12-15].



Gambar 1. Diagram Pengkabelan[16]

### 3. Hasil dan Diskusi

Tabel 4 menunjukkan tabulasi data dari masing-masing komponen yang terdapat dalam kontrol panel *pumping unit*. Berdasarkan nilai *Occurrence* yang tercatat diketahui bahwa semua komponen rata-rata mengalami kegagalan fungsi sebanyak 2 sampai 3 kali selama periode operasi, hal ini menunjukkan bahwa komponen dalam panel kontrol telah beroperasi dengan pembebanan yang relatif merata, sehingga tingkat keausan yang terjadi merata dan sepadan dengan *lifetime* dari komponen. Berdasarkan peringkat nilai RPN maka dapat disusun tabel interpretasi risiko seperti pada Tabel 5. Rangkaian prioritas komponen berurutan mulai dari komponen Contactor, Over voltage dan Pilot lamp. Tiga komponen tersebut perlu mendapatkan

perhatian lebih intensif karena efek risiko yang paling kritis, berbahaya dan dapat merusak sistem. Data yang diperoleh menunjukkan klasifikasi komponen menjadi 3 kelompok risiko yaitu komponen peringkat kritis (Contactor dan Over voltage), komponen dengan dampak besar seperti Transformator[17] dan komponen risiko rendah(fuse dan MCB).

**Tabel 4.** *Worksheet FMEA*

Komponen	Severity	Occurence	Detection	RPN
Pilot Lamp	6	3	6	108
Relay	6	3	5	90
Contactor	8	3	5	120
Fuse	8	2	4	64
PTC	6	2	6	72
Over voltage	8	2	7	112
Transformator	9	2	5	90
TDR	6	3	5	90
TOLR	7	2	6	84
MCB	7	2	5	70

**Tabel 5.** Peringkat interpretasi risiko

Peringkat	Komponen	RPN	Interpretasi risiko
1	Contactor	120	Risiko paling kritis, dampak besar dan sulit terdeteksi
2	Over Voltage	112	Sangat berbahaya, dapat merusak sistem
3	Pilot Lamp	108	Dampak sedang namun deteksi lemah
4	Relay	90	Risiko menengah
5	Transformator	90	Dampak sangat besar namun jarang terjadi
6	TDR	90	Risiko menengah
7	TOLR	84	Risiko cukup signifikan
8	PTC	72	Risiko relatif rendah
9	MCB	70	Risiko rendah
10	Fuse	64	Risiko paling rendah

Rekomendasi tindakan untuk setiap komponen yang dapat dilakukan dengan mengacu pada metode FMEA dapat diuraikan sebagai berikut :

Rekomendasi tindakan penggantian pada komponen dengan RPN lebih dari 100 yaitu : Contactor, Over voltage dan Pilot lamp. Tindakan preventive dapat dilakukan untuk komponen Contactor dan Overvoltage dengan catatan perlu dilakukan pemeriksaan keausan dan percikan(arc) pada kontak, termasuk pembersihan dan pengecekan kontak. Tindakan korektif lain yang dapat dilakukan adalah menggunakan Contactor dengan rating arus yang senilai atau lebih tinggi. Percikan listrik dan kontak kotor pada Contactor mengakibatkan permukaan kontak menjadi tidak rata dan menambah resistansi pada saat terjadi transisi off ke on dan sebaliknya.

Pada komponen Over voltage direkomendasikan pemasangan surge protector (SPD) dan pemasangan grounding system yang baik dan kokoh, selain itu tindakan preventif dapat dilakukan dengan cara pemeriksaan tegangan secara berkala atau penggantian modul proteksi tegangan. Komponen Pilot lamp walaupun hanya sebagai indikator tetapi perannya penting, sehingga direkomendasikan untuk menggunakan pilot lamp jenis LED atau menambahkan pengkabelan jalur cadangan atau alarm. Pada komponen Relay mirip dengan jenis tindakan pada kontaktor dimana kontak relay rentan terhadap debu dan kelembaban, sehingga tindakan preventif[18] seperti penambahan pengaman terhadap debu dan menggantinya jika umur pakai sudah mendekati maksimal. Komponen transformator direkomendasikan untuk menambahkan sistem monitoring suhu dan pendeteksian sudara yang abnormal, selain itu memastikan ventilasi pendinginan sudah memadai. Untuk operasi jangka panjang direkomendasikan uji isolasi secara berkala. Untuk komponen TDR, TOLR dan MCB yang direkomendasikan adalah melakukan kalibrasi waktu kerja secara berkala, memastikan setting waktu sesuai kebutuhan sistem, serta melindungi TDR dari getaran dan kelembaban, menyesuaikan setting arus dengan beban motor, melakukan uji trip secara berkala, membersihkan debu, dan memastikan mekanisme reset berfungsi dengan baik, memastikan rating arus dan kurva trip sesuai, mengencangkan terminal, serta mengganti MCB yang sudah aus.

Metode FMEA yang digunakan dalam penelitian ini memiliki keterbatasan dalam tiga hal yaitu FMEA tidak menganalisis kegagalan simultan (hanya satu per satu), tidak secara langsung mengukur probabilitas matematis (kuantitatif), dan hanya fokus pada identifikasi risiko tanpa memberikan solusi pemeliharaan yang terstruktur seperti RCM atau analisis akar penyebab mendalam seperti FTA. Fokus tunggal pada setiap

komponen dilakukan pada setiap mode kegagalan secara terpisah (satu per satu), tidak melihat bagaimana beberapa kegagalan berinteraksi (kombinasi). Penilaian risiko (RPN) bersifat subjektif dan kualitatif, kurang dalam analisis kuantitatif probabilitas matematis kegagalan sistem. Identifikasi risiko yang dilakukan hanya mengidentifikasi potensi kegagalan dan dampaknya, tidak secara langsung menentukan strategi pemeliharaan atau analisis akar penyebab yang komprehensif.

#### 4. Kesimpulan

Panel kontrol untuk pumping unit di PT Bukaka Teknik Utama Site Duri telah bekerja secara baik, dengan beberapa gangguan yang terjadi yang mengakibatkan kegagalan operasi pada beberapa komponen, maka tindakan perawatan dan penggantian adalah tindakan yang dapat direkomendasikan untuk dilakukan. Tabulasi FMEA yang telah disusun menunjukkan bahwa komponen *Contactora* dan *Overvoltage* merupakan komponen dengan efek risiko terbesar, semetara *Fuse* dan MCB adalah komponen dengan efek risiko paling rendah. Tindakan yang direkomendasikan berdasarkan efek risikonya adalah dengan tindakan penggantian komponen atau menggunakan komponen dengan spesifikasi yang lebih tinggi. Tindakan preventif yang direkomendasikan untuk sistem adalah penambahan *grounding* yang baik dan penambahan pengamanan terhadap kelembaban dan debu. Komponen dengan efek risiko kecil seperti *Pilot lamp* direkomendasikan untuk ditambahkan cadangan atau menggunakan jenis lampu LED.

#### Referensi

- [1] W. Weriono, S. Syafar, Rinaldi, and A. Isra, "Pengaruh Counterweight Pada Sistem Pompa Angguk," *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 7, no. 2, pp. 168–176, 2023.
- [2] G. P. Setiawan *et al.*, "Analisis Keandalan Integrated Electric Pneumatic Pump Pada Bus Listrik Menengah Menggunakan Reliability Block Diagram dan Fault Tree Analysis," *J. Tek. Mesin SI*, vol. 13, no. 3, pp. 65–70, 2025.
- [3] F.- Manta, H. D. Haryono, and R.- Ardani, "Analisa Tingkat Resiko pada Komponen Pembangkit Listrik di Kota Balikpapan Dengan Metode FMEA," *JST (Jurnal Sains Ter.)*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [4] D. N. Jannah and S. Dewi, "Analisis Manajemen Risiko Prioritas dan Strategi Pengelolaan Sewa Aset menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis ( Fmea ): Studi Kasus Perusahaan Galangan Kapal," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, no. 6, pp. 4264–4280, 2024.
- [5] D. Ramadhan, F. Naia, P. Rustandi, C. Maulana, and U. P. Bangsa, "Penerapan Failure Mode and Effect Analysis ( FMEA ) Untuk Mengidentifikasi Risiko Proses Manufaktur Terminal Listrik : Studi Literatur Pada Industri," *J. Stud. Multidisipliner*, vol. 9, no. 7, pp. 96–104, 2025.
- [6] R. A. S, J. Jufrizel, P. S. Maria, and H. Zarory, "Analisa Keandalan Instrumentasi Boiler Feed Pump Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) di PT.PLN Nusantara Power UP Tenayan," *J. Al-AZHAR Indones. SERI SAINS DAN Teknol.*, vol. 9, no. 3, p. 276, 2024.
- [7] Anisa Ramadhani and T. H. Nufus, "Evaluasi Sistem PLTS Grid-Connected 21.60 kWp di Politeknik Negeri Jakarta Dengan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA)," *J. Mek. Terap.*, vol. 5, no. 2, pp. 103–112, 2024.
- [8] R. Y. Hanif, H. S. Rukmi, and S. Susanty, "Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury," *J. Online Inst. Teknol. Nas. Juli*, vol. 03, no. 03, pp. 137–147, 2015.
- [9] A. F. Setiawan and T. Suheta, "Analisa Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 KV di PT. PLN (PERSERO) UPJ Mojokerto Menggunakan Metode FMEA (Failure Mode Effect Analysis)," *Cyclotron*, vol. 3, no. 1, 2020.
- [10] R. Hanif, S. H. Rukmi, and S. Susanty, "Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury DI PT. X dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA)," *J. Online Inst. Teknol. Nas.*, vol. 03, no. 03, pp. 137–147, 2015.
- [11] S. Kusmiati, I. A. S. Adnyani, and I. K. P. Putra, "Analisis Penilaian dan Evaluasi Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja dengan Metode FMEA pada Pemeliharaan Jaringan Transmisi Listrik di ULTG Lombok Barat," *J. Tekno*, vol. 22, no. 1, pp. 18–34, 2025.
- [12] A. Alijoyo, B. Wijaya, and I. Jacob, *Failure Mode Effect Analysis*. Bandung: CRMS, 2009.
- [13] P. Gautama, R. Ardiansya, and A. B. Sulistyio, "Analisis Kerusakan Motor Listrik di Unit Pemurnian Brine PT. XYZ dengan Metode FMEA," *IMTechno J. Ind. Manag. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 16–23, 2024.
- [14] R. Tri Afriadi, V. Naubnome, S. Karawang, K. Karawang, and P. Jawa Barat, "Analisis Keefektifitasan Sistem Panel Surya Dalam Kelistrikan Menggunakan Metode Fmea pada Mesin Pembakar Sampah Tanpa Asap," *JETISH J. Educ. Technol. Inf. Soc. Sci. Heal. E-ISSN*, vol. 3, no. 2, pp. 1043–1051, 2024.
- [15] Wahyu Adji Sulistiyono and Joumil Aidil Saifuddin, "Pengendalian Kualitas dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Pada Pembongkaran Bahan Baku Impor di PT X," *Sammajiva J. Penelit. Bisnis dan Manaj.*, vol. 2, no. 1, pp. 30–38, 2024.
- [16] D. K. Putra, *Proteksi Arus Lebih Pada Kontrol Panel Elemen Motor Pompa Angguk PT Bukaka Teknik Utama Duri*, Laporan Ma. Fakultas Vokasi Institut Teknologi Padang, 2024.
- [17] M. Miqdarurridlo, "Analisa Kegagalan Transformator Tenaga Berdasarkan Fmea (Failure Mode and Effect Analysis) Sebagai Dasar Perhitungan Penilaian Kondisi (Scoring) Transformator Tenaga (Studi Kasus Trafo Gi Segoromadu Gresik)," *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 15, no. 1, p. 26, 2020.
- [18] H. Gusmedi, L. Hakim, and R. Ramadan, "Evaluasi Keandalan Jaringan Distribusi 20 Kv Penyulang Stroberi 2 Pt. Pln (Persero) Ulp Kota Metro Dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (Fmea)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, pp. 61–67, 2024.