EVALUASI INTEGRASI *ADVANCED PROCESS CONTROL* DAN *PROCESS INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM* UNTUK PENINGKATAN KINERJA PROSES EVAPORASI DI PT XYZ

Achmad Farouq[1], Tri Widjaja[1*], Tatang Taufik[1]
[1]Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia
*Penulis Korespondensi : tri.widjaja@its.ac.id

Abstrak. Efisiensi energi pada proses evaporasi *crude glycerin* merupakan aspek penting yang berpengaruh terhadap biaya produksi dan kinerja lingkungan di PT XYZ. Perusahaan telah mengimplementasikan *Advanced Process Control* (APC) berbasis *Model Predictive Control* untuk meningkatkan stabilitas dan efisiensi proses. Namun, pemanfaatan APC belum optimal akibat rendahnya utilisasi, fluktuasi kualitas produk, serta keterbatasan sistem pemantauan kinerja yang masih bersifat manual. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab penurunan kinerja operasional APC serta mengevaluasi dan merekomendasikan dampak integrasi APC dengan *Process Information Management System* (PIMS). Metode *Fishbone Diagram* dan *Pareto Diagram* digunakan untuk menentukan faktor dominan penyebab permasalahan berdasarkan aspek manusia, metode, mesin, material, dan lingkungan. Data diperoleh dari data historis operasional selama 12 bulan, kuesioner skala Likert 1–7, serta diskusi teknis dengan tim terkait. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor manusia menjadi penyebab utama penurunan kinerja APC, khususnya rendahnya pemahaman operator dan ketiadaan sistem pemantauan kinerja secara *real-time terhadap dashboard* KPI yang mencakup aspek kualitas dan utilitas. Integrasi APC dan PIMS serta pengembangan *dashboard* KPI menghasilkan penurunan rasio *steam-to-feed* dari 0,216 menjadi 0,206 *ton steam/ ton feed* (4,6%), meningkatkan utilisasi APC dari 47% menjadi 95% (102%), meningkatkan kualitas produk dari 86,91% menjadi 90,72% (4,39%), serta meningkatkan penghematan operasional dari USD 2.370 menjadi USD 3.665 per bulan (55%). Selain itu, pengurangan emisi karbon meningkat dari 35.022 menjadi 89.512 $kgCO_2e$/bulan (156%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi APC dan PIMS yang didukung penguatan aspek manajerial berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kinerja APC dan keberlanjutan operasional.

Kata kunci: Evaporasi, *Advanced Process Control* (APC), *Process Information Management System* (PIMS), *Fishbone Diagram*, Diagram *Pareto*

Abstract. Energy efficiency in the crude glycerine evaporation process is a critical aspect that affects both production costs and environmental performance at PT XYZ. The company has implemented Advanced Process Control (APC) based on Model Predictive Control to improve process stability and efficiency. However, APC utilization has not been optimal due to low utilization rates, fluctuations in product quality, and manually operated performance monitoring systems. This research aims to identify the root causes of declining APC operational performance and to evaluate the impact of integrating APC with a Process Information Management System (PIMS). Fishbone Diagram and Pareto Diagram methods were applied to determine dominant contributing factors across human, method, machine, material, and environmental aspects. Data were obtained from operational historical records, questionnaires using a 1–7 Likert scale, and technical discussions with relevant teams. The results indicate that human factors are the primary cause of reduced APC performance, mainly due to limited operator understanding and the absence of real-time monitoring through a KPI dashboard covering quality and utilization aspects. Integration of APC with PIMS, supported by the development of a real-time KPI dashboard, reduced the steam-to-feed ratio from 0.216 to 0.206 ton steam/ton feed (4.6%), increased

APC utilization from 47% to 95% (102%), improved product quality from 86.91% to 90.72% (4.39%), and increased operational cost savings from USD 2,370 to USD 3,665 per month (55%). In addition, carbon emission reduction improved from 35,022 to 89,512 $kgCO_2e$ per month (156%). These results demonstrate that APC–PIMS integration, complemented by enhanced operational monitoring and managerial practices, significantly contributes to improving APC utilization, process performance, energy efficiency, and environmental sustainability.

Keywords: Evaporation, Advanced Process Control (APC), Process Information Management System (PIMS), Fishbone Diagram, Pareto Diagram

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu produsen utama kelapa sawit dunia dengan produksi mencapai 46,5 juta ton pada tahun 2024 (Portal Informasi Indonesia, 2025). Industri produk turunan kelapa sawit seperti oleochemical memiliki peran strategis dalam mendukung pertumbuhan ekonomi nasional. Salah satu produk samping utama dari industri tersebut adalah *crude glycerin*, yang dihasilkan melalui proses evaporasi untuk meningkatkan konsentrasi gliserin dari *sweet water* menjadi produk dengan kemurnian tertentu (Novia et al., 2019). Salah satu metode paling umum untuk menghasilkan gliserin adalah melalui proses hidrolisis (splitting), di mana minyak atau lemak direaksikan dengan air pada suhu dan tekanan tinggi untuk menghasilkan asam lemak bebas (*free fatty acids*) dan gliserin. Reaksi kimia umumnya berlangsung dalam *splitting tower* atau reaktor kontinu pada suhu sekitar 250–270°C dan tekanan 40–60 bar. Penggunaan uap panas (*steam*) sebagai sumber energi utama menjadikan efisiensi proses ini sangat penting untuk dikendalikan. Ketidakefisienan dalam sistem evaporasi tidak hanya meningkatkan biaya produksi, tetapi juga berpotensi meningkatkan emisi sehingga menjadi perhatian dalam aspek keberlanjutan industri (Setyawan & Sujati, 2017).

Dalam upaya meningkatkan kinerja proses, PT XYZ telah mengimplementasikan teknologi *Advanced Process Control* (APC) berbasis *Model Predictive Control* (MPC), yang mampu mengoptimalkan variabel proses secara simultan dengan mempertimbangkan interaksi antar variabel serta batasan operasional. Penerapan APC dapat membantu meningkatkan stabilitas proses, efisiensi energi, dan konsistensi kualitas produk (Robinson & Cima, 2007; Poe, 2021). Namun, setelah beberapa waktu penerapannya, implementasi di lapangan masih menghadapi berbagai kendala, seperti rendahnya tingkat utilisasi sistem, fluktuasi kualitas produk, serta keterbatasan sistem pemantauan kinerja yang masih bersifat manual dan tidak terintegrasi (Forbes et al., 2015).

Pendekatan analisis akar masalah menggunakan metode *Fishbone* dan *Pareto* digunakan untuk mengidentifikasi serta memprioritaskan faktor penyebab penurunan kinerja APC secara sistematis. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada optimasi proses atau penerapan sistem secara individual, tanpa mengevaluasi sinergi antara sistem kontrol dan sistem informasi dalam mendukung peningkatan kinerja proses (Bauer & Craig, 2008). Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan PT XYZ untuk meningkatkan kinerja operasional dari APC ialah dengan mengintegrasikan APC dengan *Process Information Management System* (PIMS). PIMS berfungsi sebagai sistem pengelolaan data proses yang mampu mengumpulkan, menyimpan, dan menyajikan data secara *real-time* maupun historis, sehingga mendukung analisis performa proses dan pengambilan keputusan yang lebih cepat, tepat, dan berbasis data. Implementasi sistem

informasi terintegrasi (PIMS) ini terbukti dapat meningkatkan transparansi operasional serta efektivitas pengambilan keputusan (*data-driven decision making*) (Bitkowska et al., 2022; Nisrina et al., 2025).

Penelitian terdahulu umumnya berfokus pada evaluasi kinerja *Advanced Process Control* (APC) dari aspek pengendalian proses, efisiensi energi, maupun manfaat ekonomi. Di sisi lain, implementasi *Process Information Management System* (PIMS) lebih banyak dikaji sebagai sistem pengelolaan dan visualisasi data proses secara terpisah. Namun, kajian mengenai integrasi APC dan PIMS sebagai suatu kerangka operasional terpadu untuk mendukung pemantauan KPI secara *real-time*, peningkatan utilisasi APC, pengambilan keputusan yang lebih cepat, serta keberlanjutan program (*continuous improvement)* masih relatif terbatas. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian terkait pemanfaatan integrasi APC dan PIMS dalam meningkatkan kinerja operasional industri oleokimia

Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi integrasi *Advanced Process Control* (APC) dan *Process Information Management System* (PIMS) sebagai platform *IT–OT convergence* yang mendukung pemantauan KPI secara *real-time*, peningkatan utilisasi APC, serta pengambilan keputusan berbasis data. Pendekatan ini memperluas penelitian sebelumnya yang umumnya mengevaluasi APC atau sistem informasi proses secara terpisah, sehingga memberikan kontribusi baru dalam peningkatan efisiensi energi, kualitas produk, kinerja operasional, dan keberlanjutan proses evaporasi pada industri oleokimia

Analisis triangulasi dilakukan sebagai mekanisme validasi hasil identifikasi akar penyebab yang diperoleh dari diagram *Fishbone* dan *Pareto*, sekaligus memperkuat keandalan hasil penelitian melalui verifikasi oleh pakar yang memiliki kompetensi pada bidang APC, PIMS, instrumentasi, dan operasional proses

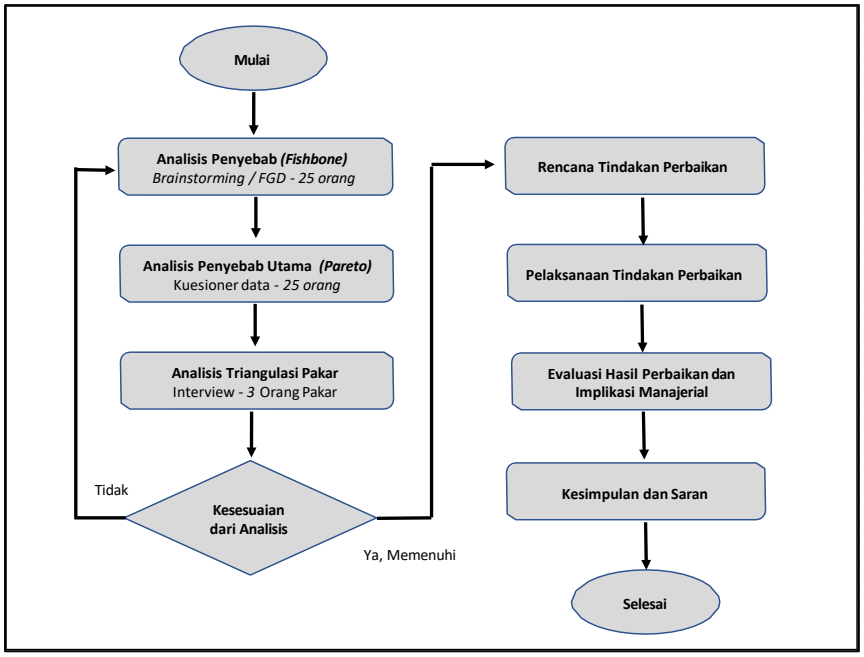
Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak integrasi APC dan PIMS serta menganalisis faktor penyebab penurunan kinerja pada proses evaporasi di PT XYZ.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (*applied research*) yang dilakukan pada fasilitas produksi *crude glycerin* di PT XYZ. Penelitian menggunakan pendekatan *mixed methods* yang mengombinasikan metode kualitatif dan kuantitatif untuk mengidentifikasi akar penyebab permasalahan serta mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan. Analisis penyebab dilakukan menggunakan metode *Fishbone Diagram*, *Focus Group Discussion* (FGD), dan *Pareto Analysis*, sedangkan evaluasi perbaikan dilakukan melalui perbandingan indikator kinerja utama (*Key Performance Indicators/KPI*) sebelum dan sesudah implementasi.

2.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian digambarkan dalam *flowchart* pada Gambar 2.1 yang merupakan representasi *visual* penggambaran langkah-langkah yang diambil dalam studi ini. Dimulai dari tahap awal menganalisa penyebab masalah melalui diagram *Fishbone*, penentuan penyebab utama melalui diagram *Pareto*, Analisis triangulasi pakar, dilanjutkan dengan penyusunan rancangan dan pelaksanaan tindakan perbaikan, evaluasi hasil perbaikan dan implikasi managerial serta kesimpulan dan saran.



Gambar 2.1 Bagan Alir Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- Data historis operasional selama ±12 bulan
- Data kualitatif dari wawancara terstruktur (kuesioner) dan *Focus Group Discussion* (FGD) dengan operator, *engineer*, dan manajemen
- Data observasi lapangan terkait implementasi APC dan PIMS
- Studi literatur dari jurnal ilmiah yang relevan

2.2. Analisis Penyebab dengan Diagram *Fishbone* dan *Pareto*

2.2.1 Pengembangan Kuesioner

Kuesioner dalam penelitian ini disusun berdasarkan hasil identifikasi awal akar penyebab yang diperoleh dari analisis *Fishbone*, studi literatur, data historis operasional, serta diskusi teknis dengan personel yang terlibat dalam implementasi *Advanced Process Control* (APC) dan *Process Information Management System* (PIMS). Instrumen kuesioner dirancang untuk memperoleh *expert judgment* dalam mengidentifikasi dan memprioritaskan faktor-faktor yang memengaruhi kinerja APC pada proses evaporasi.

Kuesioner terdiri atas dua tahapan. Tahap pertama digunakan untuk memverifikasi kesesuaian profil dan kompetensi responden terhadap topik penelitian, sedangkan tahap kedua digunakan untuk menilai tingkat kontribusi masing-masing faktor penyebab yang telah diidentifikasi melalui diagram *Fishbone*. Penilaian dilakukan menggunakan skala Likert 1–7, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan tingkat persetujuan yang lebih besar terhadap pengaruh faktor penyebab yang dinilai.

2.2.2 Validitas dan Kredibilitas Data

Kuesioner yang digunakan pada penelitian ini berfungsi sebagai alat *expert judgment* dan prioritisasi faktor penyebab dalam diagram *Pareto*, bukan sebagai instrumen

psikometrik untuk mengukur variabel laten. Oleh karena itu, pengujian reliabilitas internal menggunakan *Cronbach's Alpha* tidak dilakukan.

Untuk memastikan validitas dan kredibilitas hasil, penelitian menerapkan pendekatan triangulasi dengan mengombinasikan berbagai sumber informasi, yaitu data historis operasional, hasil *Focus Group Discussion* (FGD), observasi lapangan, wawancara teknis, serta penilaian dari responden yang memiliki pengalaman dan keterlibatan langsung dalam implementasi APC dan PIMS. Responden berasal dari berbagai fungsi yang terkait dengan operasional proses produksi, *engineering* APC, PIMS, *Electrical & Instrumentation* (E&I), *Information Technology* (IT), dan manajemen. Pendekatan triangulasi digunakan untuk meningkatkan konsistensi hasil analisis, mengurangi potensi bias subjektif, serta memperkuat keandalan proses identifikasi faktor penyebab dominan.

2.2.3 Pengolahan Data Diagram *Pareto*

Pengolahan data Diagram *Pareto* dilakukan untuk menentukan tingkat prioritas setiap faktor penyebab yang telah diidentifikasi melalui analisis *Fishbone*. Data kuesioner yang diperoleh dari 25 responden diolah dengan menghitung total skor masing-masing faktor berdasarkan hasil penilaian skala Likert 1-7. Selanjutnya, faktor-faktor tersebut diurutkan berdasarkan skor tertinggi hingga terendah untuk memperoleh kontribusi relatif dan persentase kumulatif terhadap keseluruhan permasalahan.

Prinsip Diagram *Pareto* digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap penurunan kinerja APC. Faktor-faktor yang berada dalam kategori kontribusi kumulatif sekitar 80% ditetapkan sebagai prioritas utama dalam penyusunan rekomendasi perbaikan. Hasil analisis *Pareto* selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perancangan tindakan perbaikan, pengembangan integrasi APC dan PIMS, serta penyusunan strategi peningkatan kinerja operasional secara berkelanjutan

2.3. Analisis Implikasi Managerial dan Evaluasi Hasil Perbaikan

Analisis implikasi manajerial dilakukan berdasarkan hasil identifikasi akar penyebab menggunakan metode *Fishbone Diagram* dan *Pareto Analysis*. Faktor-faktor dominan yang teridentifikasi kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rencana tindakan perbaikan yang mencakup aspek manusia, metode, mesin, lingkungan, dan material.

Pelaksanaan perbaikan difokuskan pada peningkatan kompetensi operator melalui program pelatihan berkala, pengembangan sistem pemantauan kinerja berbasis *dashboard* KPI *real-time*, penetapan *Person in Charge* (PIC) untuk pemantauan kinerja APC, peningkatan keandalan peralatan melalui *preventive maintenance*, serta integrasi *Advanced Process Control* (APC) dengan *Process Information Management System* (PIMS). Integrasi APC dan PIMS dirancang sebagai platform *Information Technology–Operational Technology (IT–OT) convergence* yang memungkinkan pengumpulan, pengolahan, dan visualisasi data proses secara *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Evaluasi efektivitas perbaikan dilakukan menggunakan pendekatan *before-and-after performance comparison*. Parameter yang dievaluasi sebagai berikut:

1. Rasio penggunaan Uap Panas (*Steam*) dalam *ton steam/ ton feed*
2. % Penggunaan atau Utilisasi dari APC
3. Konsistensi Kualitas Produk (%*Purity Crude Glycerin*)
4. Tambahan Parameter CO_2 *Emission* sebagai manfaat tambahan pada aspek lingkungan
5. Nilai Penghematan (*USD/Bulan)*

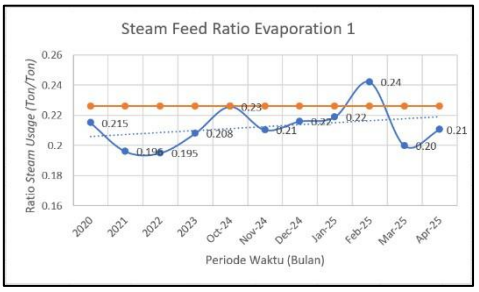
Perbandingan dilakukan menggunakan data historis operasional sebelum dan sesudah implementasi perbaikan untuk menilai dampak integrasi APC dan PIMS terhadap kinerja operasional dan keberlanjutan proses. Penelitian ini merupakan studi kasus industri yang berorientasi pada evaluasi implementasi aktual di lapangan, sehingga pengujian hipotesis statistik secara formal tidak dilakukan karena keterbatasan jumlah sampel pengamatan independen dan sifat data operasional yang tersedia.

Implikasi manajerial dianalisis dengan mengaitkan hasil temuan terhadap respons organisasi, pihak yang bertanggung jawab, serta kebutuhan penyesuaian sistem operasional. Analisis ini menjadi dasar dalam mendukung pengambilan keputusan serta pengembangan strategi peningkatan kinerja proses secara berkelanjutan melalui integrasi sistem kontrol dan informasi digital.

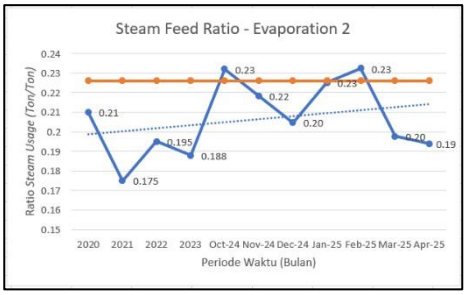
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Sebelum Perbaikan

Evaluasi awal menunjukkan bahwa sebelum dilakukan perbaikan, kinerja proses evaporasi belum optimal. Rasio *Steam-to-Feed* cenderung meningkat terlihat pada Gambar 3.1 Rasio *Steam-to-Feed* unit Evaporasi 1 dan Gambar 3.2 Rasio *Steam-to-Feed* unit Evaporasi 2 yang mengindikasikan tren kenaikan konsumsi energi sampai periode April 2025. (Garis kuning merupakan *standard* pemakaian uap panas dan garis biru merupakan aktual konsumsi dari Uap panas *(Steam)*)

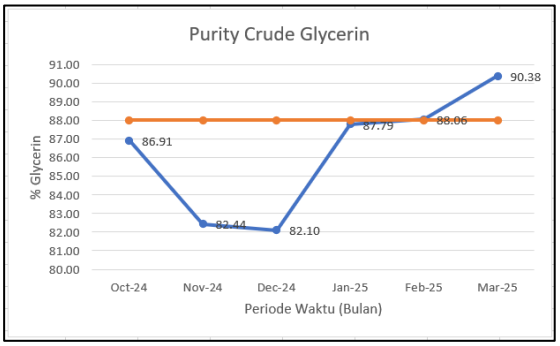


Gambar 3.1 Rasio *Steam-to-Feed* unit 1



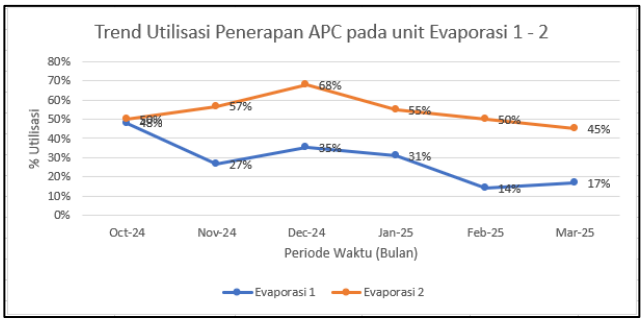
Gambar 3.2 Rasio *Steam-to-Feed* unit 2

Pada Gambar 3.3 Tren Kualitas Produk *Crude Glycerin*, sebelum perbaikan dilakukan, kualitas *crude glycerin* yang didapatkan tidak konsisten / stabil dari target 88% *minimum.* (Garis kuning merupakan *Standard Purity* 88% dan garis biru merupakan aktual *Purity* dari *crude glycerin*)



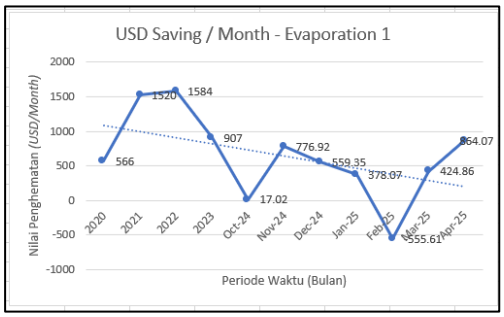
Gambar 3.3 Tren Kualitas *Crude Glycerin*

Parameter berikutnya, Gambar 3.4 Utilisasi *Advanced Process Control* (APC) pada unit Evaporasi 1&2, terlihat berada di bawah target operasional yaitu 90%.

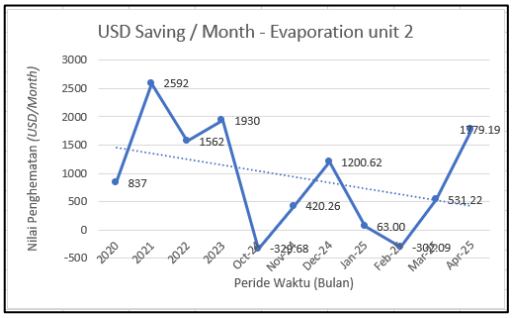


Gambar 3.4 Utilisasi APC Unit Evaporasi 1&2

Nilai penghematan (dalam *USD/Bulan)* juga terlihat menurun, hal ini terlihat pada Gambar 3.5 Penghematan pada unit 1 dan Gambar 3.6 Penghematan pada unit 2.



Gambar 3.5 Penghematan dalam USD Unit 1



Gambar 3.6 Penghematan dalam USD unit 2

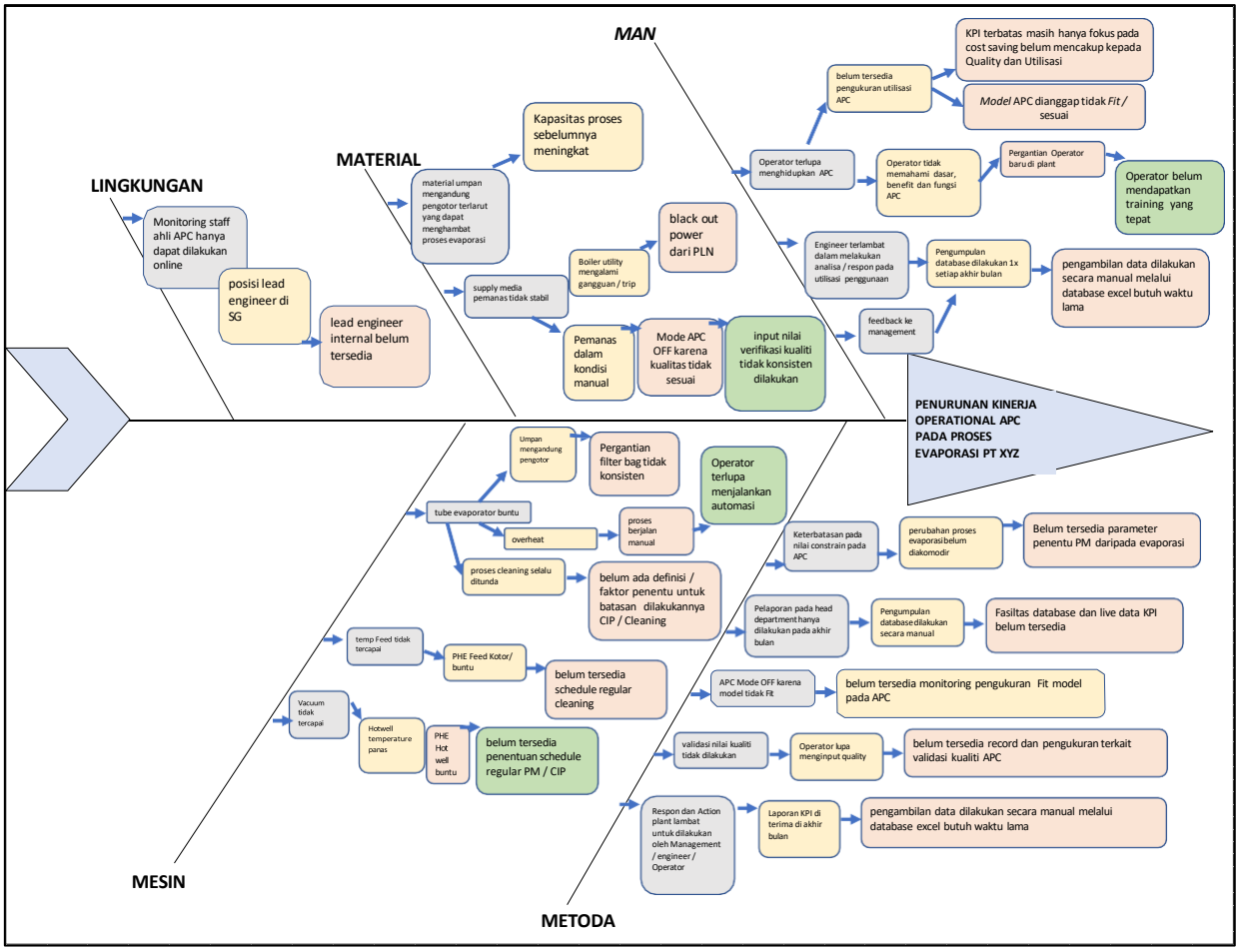
3.2. Analisis Diagram *Fishbone* dan *Pareto*.

Untuk mengetahui akar penyebab, Analisis *Fishbone* dilakukan dengan menggunakan data dari wawancara dan diskusi *Focus Group Discussion (FGD)*. Responden dari *Focus Group Discussion (FGD)* merupakan perwakilan professional dari bidang E*ngineering*, IT, Produksi dan Manajemen. Tabel 3.1 Profil Peserta *Focus Group Discussion (FGD).*

Tabel 3.1 Profil Peserta *Focus Group Discussion (FGD)*

No	Jabatan	Usia	Pendidikan	Masa Kerja
1	*Factory Manager*	49 Tahun	Sarjana	18 Tahun
2	*Head of Department*	47 Tahun	Sarjana	18 Tahun
3	*Lead engineer*	30 Tahun	Sarjana	7 Tahun
4	*Engineer*	28 Tahun	Sarjana	8 Tahun
5	*Production Supervisor*	38 Tahun	Sarjana	15 Tahun
6	*Production Supervisor*	39 tahun	Sarjana	18 Tahun

Hasil dari *Focus Group Discussion (FGD)* meliputi aspek *Man,* Material, Lingkungan, Metode, Mesin terlihat pada Gambar 3.7 Diagram *Fishbone.*



Gambar 3.7 Diagram *Fishbone*

Berdasarkan Analisis Diagram *Fishbone*, dilanjutkan dengan Diagram *Pareto* untuk mendapatkan faktor penyebab utama. Sumber data Diagram *Pareto* didapatkan dari kuesioner 2 tingkat pada 25 peserta dengan profil sebagaimana pada Tabel 3.2 Profil Narasumber Kuesioner.

Tabel 3.2 Profil Narasumber Kuesioner

No	Jabatan	Usia (Tahun)	Pendidikan	Masa Kerja	Jumlah Responden
1	*Head of Department*	40 – 50	Sarjana	>15 Tahun	1 Orang
2	Sub-*Head Department*	25 – 40	Sarjana	>10 Tahun	2 Orang
3	*Lead engineer*	25 – 40	Sarjana	>5 Tahun	1 Orang
4	*Engineer*	25 – 40	Sarjana	>5 Tahun	2 Orang
5	*Production Supervisor*	25 – 40	Sarjana	>10 Tahun	8 Orang
6	*Distributed Control System (DCS) Supervisor*	25 – 40	Sarjana	>5 Tahun	8 Orang
7	*E&I Engineer*	25 – 40	Sarjana	>5 Tahun	2 Orang
8	*IT Engineer*	25 – 40	Sarjana	>5 Tahun	1 Orang

				Total	25 Orang

Pengolahan data diagram *Pareto* dilakukan dengan 2 tahapan, pada tahap 1 pertanyaan 1-4 merupakan Karakteristik Narasumber untuk memastikan keterlibatan dan latar belakang narasumber serta kesesuaian untuk pengisian pertanyaan berikutnya, dalam hal ini diharapkan peneliti pencapaian nilai minimum pada persentase 90%. Perhitungan minimal target kesesuaian narasumber pada pertanyaan 1-4 persentase dihitung berdasarkan ∑ skor %kumulatif dari Agak Setuju, Setuju dan Sangat Setuju dibagi total peserta.

Pada pertanyaan 5-16 merupakan kuesioner untuk mencari *Pareto* dari Analisis sumber penyebab utama dengan pendekatan perhitungan data sebagai berikut:

- Pertanyaan 5-16 skor ideal dalam skala *likert* diperoleh dengan cara mengalikan jumlah responden dengan jumlah kriteria, dirumuskan pada rumus (3.1)
  Skor Ideal = ∑ Responden x ∑ Kriteria (3.1)
- Jumlah skor diperolah dengan mengalikan jumlah responden pada sebuah kriteria dengan nilai kriteria. Dapat dilihat pada rumus (3.2)
  Jumlah Skor = ∑ Responden pada kriteria x Nilai Kriteria (3.2)
- Tingkat persetujuan tiap pertanyaan diperoleh dengan membagi jumlah total skor tiap kriteria dengan skor ideal kemudian dikalikan dengan 100%. Dirumuskan pada rumus (3.4).
  Tingkat persetujuan % = (∑ Total Skor Tiap Kriteria / Skor Ideal) x 100% (3.4)

Hasil kuesioner pada pertanyaan 1-4 dapat dilihat pada Tabel 3.3 Kesesuaian Narasumber Kuesioner.

Tabel 3.3 Kesesuaian Narasumber Kuesioner

Kriteria	Aspek kesesuaian	No Pertanyaan	∑ jawaban responden 25 Orang							Min Target Kesesuaian Narasumber	Hasil Persentase Kesesuaian
			STS	TS	CTS	N	AS	S	SS		
			1	2	3	4	5	6	7		
Dasar APC	Saya pernah terlibat dalam training / Project/ Proses / Penerapan APC	1	0	0	0	1	3	11	10	90%	96%
		∑ Skor	0	0	0	4	15	66	70		
Proses Produksi	Saya memahami dengan baik proses evaporasi Crude Glycerin pada unit 1,2 dan 3	2	0	0	0	1	4	5	15	90%	96%
		∑ Skor	0	0	0	4	20	30	105		
Manfaat APC	APC dapat membantu meningkatkan kualitas, stabilitas dan kinerja proses	3	0	0	0	1	5	8	11	90%	96%
		∑ Skor	0	0	0	4	25	48	77		
Dampak APC	APC membantu mengurangi beban kerja operator DCS sehingga dapat melakukan analisa/perbaikan lanjutan terkait proses	4	0	0	0	2	2	14	7	90%	92%
		∑ Skor	0	0	0	8	10	84	49		

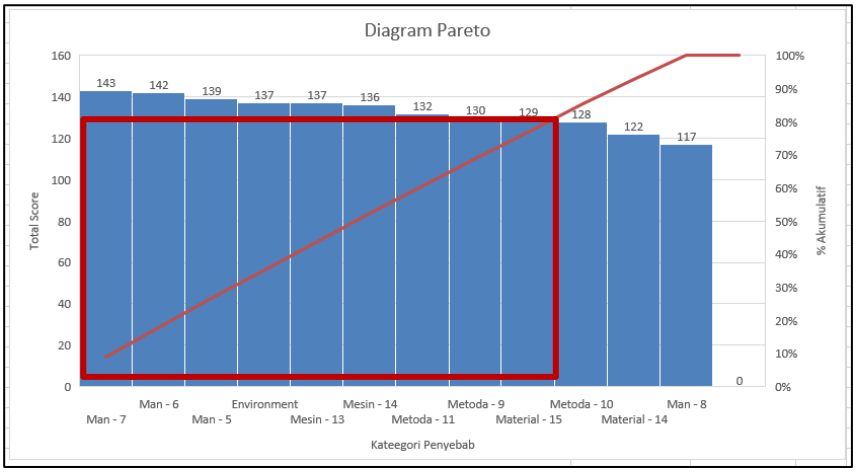
Berdasarkan Tabel 3.3, terlihat pencapaian kesesuaian pada narasumber memenuhi minimum kriteria yang diinginkan, masing-masing dengan skor Dasar APC: 96%, Proses Produksi: 96%, Manfaat APC: 96% dan Dampak APC: 92%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa responden memiliki kompetensi dan pengalaman yang memadai untuk memberikan penilaian terhadap faktor-faktor yang memengaruhi kinerja APC dan untuk melanjutkan ke pertanyaan tahap 2.

Tabel 3.4 Analisis Diagram *Pareto* pada Sumber Penyebab Utama

Analisa penyebab	Kategori	Kode Pertanyaan	Σ	(%) Persentase	% Kumulatif
Operator terlewat dalam input kualiti pada APC sehingga akurasi model APC tidak bekerja dengan baik	*Man* - 7	7	143	8.98%	8.98%
Operator lupa mengaktifkan APC saat start up atau menjalankan Plant sehingga utilisasi APC menurun	*Man* - 6	6	142	8.92%	17.90%
Keterbatasan pemahaman operator terhadap aspek teknis APC menyebabkan penurunan kinerja dari operational dari APC.	*Man* - 5	5	139	8.73%	26.63%
Keterbatasan support *engineer* ahli terkait APC menyebabkan dampak tidak langsung pada penurunan kinerja dari operational APC	*Environment*	16	137	8.61%	35.24%
Filter pada jalur umpan *(Feed)* mengalami kerusakan / kebocoran sehingga pengotor mengotori tubing sehingga proses evaporasi tidak optimal	Mesin - 13	13	137	8.61%	43.84%
Kondisi PHE Hotwel / vacuum evaporator tidak optimal atau di bawah performa sehingga performa APC/ Evaporasi menurun	Mesin - 14	12	136	8.54%	52.39%
Belum tersedia parameter yang menentukan waktu cleaning *(CIP) tubing* pada unit evaporasi sehingga performa evaporasi menurun	Metoda - 11	11	132	8.29%	60.68%
KPI yang dijalankan hanya berfokus pada Penghematan biaya, aspek teknis seperti kualiti, evaluasi model belum termasuk di dalam point monitoring para *leader / engineer*	Metoda - 9	9	130	8.17%	68.84%
Supply media pemanas *(Steam)* tidak stabil dari *utility* menyebabkan APC terganggu	Material - 15	15	129	8.10%	76.95%
Penurunan kinerja APC terjadi karena Report KPI hanya tersedia setiap 6 bulan dikarenakan masih menggunakan pengumpulan data manual sehingga respon/perbaikan yang diberikan cenderung terlambat	Metoda - 10	10	128	8.04%	84.99%
Beban (*feed*) umpan melebihi design sehingga beban evaporasi bertambah menyebabkan penurunan kinerja dari operational APC	Material - 14	14	122	7.66%	92.65%
Operator menilai model pada APC tidak fit / salah sehingga di perlu di off kan sehingga menurunkan utilisasi APC	*Man* - 8	8	117	7.35%	100.00%

Berdasarkan Tabel 3.4 Analisis Diagram *Pareto* pada Sumber Penyebab Utama, terlihat hasil perhitungan kuesioner dari keseluruhan narasumber. Faktor manusia menjadi kontributor dominan, terutama terkait kurangnya pemahaman operator dan tidak adanya sistem pemantauan kinerja secara *real-time*. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa keberhasilan implementasi APC sangat dipengaruhi oleh kompetensi operator dan sistem pendukung operasional (Forbes et al., 2015). Sesuai dengan panduan penggunaan diagram pareto, akan dilakukan perbaikan hingga tercapai 80% dampak dari masing-masing sumber penyebab utama. Perbaikan akan diprioritaskan dimulai dari Faktor *Man* – 7 hingga Material -15.

Dari Diagram *Pareto* didapatkan 80% dampak sebagaimana pada Gambar 3.8 Diagram *Pareto* Analisis Penyebab Utama, didapatkan pada poin *Man*-7 hingga Material-15 (terlihat pada kotak Merah pada Gambar 3.8). Maka berdasarkan Analisis tersebut, kita lanjutkan dengan Rencana Tindakan Perbaikan. Hasil diagram *Pareto* didapatkan urutan teratas terjadi pada kategori Faktor *Man* dengan 3 kontributor utama yaitu Faktor *Man*-7, 6 dan 5. Hal ini dilanjutkan dengan faktor *environment* (lingkungan) serta dilanjutkan pada faktor Mesin, Metode dan Material.



Gambar 3.8 Diagram *Pareto* Analisis Penyebab Utama

3.3. Analisis Triangulasi Pakar

Sebagai penguatan literatur dan validasi hasil penelitian, dilakukan analisis triangulasi pakar/peneliti. Triangulasi ini melibatkan tiga narasumber yang memiliki kompetensi dan pengalaman relevan di bidang sistem kontrol dan optimasi proses industri, yaitu:

1) PIMS *Lead Engineer* dari PT XYZ dengan pengalaman kerja selama 5 tahun dalam implementasi *Process Information Management System* (PIMS) berbasis industri di Surabaya.
2) APC *Lead Engineer* dari PT XXX dengan pengalaman lebih dari 20 tahun dalam pengembangan dan penerapan *Advanced Process Control* (APC) di berbagai sektor industri.
3) E&I *Lead Engineer* dari PT XYZ dengan pengalaman kerja lebih dari 5 tahun.

Tabel 3.5 Hasil Kesesuaian Triangulasi Pakar/Peneliti. Berdasarkan hasil tersebut masing-masing peneliti memberikan penilaian kesesuaian pada hasil analisis dan rekomendasi yang diberikan serta masukan baik teknis dan manajerial. Kesesuaian review dan masukan dari masing-masing pakar masih selaras dengan Analisis yang diberikan, sejumlah saran yang diberikan akan menjadi ide pengembangan pada penelitian selanjutnya.

Tabel 3.5 Hasil Kesesuaian Triangulasi Pakar / Peneliti

Topik Diskusi	E&I *Lead PT XYZ*	PIMS *Lead Engineer PT XYZ*	APC *Lead Engineer* PT XXX	Interprestasi
1. Diagram Pareto 2. Diagram Fishbone	**Ulasan**	**Ulasan**	**Ulasan**	**Ulasan**
	Hasil Pareto tersebut masuk akal karena masalah utamanya terkait dengan penggunaan APC oleh operator, kualitas input data, pemanfaatan APC, dan umpan balik yang tertunda. Dari sudut pandang E&I, APC membutuhkan data online yang andal, instrumen yang stabil, titik pengukuran yang representatif, dan umpan balik kualitas yang tepat waktu. Peningkatan harus difokuskan pada dashboard APC/PIMS, pemantauan kualitas data, pelacakan pemanfaatan APC, peninjauan tag yang buruk, dan penutupan kesenjangan pengukuran yang penting. Dari perspektif E&I, pengukuran yang buruk atau tidak representatif juga dapat mengurangi kinerja APC. Contoh tipikal meliputi sensor suhu yang dipasang di jalur buntu, titik pengukuran tekanan yang terletak di dekat titik gangguan, pemancar level yang terpengaruh oleh busa atau pendidihan, flowmeter yang dipasang tanpa jalur lurus yang cukup, titik sampel analyzer yang tidak mewakili kualitas produk sebenarnya, saluran impuls DP yang tersumbat, atau pemancar suhu yang dipasang sebelum pencampuran yang tepat. Masalah-masalah ini dapat menyebabkan APC menerima umpan balik yang lambat, bising, atau salah dan dapat menyebabkan tindakan kontrol yang salah.	Secara umum sependapat dan mendukung analisis yang disajikan melalui diagram Fishbone dan Pareto, dengan perkiraan keselarasan melebihi 90% bila dibandingkan dengan pengalaman praktis dalam implementasi industri berbasis PIMS. Pendekatan analitis, interpretasi data, real time report dan konsisten hasil merupakan salah satu dari tujuan penerapan aplikasi PIMS	Pendapat dari Pakar APC menyatakan persetujuan yang cukup kuat dengan analisis tersebut, data fishbone yang digunakan diambil langsung dari team operasi yang menggunakan APC dalam kesehariannya. Kesesuaian antara analisis yang diusulkan dan pengalaman luas dalam penerapan APC di berbagai industri memberikan nilai kesesuaian yang baik. Dalam hal industri AI/ MPC / APC sistem pengumpulan database / monitoring aspek teknis dan manajerial berkelanjutan sangat diperlukan untuk memastikan konsistensi penerapan dan pencapaian nilai manfaat dari APC	Para narasumber secara umum sependapat dan mendukung hasil analisis yang disajikan, dengan tingkat kesesuaian yang baik terhadap kondisi riil operasional di industri. Keselarasan ini menunjukkan bahwa metode analisis yang digunakan, khususnya melalui diagram Fishbone, Pareto, serta analisis akar penyebab, telah mencerminkan permasalahan aktual yang dihadapi pada sistem PIMS dan APC. Pakar EI & PIMS menilai bahwa analisis yang dilakukan telah sesuai dengan tujuan utama penerapan PIMS, yaitu penyediaan data yang konsisten, real-time, dan dapat diandalkan sebagai dasar pengambilan keputusan operasional. Interpretasi data dan visualisasi yang disajikan dinilai relevan dengan praktik industri, terutama dalam mendukung monitoring kinerja proses dan sistem kendali lanjutan. Sementara itu, Pakar APC menegaskan bahwa data Fishbone dan Pareto yang digunakan berasal langsung dari pengalaman tim operasi yang menggunakan APC dalam aktivitas sehari-hari, sehingga mencerminkan kondisi lapangan secara nyata. Analisis dinilai sejalan dengan praktik terbaik dalam penerapan APC/MPC, di mana keberhasilan sistem sangat ditentukan oleh kualitas data, disiplin operasional, serta dukungan teknis dan manajerial yang berkelanjutan. Kedua pakar secara konsisten menekankan bahwa faktor manusia, metode kerja, peralatan, dan utilitas merupakan kontributor utama terhadap penurunan kinerja APC. Selain itu, kurangnya pemantauan harian terhadap KPI APC dan keterlambatan respons akibat pelaporan manual juga diidentifikasi sebagai hambatan dalam optimalisasi kinerja sistem.
	Saran	**Saran**	**Saran**	**Saran**
	Oleh karena itu, input APC utama seperti aliran, tekanan, suhu, vakum, level, data kualitas, status katup, dan status ON/OFF APC harus ditinjau keandalan dan kesesuaiannya.	Akurasi pembacaan instrumen adalah faktor lain yang perlu dipantau. pada penerapan PIMS di PT XYZ, secara berkala pemeriksaan akurasi perlu dilakukan dengan membandingkan pembacaan instrumen aktual dengan pembacaan pada DCS.	Semua perubahan pada konfigurasi proses, peralatan, mode, dan target harus didokumentasikan secara menyeluruh dan disesuaikan kembali sebagai bagian dari perbaikan bekeberlanjutan.	Dalam proses diskusi masing-masing pakar memberikan masukan terkait dengan pentingnya evaluasi terkait kalibrasi dan akurasi pembacaan instrument dan manajemen perubahan proses harus dijalankan untuk memastikan Aplikasi APC berjalan sesuai dengan target yang diinginkan.

Terlihat pada Tabel 3.5 Kesesuaian Hasil Analisis *Fishbone* dan *Pareto* selaras dengan pendapat para pakar di mana faktor *Man* merupakan faktor utama menurunnya kinerja APC. Di samping itu ketiadaan platform *digital reporting* dan keterbatasan parameter *dashboard* KPI menjadi faktor pendukung tidak terpenuhinya target dari APC.

3.4 Analisis Implikasi Manajerial

Analisis implikasi manajerial disusun berdasarkan hasil perencanaan dan implementasi tindakan perbaikan yang berasal dari analisis akar masalah. Evaluasi kinerja sebelum dan sesudah perbaikan digunakan untuk menilai efektivitas integrasi *Advanced Process Control* (APC) dan *Process Information Management System* (PIMS). Hasil analisis ini menjadi dasar dalam merumuskan rekomendasi strategis bagi manajemen untuk meningkatkan efisiensi operasional, kualitas proses, serta keberlanjutan kinerja sistem.

3.4.1 Perencanaan dan Pelaksanaan Tindakan Perbaikan

Dari Tabel 3.6 dapat dilihat rekomendasi terkait faktor Manusia *(Man)*.

Tabel 3.6 Rekomendasi Langkah-Langkah Perbaikan dari Faktor *Man*

Masalah	Faktor Penyebab	*What*	*Why*	*Where*	*When*	*Who*	*How*
Operator terlewat dalam input kualiti pada APC sehingga akurasi model APC tidak bekerja dengan baik	Man - 7	Kualiti APC merupakan target parameter yang menjadi kontrol pencapaian. Sehingga faktor Control ini penting untuk dimonitor dan konsisten diinput saat APC berjalan	Belum tersedianya monitoring konsistensi input nilai kualiti pada aplikasi APC	*APC Software*	*Daily*	*Operator & Engineer*	Menambahkan Feature record Kualiti pada Daily Dashboard KPI dari APC serta integrasi dengan PIMS system untuk mendapatkan Live / report setiap harinya
Operator lupa mengaktifkan APC saat start up atau menjalankan Plant sehingga utilisasi APC menurun	Man - 6	Utilisasi APC diukur berdasarkan %penggunaan APC saat plant berjalan, hal ini memberikan dampak pada nilai manfaat / penghematan yang didapatkan	Belum tersedianya pengukuran %utilisasi dari APC	*APC Software*	*Daily*	*Operator & Engineer*	Menambahkan Feature % Utilisasi pada Daily Dashboard KPI dari APC serta integrasi dengan PIMS system untuk mendapatkan Live / report setiap harinya
Keterbatasan pemahaman operator terhadap aspek teknis APC menyebabkan penurunan kinerja dari operational dari APC.	Man - 5	Pemahaman Operator hanya berdasarkan training pada saat awal project berjalan	Belum tersedianya schedule regular refresh training pada Operator	*Production*	*Annual*	*Engineer*	Schedule refresh training terhadap operator yang operasikan APC.

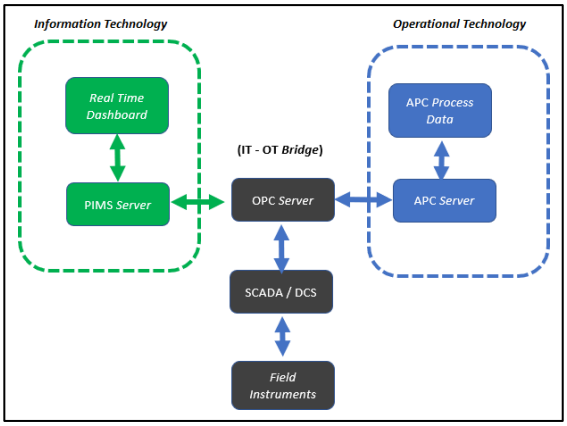
Rekomendasi Tindakan Perbaikan pada Tabel 3.6 diprioritaskan berdasarkan hasil analisis *Fishbone*, *Pareto*, dan triangulasi pakar yang menunjukkan bahwa faktor manusia *(man)* merupakan kontributor dominan terhadap penurunan kinerja APC. Permasalahan utama yang teridentifikasi meliputi rendahnya pemahaman operator terhadap fungsi dan manfaat APC, tidak tersedianya pemantauan kinerja KPI secara *real-time*, keterlambatan pelaporan kinerja, serta rendahnya visibilitas utilisasi APC.

Pengembangan *dashboard* KPI *real-time* dan integrasi APC dan PIMS dipilih karena secara langsung mengatasi akar penyebab terkait keterbatasan pemantauan kinerja dan pengumpulan data yang sebelumnya masih dilakukan secara manual. Dengan tersedianya

informasi utilisasi APC, kualitas produk, penghematan energi, dan emisi karbon secara *real-time*, proses pemantauan kinerja dan evaluasi dapat dilakukan lebih cepat dan akurat.

Program pelatihan dan sosialisasi APC dipilih untuk meningkatkan kompetensi operator dalam menjalankan APC dan memahami dampaknya terhadap efisiensi energi serta kualitas produk. Penetapan *Person in Charge* (PIC) APC dilakukan untuk memperjelas tanggung jawab pemantauan kinerja APC dan memastikan adanya tindak lanjut terhadap penyimpangan yang terdeteksi melalui dashboard KPI *real-time*. Selain itu, penguatan koordinasi antara tim produksi, APC, PIMS, *Information Technology* (IT), dan *Electrical and Instrumentation* (E&I) bertujuan meningkatkan kecepatan respons terhadap permasalahan operasional yang dapat mempengaruhi utilisasi APC.

Langkah perbaikan utama yang dilakukan ialah integrasi antara APC dan PIMS, di mana APC dapat dikategorikan sebagai bagian dari *Operational Technology* (OT) yang berfungsi dalam pengendalian proses secara langsung, sedangkan PIMS berperan sebagai *Information Technology* (IT) yang mendukung pengelolaan data proses dan pengambilan keputusan berbasis informasi. Terlihat pada skema Gambar 3.9 Skema Integrasi Aplikasi APC dan PIMS. Sebelum integrasi, APC dan PIMS beroperasi secara terpisah sehingga proses pemantauan kinerja dan evaluasi kinerja masih dilakukan secara manual. Integrasi APC dan PIMS menghasilkan konsep *IT–OT Convergence* yang memungkinkan pertukaran data secara *real-time* dari level operasional menuju level manajemen sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat.

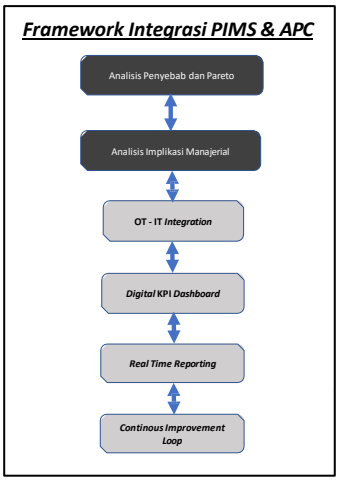


Gambar 3.9 Skema Integrasi Aplikasi APC dan PIMS

Integrasi APC dan PIMS pada penelitian ini menggunakan arsitektur *IT–OT Convergence* yang menghubungkan sistem kontrol proses dan *dashboard* KPI dalam satu platform terintegrasi.

Parameter proses seperti laju alir *(flow)*, temperatur, tekanan, kualitas produk, konsumsi *steam*, serta status APC dikirim dari instrumen lapangan ke *Distributed Control System* (DCS). Selanjutnya, melalui *Open Platform Communications* (OPC) *Server* data tersebut dibaca secara simultan oleh APC untuk kebutuhan optimasi proses (melalui APC *Server*) dan oleh PIMS untuk kebutuhan penyimpanan data historis (melalui PIMS *Server*) serta tampilan *dashboard* KPI. Melalui mekanisme pertukaran data secara *real-time*, PIMS melakukan perhitungan KPI seperti Utilisasi *APC*, Konsumsi Energi, Kualitas Produk, Nilai Penghematan, dan Emisi karbon yang kemudian ditampilkan melalui *dashboard* KPI berbasis web. Arsitektur ini memungkinkan operator, *engineer*, dan manajemen memperoleh visibilitas kinerja proses secara langsung tanpa perlu melakukan pengumpulan dan pengolahan data secara manual.

Framework perbaikan yang diusulkan mengintegrasikan hasil analisis akar penyebab dengan konsep IT–OT *Convergence* untuk membangun siklus perbaikan berkelanjutan (*continuous improvement)* berbasis data. Gambar 3.10 *Framework* Integrasi PIMS dan APC, Integrasi tersebut menghasilkan *dashboard* KPI *real-time* yang menampilkan parameter operasional utama. Dengan tersedianya informasi secara langsung, pendekatan operasional berubah dari sistem yang bersifat reaktif menjadi proaktif

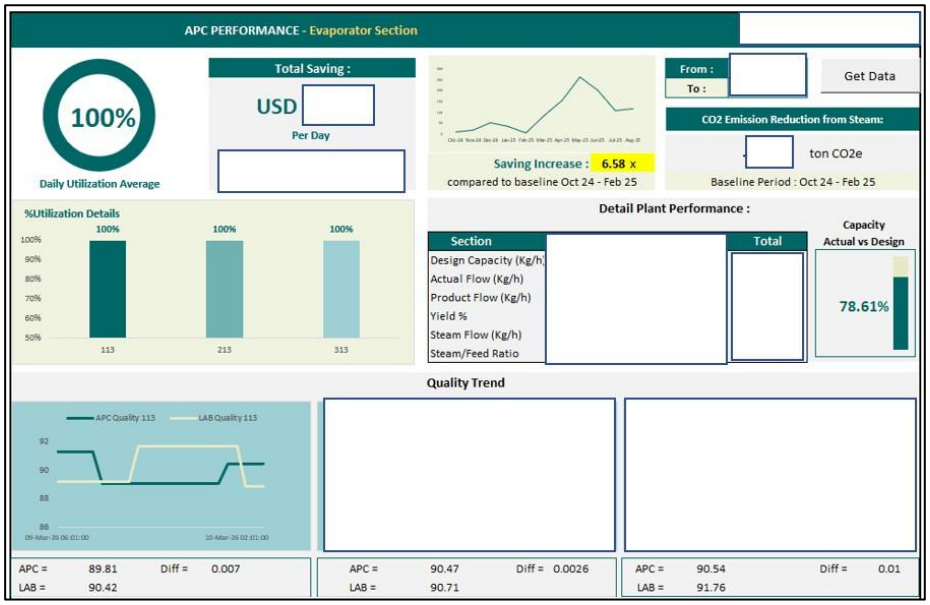


Gambar 3.10 *Framework* Integrasi PIMS dan APC

Tahap berikutnya, Implementasi Integrasi PIMS dan APC dilanjutkan pada D*esign dashboard* KPI, Gambar 3.11 *Dashboard* KPI APC Unit Evaporasi. Di mana pada *dashboard* KPI telah ditambahkan beberapa poin penting di antaranya:

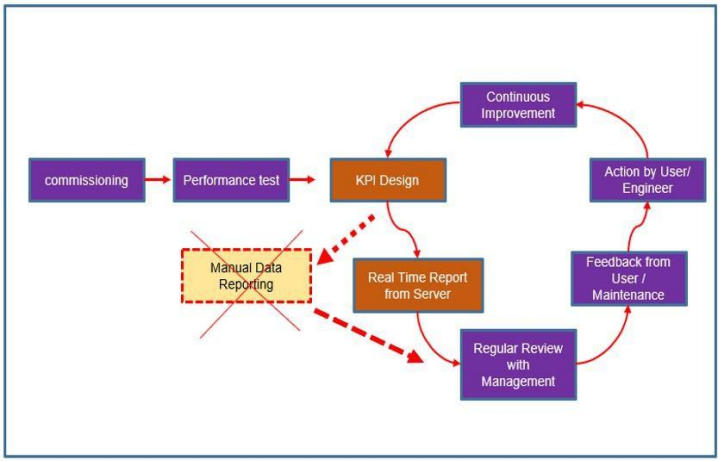
1. % Utilisasi Harian dan Unit dengan utilisasi rendah
   Digunakan untuk memantau tingkat penggunaan APC dan mengidentifikasi unit yang beroperasi di bawah target sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan.
2. Tren dari Kualitas
   Digunakan untuk memantau konsistensi kualitas *crude glycerin* terhadap spesifikasi dan prediksi simulasi APC yang ditetapkan.
3. Nilai penghematan dalam *USD/Bulan*
   Digunakan untuk mengkuantifikasi manfaat ekonomi yang diperoleh dari implementasi APC sehingga memudahkan evaluasi pencapaian target operasional
4. Penggunaan Uap Panas/ rasio *steam-to-feed*
   Digunakan untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan energi pada proses evaporasi dan mendeteksi peningkatan konsumsi steam.
5. Penurunan Nilai CO_2 *Emission*
   Digunakan untuk memantau dampak lingkungan dari program efisiensi energi serta mendukung inisiatif keberlanjutan perusahaan

Dengan adanya *dashboard* KPI tersebut, proses pemantauan kinerja berubah dari pendekatan reaktif berbasis laporan bulanan menjadi pendekatan proaktif berbasis pemantauan *real-time* yang memungkinkan identifikasi dini dan tindakan korektif yang lebih cepat



Gambar 3.11 *Dashboard* APC Unit Evaporasi.

Integrasi PIMS dan APC mengubah siklus penerapan APC dari sistem pelaporan manual menjadi berbasis *dashboard* KPI *real-time*. Terlihat pada Gambar 3.12 Siklus Penerapan APC dan PIMS. Dengan integrasi ini, data KPI dapat diakses secara langsung sehingga meningkatkan kecepatan dan akurasi pengambilan keputusan manajerial serta mengurangi potensi permasalahan operasional pada penerapan APC.



Gambar 3.12 Siklus Penerapan APC dan PIMS

Perbaikan pada aspek lingkungan dilakukan melalui penetapan *Person in Charge* (PIC) untuk pemantauan KPI APC serta penguatan koordinasi antara tim APC, PIMS, *Information Technology* (IT), *Electrical & Instrumentation* (E&I), dan *Original Equipment Manufacturer* (OEM). Langkah ini bertujuan meningkatkan kecepatan respons terhadap gangguan operasional dan memastikan keberlanjutan implementasi APC.

Pada aspek mesin, perbaikan difokuskan pada peningkatan keandalan peralatan yang mendukung kinerja APC, antara lain dengan pemasangan *basket strainer* pada sistem pendingin *Plate Heat Exchanger* (PHE) dan penerapan sistem pemantauan kinerja pergantian filter secara rutin. Meskipun bukan faktor dominan, kondisi peralatan yang andal diperlukan untuk menjaga stabilitas operasi dan efektivitas pengendalian proses.

Perbaikan pada aspek metode dan material dilakukan melalui penetapan rasio operasi yang optimal, penguatan program *preventive maintenance*, serta integrasi APC dengan PIMS sebagai platform pemantauan berbasis data. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pelaksanaan *preventive maintenance* secara berkala mampu menjaga stabilitas rasio konsumsi uap panas dan mencegah penurunan performa evaporator akibat *fouling*. Selain itu, koordinasi dengan pihak utilitas dan penyedia tenaga listrik dilakukan untuk meminimalkan gangguan *power trip* yang berpotensi memengaruhi kinerja APC.

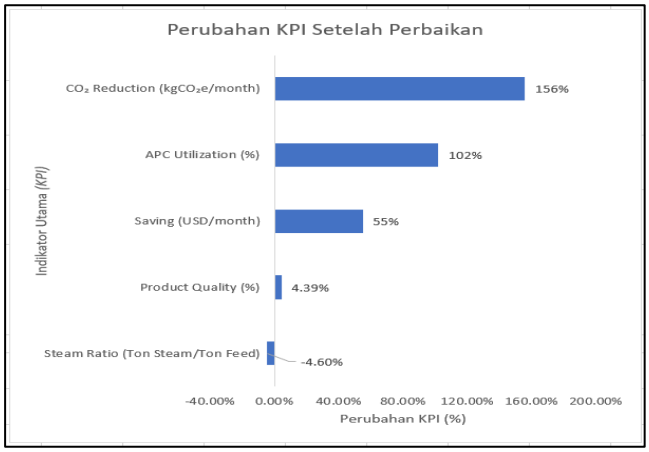
3.4.2 Evaluasi Hasil Perbaikan

Evaluasi hasil perbaikan dilakukan melalui pendekatan *before-and-after performance comparison* dengan membandingkan kondisi operasional sebelum dan sesudah implementasi integrasi APC dan PIMS. Parameter yang dievaluasi meliputi rasio *steam-to-feed*, utilisasi APC, kualitas produk, penghematan biaya operasional, dan penurunan emisi karbon. Pencapaian terlihat pada Tabel 3.7 Ringkasan Kinerja Sebelum dan Sesudah Perbaikan.

Tabel 3.7 Ringkasan Kinerja Sebelum dan Sesudah Perbaikan

KPI	Sebelum	Sesudah	Perubahan
Steam Ratio (ton steam/ton feed)	0.216	0.206	-4.60%
APC Utilization (%)	47	95	102%
Product Quality (%)	86.91	90.72	4.39%
Cost Saving (USD/month)	2,370	3,665	55%
CO_2 Reduction ($kgCO_2e$/month)	35,022	89,512	156%

Secara keseluruhan seluruh parameter KPI menunjukkan perbaikan setelah implementasi integrasi APC dan PIMS. Peningkatan paling signifikan terjadi pada utilisasi APC dan penurunan emisi karbon, sedangkan peningkatan kualitas produk dan efisiensi energi menunjukkan perbaikan yang lebih moderat namun konsisten.



Gambar 3.13 Perubahan KPI Setelah Perbaikan

Berdasarkan hasil evaluasi pada Gambar 3.13 Perubahan KPI Setelah Perbaikan, integrasi APC dan PIMS memberikan peningkatan kinerja yang signifikan pada seluruh indikator utama. Konsumsi energi yang ditunjukkan oleh rasio *Steam-to-Feed* menurun dari 0,216 menjadi 0,206 *ton Steam/ton Feed*, yang menunjukkan peningkatan efisiensi energi sebesar 4,6%. Pada saat yang sama, utilisasi APC meningkat 102% dari 47% menjadi 95%. Peningkatan juga terjadi pada kualitas produk. Rata-rata kemurnian *crude glycerin*

meningkat 4,39% dari 86,91% menjadi 90,72%, sehingga secara konsisten memenuhi spesifikasi minimum sebesar 88%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi energi tidak mengorbankan kualitas produk, tetapi justru mampu meningkatkan stabilitas operasi evaporator. Sedangkan untuk CO_2 *Emission* terlihat terjadi penurunan sebesar 156%.

Meskipun beberapa tindakan perbaikan dilaksanakan secara simultan, hasil analisis *Fishbone, Pareto*, dan triangulasi pakar menunjukkan bahwa akar penyebab dominan penurunan kinerja APC berasal dari faktor manusia dan keterbatasan sistem pemantauan kinerja APC. Faktor-faktor dengan prioritas tertinggi meliputi tidak tersedianya pemantauan KPI secara *real-time*, keterlambatan pelaporan kinerja, rendahnya visibilitas utilisasi APC, serta terbatasnya pemahaman operator terhadap fungsi dan manfaat APC.

Sementara itu, berbagai permasalahan peralatan yang ditemukan dalam penelitian ini pada umumnya telah terjadi selama operasi normal evaporasi dan bukan merupakan fenomena baru setelah implementasi APC. Namun, ketiadaan sistem pemantauan kinerja yang efektif menyebabkan penurunan utilisasi APC dan manfaat operasional tidak terdeteksi secara dini, sehingga kinerja APC mengalami penurunan dibandingkan periode awal implementasinya. Oleh karena itu, integrasi APC dan PIMS dipandang sebagai intervensi utama karena secara langsung mengatasi akar penyebab dominan tersebut melalui penyediaan *dashboard* KPI *real-time*, otomatisasi pengumpulan data, dan peningkatan visibilitas kinerja APC. Adapun pelatihan operator, penunjukan PIC, dan penguatan preventive maintenance berfungsi sebagai tindakan pendukung untuk memastikan keberlanjutan perbaikan yang dicapai.

Penelitian ini menggunakan pendekatan perbandingan kinerja operasional sebelum dan sesudah implementasi perbaikan. Pengujian hipotesis statistik secara formal tidak dilakukan karena penelitian ini merupakan studi kasus industri yang berfokus pada evaluasi implementasi aktual di lapangan dan memiliki keterbatasan jumlah sampel pengamatan independen. Oleh karena itu, evaluasi dilakukan berdasarkan perbandingan indikator kinerja utama dan statistik deskriptif sebelum dan sesudah implementasi.

3.4.3 Implikasi Manajerial

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi *Advanced Process Control* (APC) dan *Process Information Management System* (PIMS) tidak hanya meningkatkan kinerja operasional, tetapi juga memberikan implikasi strategis bagi perusahaan. Integrasi tersebut memungkinkan transformasi proses pemantauan kinerja dari sistem manual menjadi *dashboard* KPI *real-time*, sehingga meningkatkan visibilitas operasional, mempercepat pengambilan keputusan, serta mendukung pelaksanaan perbaikan berkelanjutan berbasis data.

Dari perspektif Manajemen Teknologi Industri (MTI), integrasi APC dan PIMS merepresentasikan implementasi *Information Technology–Operational Technology (IT–OT) Convergence* yang menghasilkan nilai tambah bagi perusahaan melalui peningkatan efisiensi energi, kualitas produk, peningkatan utilisasi, penghematan biaya operasional, serta penurunan emisi karbon. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi berperan sebagai *enabler* utama dalam mendukung transformasi digital, penciptaan keunggulan kompetitif, dan peningkatan keberlanjutan operasional pada industri oleokimia.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor manusia dan keterbatasan sistem pemantauan kinerja merupakan penyebab utama rendahnya utilisasi *Advanced Process Control* (APC) pada proses evaporasi. Rendahnya pemahaman dan konsistensi operator dalam penggunaan APC serta pelaporan kinerja yang masih bersifat manual menjadi faktor dominan yang memengaruhi penurunan kinerja system

Sebagai upaya perbaikan, dilakukan integrasi antara *Advanced Process Control* (APC) dan *Process Information Management System* (PIMS) yang didukung oleh pengembangan *dashboard* KPI *real-time*, peningkatan kompetensi operator, dan penguatan koordinasi operasional. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa integrasi APC dan PIMS mampu meningkatkan kinerja proses evaporasi secara signifikan, ditunjukkan oleh penurunan rasio *steam-to-feed* sebesar 4,6%, peningkatan utilisasi APC dari 47% menjadi 95%, peningkatan kualitas produk dari 86,91% menjadi 90,72%, peningkatan penghematan operasional sebesar 55%, serta peningkatan pengurangan emisi CO_2 hingga 156%. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi APC dan PIMS berperan penting dalam meningkatkan efisiensi energi, stabilitas proses, kinerja operasional, dan keberlanjutan lingkungan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena beberapa program perbaikan dilaksanakan secara bersamaan, meliputi integrasi APC dan PIMS, peningkatan kompetensi operator, penguatan preventive maintenance, pengembangan *dashboard* KPI *real-time*, dan penetapan *Person in Charge* (PIC). Walaupun integrasi APC dan PIMS diposisikan sebagai intervensi utama berdasarkan hasil *Fishbone*, *Pareto*, dan triangulasi pakar, penelitian ini tidak melakukan pengukuran kuantitatif terhadap kontribusi masing-masing inisiatif perbaikan secara individual. Oleh karena itu, peningkatan KPI yang diamati merepresentasikan dampak kolektif dari program perbaikan terintegrasi yang diterapkan pada proses evaporasi.

Penelitian selanjutnya dapat menggunakan pendekatan implementasi bertahap (*phased implementation*) atau metode kuantitatif yang memungkinkan pengukuran kontribusi masing-masing inisiatif perbaikan secara lebih spesifik. Di samping itu kesempatan untuk mengembangkan integrasi APC dan PIMS dengan sistem *early warning*, *predictive analytics*, atau *Laboratory Information Management System* (LIMS) untuk meningkatkan kemampuan pemantauan kinerja dan pengambilan keputusan secara proaktif dapat menjadi rekomendasi berikutnya.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Magister Manajemen Teknologi, Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi (SIMT), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, atas dukungan akademik yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing, dosen penguji, serta seluruh pihak di PT XYZ yang telah memberikan dukungan, data, masukan teknis, dan fasilitasi selama proses penelitian sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik

Referensi

Bauer, M., & Craig, I. K. (2008). Economic assessment of advanced process control – A survey and framework. *Journal of Process Control, 18*(1), 2–18. https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2007.05.007.

Bitkowska, A., Detyna, B., & Detyna, J. (2022). Importance of IT systems in integration of knowledge and business process management. *Issues in Information Systems*, 23(1), 117–130. https://doi.org/10.48009/1_iis_2022_109.

Forbes, M. G., Patwardhan, R. S., Hamadah, H., & Gopaluni, R. B. (2015). *Model predictive control in industry: Challenges and opportunities*. *IFAC-PapersOnLine*, 48(8), 531–538.

Nisrina, S. J., Masviansyah, R., Adiwana, A. W., Kusumasari, I. R., & Hidayat, R. (2025). The role of information systems in improving the efficiency of business decision making. *Jurnal Bisnis dan Komunikasi Digital*, 2(2), 1–10. https://doi.org/10.47134/jbkd.v2i2.3470

Novia, N., Muliady, J., & Prabowo, A. (2019). Simulasi menggunakan program HYSYS pada proses evaporasi *sweet water* di unit evaporasi plant FA II di industri oleochemical. *Jurnal Teknik Kimia, 25*(2), 36–42

Poe, W., & Badgwell, T. (2003). *Advanced process control applications in industry*. ISA.

Poe, W. (2021). *Improving process economics of ammonia plant operations with advanced process control*. AVEVA Whitepaper.

Portal Informasi Indonesia. (2025, Januari 15). *Produsen minyak sawit terbesar di dunia* [Gambar]. Diakses pada 14 November 2025, dari https://indonesia.go.id/assets/upload/mediapublik//WhatsApp_Image_2025-01-15_at_10_53_282.jpeg

Robinson, D., & Cima, J. (2007). *Advanced process control*. In *Chemical Engineering Progress*, 103(3), 34–41.

Setyawan, D., & Sujati, A. (2017). *Dasar-dasar teknik pemisahan dalam industri kimia*. Yogyakarta: Deepublish.