Mitigasi Kegagalan Operation & Maintenance dengan Pendekatan *Overall Measure of Maintenance Performance* (OMMP) dan *Multi-attribute Failure Mode Analysis* (MAFMA) (Studi Kasus: *Sewage Treatment Plant* – PT. XYZ)

Dadan R.H. Sugiharto [1], Minto Basuki [2]
Program Magister Teknik Industri Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya [1,2]
e-mail: dadan.rachmat@gmail.com [1], mintobasuki@itats.ac.id [2]

ABSTRACT

Domestic wastewater makes a major contribution to the pollution of aquatic systems. In order to control the impact caused by domestic wastewater discharge, the Indonesian government issued Regulation of the Minister of the Environment and Forestry of the Republic of Indonesia no. P.68/Menlhk-Setjen/2016 which provides quality standard limits for the discharge of domestic wastewater into aquatic systems. To comply with government regulations and as a concern for the environment, PT XYZ, a cigarette industry in Pasuruan, built a Sewage Treatment Plant (STP) to treat domestic wastewater produced in its factory environment, which employs 2500 employees. Fulfillment of the quality standard for effluent from STP requires proper operation and maintenance strategies in order to avoid failure. Through the approach of the Overall Measure of Maintenance Performance (OMMP) maintenance performance measurement method and the Multi-attribute Failure Mode Analysis (MAFMA) potential failure analysis, the main factors causing potential failure in the operation and maintenance of PT XYZ STP were identified. They are high levels of ammonia in the effluent, overflow of wastewater in the sump pits, and equipment breakdown. Based on the results of the analysis, improvements were made to the STP operation and maintenance system so that the maintenance performance index reached an optimal value and the potential for failure was minimized.

Kata kunci: *failure, operation, maintenance, STP, OMMP, MAFMA*

ABSTRAK

Air limbah domestik memberikan kontribusi yang besar bagi pencemaran sistem perairan. Untuk mengendalikan dampak yang ditimbulkan oleh buangan air limbah domestik, pemerintah menerbitkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia no. P.68/Menlhk-Setjen/2016 yang memberikan batasan baku mutu bagi buangan air limbah domestik ke badan air. Sebagai bentuk kepedulian terhadap lingkungan dan ketaatan terhadap peraturan pemerintah, PT XYZ, suatu industri rokok di Pasuruan membangun *Sewage Treatment Plant* (STP) untuk mengolah air limbah domestik yang dihasilkan di dalam lingkungan pabriknya, yang mempekerjakan 2500 orang karyawan. Untuk memenuhi baku mutu air limbah keluaran (*effluent*) dari STP ini memerlukan strategi operasi dan pemeliharaan yang tepat agar dapat menghindari terjadinya kegagalan. Melalui pendekatan metode pengukuran kinerja pemeliharaan *Overall Measure of Maintenance Performance* (OMMP) dan analisa potensi kegagalan *Multi-attribute Failure Mode Analysis* (MAFMA), faktor utama penyebab kegagalan potensial pada operasi dan pemeliharaan STP PT XYZ berhasil diidentifikasi, yaitu masalah tingginya kadar amoniak pada *effluent*, luberan air limbah di *sump pit*, dan *equipment breakdown*. Berdasarkan hasil analisa ini dilakukan perbaikan terhadap sistem operasi dan pemeliharaan STP sehingga indeks kinerja pemeliharaan mencapai nilai yang optimal dan potensi kegagalan dapat diminimalkan.

Kata kunci: kegagalan, operasi, pemeliharaan, STP, OMMP, MAFMA

PENDAHULUAN

Menghadapi semakin beratnya beban pencemaran terhadap sistem perairan yang disebabkan oleh buangan air limbah domestik, pemerintah Republik Indonesia menerbitkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia no. P.68/Menlhk-Setjen/2016, atau biasa disebut sebagai Permenlhk no. 68/2016, yang menetapkan baku mutu buangan air limbah yang ketat. Penetapan peraturan ini menimbulkan paradigma baru dalam teknologi pengolahan air limbah domestik karena untuk memenuhinya sistem model lama, yang hanya mengandalkan biofilter anaerobik, tidak lagi memadai tetapi harus diolah dalam *Sewage Treatment Plant* (STP) yang meliputi proses anaerobik, aerobik, pengendapan, filtrasi, dan disinfeksi [1].

Untuk memenuhi ketentuan tersebut, PT XYZ, sebuah industri penghasil rokok kretek yang berlokasi di Pasuruan, dengan jumlah karyawan sebanyak 2500 orang, mengoperasikan STP untuk mengolah air limbah domestik yang dihasilkan di lingkungan pabriknya. Persoalan yang dihadapi dalam operasi dan pemeliharaan STP adalah bagaimana mencegah terjadinya kegagalan, yaitu terlampauinya baku mutu

effluent, munculnya gangguan terhadap lingkungan, *equipment breakdown*, dan kecelakaan kerja. Oleh karena itu, untuk meminimalkan kegagalan sistem operasi dan pemeliharaan STP, perlu dilakukan pengukuran terhadap kinerja pemeliharaannya serta dibuat analisis terhadap berbagai potensi kegagalannya.

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran kinerja pemeliharaan STP di PT XYZ dengan metode OMMP (*Overall Measure of Maintenance Performance*) dan analisis potensi kegagalan dengan metode MAFMA (*Multi-atribute Failure Mode Analysis*). Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan tolok ukur pengukuran kinerja pemeliharaan STP dengan metode OMMP, menentukan tolok ukur analisis potensi kegagalan operasi dan pemeliharaan STP dengan metode MAFMA, dan merancang strategi mitigasi kegagalan dalam proses operasi dan pemeliharaan STP dengan berbasis pengukuran kinerja pemeliharaan OMMP dan analisis potensi kegagalan MAFMA.

Beberapa peneliti pernah melakukan penelitian terhadap operasi dan pemeliharaan serta mitigasi risiko sistem pengolahan air dan limbah, antara lain Simamora dan Kurniati (2009) yang meneliti mengenai risiko lingkungan pada pengolahan limbah industri suatu pabrik bumbu masak [2], Abdallah (2014) yang meneliti tentang sistem operasi dan pemeliharaan air limbah komunal di Mesir [3], serta Perdana dan Karnaningroem (2017) yang meneliti tentang mitigasi risiko pada IPAL Pelabuhan dengan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) [4]. Penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan ini lebih menitikberatkan fokusnya pada aspek risiko terhadap lingkungan, tetapi tidak membahas mengenai biaya sebagai komponen risiko kegagalan operasi serta pengukuran kinerja pemeliharaannya.

Penelitian mengenai mitigasi kegagalan yang dilakukan terhadap sistem STP di PT XYZ ini berfokus pada sistem pengolahan air limbah domestik suatu industri padat karya, yang belum pernah didiskusikan sebelumnya. Di samping itu, penerapan metode OMMP dan MAFMA sebagai kombinasi metode untuk mencegah kegagalan suatu sistem operasi dan pemeliharaan juga belum pernah didiskusikan sebelumnya. Diharapkan setelah penelitian ini mendorong munculnya penelitian-penelitian lain yang berfokus pada operasi dan pemeliharaan STP, serta metode pengukuran kinerja pemeliharaan OMMP dan analisa potensi kegagalan MAFMA yang akan semakin memperkaya khazanah ilmu pengetahuan.

TINJAUAN PUSTAKA

Air Limbah Domestik

Air limbah domestik adalah air yang telah digunakan oleh masyarakat dan mengandung semua bahan yang ditambahkan kepada air selama penggunaannya. Dengan demikian air limbah domestik terdiri dari limbah tubuh manusia (tinja dan urin) bersama dengan air yang digunakan untuk menyiram toilet, dan air limbah yang dihasilkan dari kegiatan mencuci perlengkapan pribadi, mencuci pakaian, menyiapkan makanan dan membersihkan peralatan dapur [5]. Terdapat banyak permasalahan yang ditimbulkan oleh air limbah domestik dalam badan air, antara lain berkurangnya oksigen terlarut dalam air yang dapat menghambat pertumbuhan biota, tumbuhan, dan hewan yang seharusnya hidup secara alami dalam badan air tersebut. Kandungan mikroorganisme dalam air limbah domestik juga dapat menyebabkan penyebaran penyakit bagi manusia dan hewan yang mengkonsumsi air dari badan air tersebut [6].

Untuk memenuhi baku mutu sebagaimana tercantum dalam Permenlhk no.68/2016, sebelum dibuang ke sistem perairan, air limbah domestik harus diolah dalam suatu sistem *Sewage Treatment Plant* (STP) yang proses intinya adalah proses anaerobik, aerobik, dan disinfeksi. Untuk menyempurnakan proses pengolahan air limbah domestik ini ditambahkan unit penyaring padatan (*screen*), pemisah minyak dan lemak (*grease trap*), pengendapan, dan filtrasi [7]. Sistem STP beroperasi secara dinamis karena dalam pencapaian target operasinya terdapat banyak hal yang harus diperhatikan, antara lain perubahan jumlah dan karakteristik air limbah yang masuk ke dalam sistem, sumbatan yang terjadi pada *screen*, volume lemak yang terkumpul, volume lumpur yang terbentuk, kondisi peralatan, kondisi mikroorganisme, dan lain-lain. Untuk itu, pelaksana operasi STP harus mampu untuk memantau setiap fenomena yang terjadi pada unit STP dan mengendalikan proses operasinya dan merawat peralatan pendukungnya agar sistem berjalan dengan baik [8].

Pengukuran Kinerja Pemeliharaan OMMP

Pemeliharaan didefinisikan sebagai kegiatan yang bersifat terus menerus untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Apabila sistem, infrastruktur, proses, dan prosedur yang tepat sudah tersedia dan dijalankan dengan baik serta konsisten, maka kerugian dapat diminimalkan, operasi akan menjadi stabil, hasil produksi akan maksimal, dan kualitas produk yang tinggi dapat diperoleh secara konsisten [9].

Untuk memantau kemajuan implementasi strategi pemeliharaan diperlukan sebuah pengukuran kinerja pemeliharaan [10]. *Overall Measure of Maintenance Performance* (OMMP) adalah metode yang mengukur kinerja pemeliharaan dengan menghitung sejumlah indikator pemeliharaan, yang dikelompokkan dalam 3 kelompok perspektif kinerja yaitu *maintenance administration*. *maintenance effectiveness*, dan *maintenance cost* [11]. Indikator kinerja pemeliharaan merupakan rasio-rasio dari berbagai aspek dalam aktivitas pemeliharaan, antara lain sebagaimana tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pengukuran Kinerja Pemeliharaan [11]

Katagori	Parameter	Rasio untuk Pengukuran Kinerja	Nilai yang diharapkan
Maintenance Administration	Efisiensi Tenaga Kerja (ETK)	ETK = $\frac{Jumlah\ jam\ yang\ digunakan\ sesuai\ jadwal}{Jumlah\ jam\ terjadwal}$	1
	Utilisasi Waktu Pemeliharaan (UWP)	UWP = $\frac{Jumlah\ jam\ standar\ untuk\ pemeliharaan}{Jumlah\ aktual\ jam\ terpakai}$	1
	Pemenuhan *Preventive Maintenance* (PPM)	PPM = $\frac{Jumlah\ manhours\ untuk\ PM}{Total\ manhours}$	stabil
Maintenance Effectiveness	*Downtime* Peralatan karena *Breakdown* (DPB)	DPB = $\frac{Jumlah\ downtime\ karena\ breakdown}{Total\ downtime}$	0
	Evaluasi *Preventive Maintenance* (EPM)	EPM = $\frac{Jumlah\ inspeksi\ PM\ yang\ diselesaikan}{Jumlah\ inspeksi\ PM\ yang\ dijadwalkan}$	1
Maintenance Cost	Tingkat Keparahan *Breakdown* (TKB)	TKB = $\frac{Total\ biaya\ perbaikan\ breakdown}{Total\ jumlah\ breakdown}$	0

Untuk mendapatkan bobot perbandingan yang setara di antara masing-masing indikator maka dibuat indeks setiap indikator dengan perhitungan sebagai berikut:

$Indeks_{ETK}$ = ETK ……(1)
$Indeks_{UWP}$ = UWP ……(2)
$Indeks_{PPM}$ = PPM ……(3)
$Indeks_{DPB}$ = 1 – DPB ……(4)
$Indeks_{EPM}$ = EPM ……(5)
$Indeks_{TKB}$ = 1 – (TKB/□TKB) ……(6)

Keterangan: □TKB adalah akumulasi Tingkat Keparahan Breakdown (TKB) pada periode waktu yang diukur

Dengan perhitungan indeks ini maka indikator kinerja ETK, UWP, DPB, EPM, dan TKB memiliki nilai indeks terbaik adalah 1 dan nilai indeks terburuk adalah 0. Sementara indikator PPM dikatakan baik apabila stabil pada angka tertentu selama periode pengamatan.

Analisa Potensi Kegagalan MAFMA

Metode untuk menganalisis potensi kegagalan yang sudah banyak diterapkan adalah metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) yang berperan dalam mengidentifikasi produk dan proses yang berpotensi mengalami kegagalan, menganalisa efek yang timbul karena kegagalan, mengidentifikasi penyebab terjadinya kegagalan serta mengidentifikasi variabel-variabel dalam proses untuk mengontrol proses tersebut, memberi peringkat untuk setiap mode kegagalan dalam menentukan prioritas untuk melakukan tindakan perbaikan [12]. MAFMA (*Multi-attribute Failure Mode Analysis*) merupakan model pengembangan FMEA yang mengintegrasikan aspek konvensional dalam FMEA dengan aspek biaya dalam mengevaluasi setiap kemungkinan penyebab kegagalan, yaitu dengan mengukur peluang kegagalan (*chance of failure*), kemungkinan tidak terdeteksi (*chance of non-detection*), keparahan kegagalan (*failure severity*), dan perkiraan biaya (*expected cost*) [13].

Dalam penerapan metode MAFMA, setiap data potensi kegagalan dimasukkan ke dalam Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Analisa potensi kegagalan [12]

Mode Kegagalan Potensial	Efek potensial dari kegagalan	*Failure Severity*	Penyebab potensial	*Chance of Occurance*	Pengendalian proses yang dilakukan	*Chance of Non-Detection*	Biaya Pengendalian	*Expected Cost*
Apa yang gagal? Tidak berfungsi Fungsi menurun Kadang-kadang berfungsi	Apa efeknya?	Seberapa parahkah?	Apa yang menjadi penyebabnya?	Berapa sering terjadinya?	Bagaimana dapat dicegah dan dideteksi ?	Seberapa baik metode tersebut mencegahi?	Berapa perkiraan biaya yang diperlukan untuk pengendalian kegagalan?	Seberapa besar biaya untuk pengendaliannyai?

Dari data mode kegagalan sebagaimana tercantum pada tabel di atas, dilakukan analisis dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Dalam kaitannya dengan MAFMA, hirarki AHP disusun sebagai pohon tiga tingkat, di mana tingkat teratas mewakili tujuan utama pemilihan penyebab kegagalan dan tingkat terendah terdiri dari alternatif (kemungkinan) penyebab kegagalan. Penentuan peringkat prioritas penyebab kegagalan dilakukan dengan pembobotan dan perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) sehingga mempermudah analisis secara efektif dan efisien [13].

METODE

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah pendefinisian masalah, yaitu pemetaan masalah yang menjadi landasan dalam penelitian. Masalah yang dimaksudkan dalam hal ini adalah *Key Performance Indicator* (KPI) yang harus dipenuhi dalam pelaksanaan operasi dan pemeliharaan STP.

Tahapan kedua adalah melakukan pengumpulan data primer dan sekunder terkait STP PT XYZ. Data yang dikumpulkan adalah data tentang proses STP berikut peralatan pendukungnya, data mengenai seluruh aspek yang terkait kegiatan pemeliharaan STP, dan data yang terkait dengan operasional STP berikut permasalahan-permasalahan yang muncul.

Tahapan ketiga adalah melakukan analisis yang berupa pengukuran kinerja pemeliharaan dengan menggunakan metode OMMP dan analisis potensi kegagalan dengan metode MAFMA. Dari pengukuran kinerja pemeliharaan OMMP diperoleh hasil berupa parameter ukur indeks kinerja pemeliharaan yang nilainya antara 0 sampai 1, sementara dari analisis potensi kegagalan MAFMA diperoleh hasil berupa urutan prioritas penyebab kegagalan.

Tahap terakhir adalah melakukan evaluasi terhadap sistem operasi dan pemeliharaan STP berdasarkan indeks hasil pengukuran kinerja pemeliharaan OMMP dan urutan prioritas penyebab kegagalan hasil analisis potensi kegagalan MAFMA. Dari evaluasi ini dihasilkan rekomendasi perbaikan untuk mencegah terjadinya kegagalan. Dalam penelitian ini, rekomendasi dijadikan umpan balik yang ditindaklanjuti dengan beberapa langkah perbaikan untuk mencegah kegagalan dan kemudian dilihat pencapaiannya terhadap KPI operasi dan pemeliharaan STP.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Key Performace Indicator (KPI) Operasi dan Pemeliharaan STP

Dalam operasi dan pemeliharaan STP tidak diberikan toleransi terhadap kegagalan operasional, terutama yang terkait dengan pencapaian baku mutu *effluent* dan keselamatan kerja (*safety*). *Key Performance Indicator* (KPI) operasi dan pemeliharaan STP yang harus dipenuhi adalah:

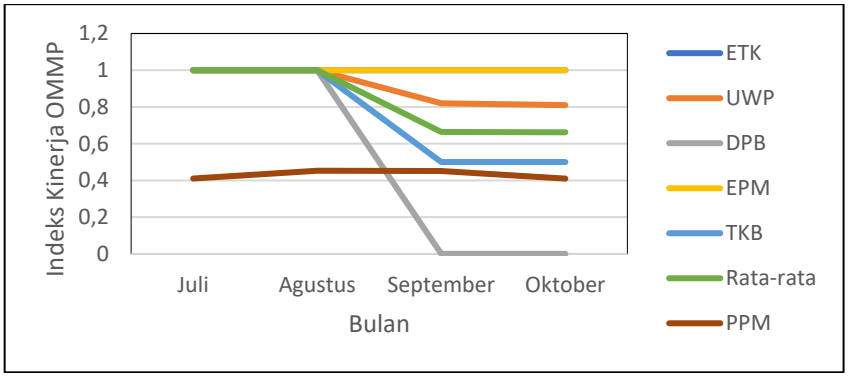
a. Tidak ada parameter dalam *effluent* STP yang melampaui baku mutu yang ditetapkan dalam Permenlh no. 68/2016

b. Tidak ada gangguan yang ditimbulkan oleh air limbah domestik terhadap lingkungan, misalnya: bau atau luberan air limbah
c. Tidak ada penghentian operasi sistem ataupun peralatan yang tidak direncanakan (*unplanned downtime*)
d. Tidak ada kecelakaan kerja

Apabila salah satu atau beberapa kondisi di atas terjadi, maka operasi dan pemeliharaan STP dinyatakan mengalami kegagalan (*failure*).

Pengukuran Kinerja Pemeliharaan OMMP

Pengukuran kinerja pemeliharaan STP dilakukan berdasarkan data kegiatan pemeliharaan selama 4 bulan, yaitu bulan Juli, Agustus, September, dan Oktober 2021. Hasil pengukuran kinerja pemeliharaan periode tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Indeks Kinerja Pemeliharaan STP Juli – Oktober 2021

Indeks Efisiensi Tenaga Kerja (ETK) pada periode bulan Juli – Oktober stabil pada nilai 1, menunjukkan bahwa teknisi selalu hadir di lokasi sesuai jadwal yang sudah ditentukan. Indeks Evaluasi *Preventive Maintenance* (EPM) juga stabil pada nilai 1 yang berarti bahwa teknisi melakukan seluruh tugas *preventive maintenance* yang dijadwalkan. Indeks Pemenuhan *Preventive Maintenance* (PPM) pada level 40-45% menunjukkan pembagian jadwal kegiatan *preventive maintenance* yang merata pada setiap bulan. Indeks Utilisasi Waktu Pemeliharaan (UWP), *Downtime* Peralatan karena *Breakdown* (DPB), dan Tingkat Keparahan *Breakdown* (TKB) menunjukkan penurunan yang signifikan pada bulan September dan Oktober. Hal ini karena pada bulan September terjadi kerusakan pada pompa transfer di *Sump Pit*-2 dan pada bulan Oktober terjadi kerusakan pada pompa transfer di *Sump Pit*-1. Sehingga secara keseluruhan, indeks kinerja pemeliharaan rata-rata dapat mencapai hasil yang sempurna yaitu 1 pada bulan Juli dan Agustus, tetapi pada bulan September dan Oktober mengalami penurunan menjadi 0,67.

Analisa Potensi Kegagalan MAFMA

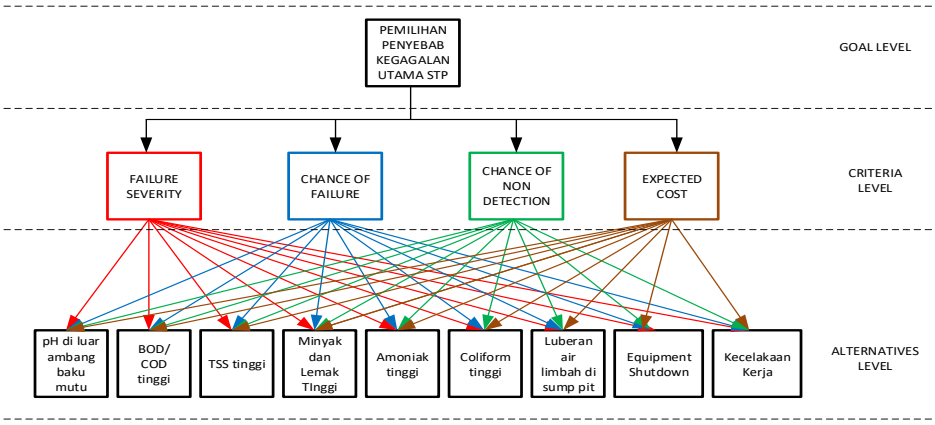
Berdasarkan *focus group discussion* dengan tim operasi dan pemeliharaan diperoleh faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan beserta bobot kriteria *failure severity* (FS), *chance of failure* (CF), *chance of non-detection* (ND) dan *expected cost* (EC) pada setiap faktor tersebut. Daftar faktor penyebab kegagalan operasi dan pemeliharaan STP beserta bobotnya masing-masing terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Daftar Faktor Penyebab Kegagalan STP

No	Mode Kegagalan Potensial		FS	CF	ND	EC
1	pH di luar rentang baku mutu	(PH)	4	1	2	2
2	BOD/COD tinggi di *effluent*	(BC)	4	1	4	3
3	Kandungan padatan tersuspensi (TSS) tinggi di *effluent*	(TSS)	4	1	3	4
4	Kandungan minyak dan lemak yang tinggi memasuki sistem biologis	(OIL)	4	1	2	1
5	Kandungan amoniak yang tinggi di *effluent*	(AM)	4	4	4	3
6	Kandungan Coliform tinggi di *effluent*	(CO)	4	3	3	3
7	Luberan air limbah di *sump pit*	(LUB)	4	3	3	4
8	*Equipment breakdown*	(EBD)	4	2	3	5

9	Kecelakaan kerja di lokasi	(KK)	5	1	1	5

Untuk menentukan prioritas penyebab kegagalan dengan *Analytical Hierarcy Process* (AHP) terlebih dahulu dibuat diagram pohon hirarki AHP pemilihan penyebab utama kegagalan STP sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram pohon hirarki AHP pemilihan penyebab utama kegagalan STP

Langkah berikutnya adalah melakukan sintesa pada *criteria level* yang diawali dengan menentukan tingkat kepentingan perusahaan terhadap setiap elemen kriteria dan diperoleh hasil sebagaimana pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Tingkat kepentingan perusahaan terhadap 4 komponen kriteria kegagalan

Failure Severity (FS)	Lebih penting daripada *Chance of Failure* (CF)
	Agak lebih penting daripada *Chance of Non-detection* (ND)
	Lebih penting daripada *Expected Cost* (EC)
Chance of Failure (CF)	Agak kurang penting daripada *Chance of Non-detection* (ND)
	Agak kurang penting daripada *Expected Cost* (EC)
Chance of Non-detection (ND)	Agak lebih penting daripada *Expected Cost* (EC)

Dengan berdasarkan daftar faktor penyebab kegagalan, bobot faktor penyebab kegagalan dan tingkat kepentingan perusahaan terhadap setiap kriteria kegagalan, dilakukan analisis AHP yang hasilnya adalah urutan prioritas penyebab kegagalan sebagaimana tercantum pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Urutan Penyebab Kegagalan STP periode Juli – Oktober 2021

No	Mode Kegagalan Potensial		Bobot
1	Kandungan amoniak yang tinggi di *effluent*	(AM)	12.87%
2	*Equipment breakdown*	(EBD)	11.92%
3	Luberan air limbah di *sump pit*	(LUB)	11.91%
4	BOD/COD tinggi di *effluent*	(BC)	11.54%
5	Kandungan Coliform tinggi di *effluent*	(CO)	11.46%
6	Kandungan padatan tersuspensi (TSS) tinggi di *effluent*	(TSS)	11.02%
7	Kecelakaan kerja di lokasi	(KK)	11.00%
8	pH di luar rentang baku mutu	(PH)	9.15%
9	Kandungan minyak dan lemak yang tinggi memasuki sistem biologis	(OIL)	9.13%

Perbaikan Sistem Operasi dan Pemeliharaan STP

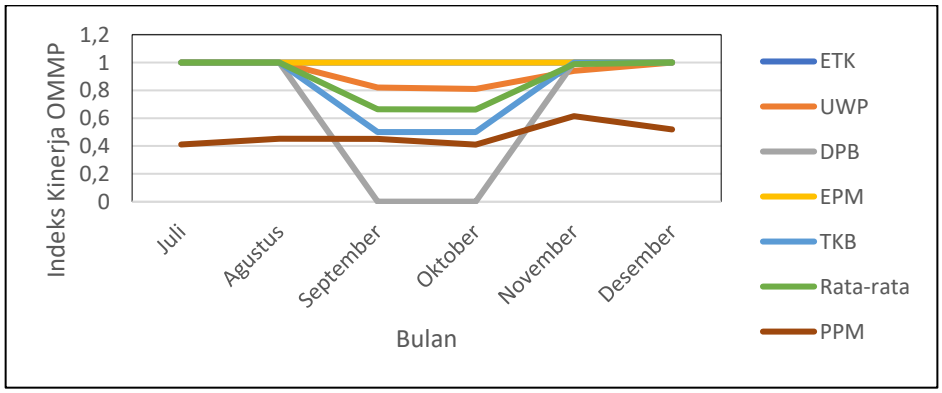
Berdasarkan pengukuran kinerja pemeliharaan OMMP terlihat bahwa terjadi penurunan indeks kinerja pemeliharaan STP pada bulan September dan Oktober 2021 yang disebabkan terjadinya *breakdown* pada pompa *sump pit*-1 dan pompa *sump pit*-2 akibat kotoran padat yang menyumbat putaran *impeller* pompa. Analisis potensi kegagalan MAFMA menghasilkan urutan penyebab kegagalan potensial dengan 3 faktor urutan teratas adalah kandungan amoniak yang tinggi di *effluent*, *equipment breakdown*, dan luberan air

limbah di *sump pit*. Berdasarkan analisis di atas, disampaikan rekomendasi kepada tim operasi dan pemeliharaan STP bahwa perbaikan sistem operasi dan pemeliharaan diprioritaskan pada 3 penyebab kegagalan tersebut yaitu:

Tabel 6. Rekomendasi Perbaikan

No	Penyebab Kegagalan	Kemungkinan penyebab munculnya masalah	Rekomendasi perbaikan
1	Kadar amoniak tinggi di *effluent*	Tingkat oksidasi kurang	Pengecekan terhadap sistem injeksi udara (*air blower*, perpipaan, diffuser)
			Meningkatkan kadar residual *chlorine*
		Endapan lumpur (*sludge*) yang tidak segera dibuang sehingga menyebabkan pembusukan yang menghasilkan gas amoniak	Memeriksa kondisi fisik *sedimentation tank* untuk memastikan tidak ada titik yang membuat lumpur tertahan dan tidak terbuang
			Menjadwal ulang pembuangan lumpur rutin dari *sedimentation tank* ke *sludge disposal tank*
2	*Equipment breakdown*	Usia peralatan sudah tua	Meningkatkan jadwal aktivitas *preventive maintenance* terutama pada unit yang rawan *breakdown*
		Preventive maintenance tidak berjalan efektif	
3	Luberan air limbah di *sump pit*	Pompa transfer tidak berfungsi	Meningkatkan jadwal pengecekan dan *preventive maintenance* di lokasi *sump pit*
		Water level control tidak berfungsi	
		Pompa tersumbat kotoran padatan	

Menindaklanjuti rekomendasi ini, tim operasi dan pemeliharaan STP melakukan beberapa perbaikan dalam prosedur operasi dan pemeliharaan STP yang dimulai pada bulan November 2021 sehingga kinerja operasi pemeliharaan pada periode bulan November – Desember 2021 mengalami peningkatan. Rekapitulasi pengukuran kinerja pemeliharaan OMMP hingga bulan Desember 2021 terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Indeks Kinerja Pemeliharaan STP Juli – Desember 2021

Dengan perbaikan yang dilakukan pada sistem operasi dan pemeliharaan STP, indeks kinerja pemeliharaan STP rata-rata dari 5 parameter yang diukur dapat kembali ke kondisi terbaik dengan nilai indeks 1 karena tidak adanya *equipment breakdown* selama periode November – Desember 2021. Sementara itu, indeks pemenuhan *preventive maintenance* (PPM), pada periode November – Desember 2021 mengalami perubahan yang signifikan dari level 40-45% naik ke level 50-60%. Kenaikan indeks PPM ini karena penambahan jadwal pekerjaan *preventive maintenance* yang dilakukan tim operasi dan pemeliharaan STP mulai bulan November 2021 untuk mencegah terjadinya *equipment breakdown* dan luberan air limbah di *sump pit*.

Berdasarkan data harian operasional STP pada bulan November dan Desember 2021, STP mengalami peningkatan kinerja, yaitu kadar amoniak di *effluent* yang selalu di bawah baku mutu yang ditetapkan serta tidak terjadi *equipment breakdown* dan luberan air limbah di *sump pit*. Analisis potensi kegagalan MAFMA

yang dilakukan pada periode bulan November – Desember 2021 menghasilkan urutan prirotas penyebab kegagalan seperti pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Urutan Penyebab Kegagalan STP periode Juli – Oktober 2021

No	Mode Kegagalan Potensial		%
1	Kandungan amoniak yang tinggi di *effluent*	(AM)	11.95
2	BOD/COD tinggi di *effluent*	(BC)	11.95
3	*Equipment breakdown*	(EBD)	11.88
4	Kandungan padatan tersuspensi (TSS) tinggi di *effluent*	(TSS)	11.43
5	Luberan air limbah di *sump pit*	(LUB)	11.43
6	Kecelakaan kerja di lokasi	(KK)	11.41
7	Kandungan Coliform tinggi di *effluent*	(CO)	10.98
8	pH di luar rentang baku mutu	(PH)	9.56
9	Kandungan minyak dan lemak yang tinggi memasuki sistem biologis	(OIL)	9.41

Analisis potensi kegagalan MAFMA setelah periode operasi bulan November dan Desember 2021, menunjukkan bahwa tingginya kadar amoniak tetap menjadi faktor potensial utama penyebab kegagalan sistem operasi dan pemeliharaan STP, yang disusul oleh tingginya kadar BOD/COD dan *equipment breakdown*. Ketiga faktor inilah yang harus menjadi fokus bagi tim operasi dan pemeliharaan STP PT XYZ di masa mendatang untuk mencegah terjadinya kegagalan dalam operasi dan pemeliharaan STP.

KESIMPULAN

Pengukuran kinerja pemeliharaan dengan metode OMMP dengan indikator Efisiensi Tenaga Kerja, Utilisasi Waktu Pemeliharaan, Pemenuhan *Preventive Maintenance*, Evaluasi *Preventive Maintenance*, *Downtime* karena *Breakdown*, dan Tingkat Keparahan *Breakdown* dapat mengidentifikasi faktor kegagalan operasi dan pemeliharaan STP. Analisis potensi kegagalan MAFMA juga berhasil mengidentifikasi faktor-faktor utama penyebab kegagalan pada sistem operasi dan pemeliharaan STP yang menjadi landasan bagi perbaikan sistem, di mana urutan peringkat utama penyebab kegagalan adalah kandungan amoniak di *effluent*, *equipment breakdown*, dan luberan air limbah di *sump pit*. Berdasarkan pengukuran kinerja pemeliharaan OMMP dan analisis potensi kegagalan MAFMA ini dihasilkan rekomendasi perbaikan prosedur yang diterapkan untuk mencegah kegagalan dalam operasi dan pemeliharaan STP di periode berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. I. Said and W. Widayat, *Perencanaan dan Pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob*, 1st ed. Gosyen Publishing, 2019.

[2] Y. Simamora and N. Kurniati, "Analisis Risiko pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT Ajinomoto Berdasarkan Konsep Manajemen Risiko Lingkungan," 2010.

[3] M. N. Abdallah, "Wastewater Operation and Maintenance in Egypt (Specific Challenges and Current Responses)," *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, vol. 18, no. 2, pp. 125–142, 2014,

[4] D. I. Perdana and N. Karnaningroem, "Risk Analysis and Optimization of Fishing Port Waste Water Treatment Plant Using Fault Tree Analysis Method," *J. Appl. Environ. Biol. Sci*, vol. 7, no. 2, pp. 134–141, 2017,

[5] D. Mara, *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries (Mara)*. Earthscan, 2004.

[6] A. Santoso, N. Karnaningroem, and D. B. Supriyadi, "Perencanaan Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Alternatif Media Biofilter (Studi Kasus : Kejawan Gebang Kelurahan Keputih Surabaya)," Surabaya, 2015.

[7] N. I. Said, *Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi*. Penerbit Erlangga, 2017.

[8] J. Matias, J. Catalao, S. Azevedo, and J. Calais, "Management and Operations Maintenance for a Water Treatment and Supply Company," *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, vol. 25, no. 3, pp. 360–382, Feb. 2017.

[9] R. K. Mobley, *Maintenance Engineering Handbook*, 7th ed. McGraw-Hill, 2008.

[10] E. Sari, Sunaryo, and M. Dachyar, "Perancangan Maintenance Scorecard dan Penggunaan Metode Analytical Hierarchy Process Dalam Penentuan Bobot Key Performance Indicator (Studi Kasus Di PT EMHO)," 2010.
[11] C. Davies and R. M. Greenough, "Measuring the Effectiveness of Lean Thinking Activities within Maintenance," 2003
[12] D. Hetharia, "Penentuan Penyebab Kegagalan Potensial dalam Rangka Peningkatan Kualitas Produk Kabel Menggunakan Metode Multi Attribute Failure Mode Analysis," 2009.
[13] M. Braglia, "MAFMA: Multi-attribute Failure Mode Analysis," *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 17, no. 9, pp. 1017–1033, 2000, doi: 10.1108/02656710010353885.