

Identifikasi Penyebab Kebocoran *Steam* pada Flange Menggunakan Metode *Fishbone Diagram* dan Implementasi *Preventive Maintenance* untuk Menjaga Kinerja Distribusi *Steam*, Studi Kasus di PT ABC

Abdul Aziz Ikhwanul Hakim¹, Lazuardi Akmal Islami^{1,*}, Dodi Iwan Sumarno¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Komputer, dan Desain, Universitas Nusa Putra, Indonesia, 43152

Article Info

Article history:

Received: 02 April 2024

Revised: 20 Mei 2024

Accepted: 23 Mei 2024

Keywords:

Fishbone Diagram

Flange

Preventive Maintenance

ABSTRAK

Proses distribusi uap steam dari boiler ke produksi melalui pipa, pipa tersebut ada beberapa sambungan *flange* yang menghubungkan dari pipa satu ke pipa lainnya, akan tetapi pada sambungan *flange* sering terjadi masalah kebocoran. Penelitian ini bertujuan untuk bisa menganalisa penyebab kebocoran, mencegah dan memperbaiki kebocoran *steam* pada bagian *flange* yang bisa mempengaruhi proses pada saat pengolahan pangan maupun non pangan pada PT ABC. Metode analisis yang digunakan yaitu metode *fishbone* dengan tahap awal yaitu identifikasi lapangan dan pengumpulan data, pemeriksaan *flange* pada saluran steam, analisis metode *fishbone*, perencanaan perawatan pencegahan kebocoran di area *flange* dan pengecekan hasil *preventive maintenance*. Hasil dari analisis metode *fishbone* ada 5 faktor yang menjadi penyebab kebocoran steam pada *flange*, manusia, mesin, material, metode, dan lingkungan, pada proses implementasi *preventive maintenance* pada faktor metode dan faktor lingkungan mendapatkan hasil yang signifikan pada area *flange* yang awalnya area *flange* mengalami basah dan kotor setelah dilakukan implementasi *preventive maintenance* area *flange* menjadi bersih dan kering sehingga mengatasi masalah sejak dini sebelum masalah tersebut berkembang menjadi lebih serius.

*Corresponding Author:

Lazuardi Akmal Islami

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Komputer, dan Desain, Indonesia, 43152

Email: lazuardi.akmal@nusaputra.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56904/imejour.v2i1.44>

1. PENDAHULUAN

PT ABC merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri makanan dan minuman, terutama dalam produksi produk susu di Kabupaten Sukabumi. Sistem operasionalnya, *steam* digunakan dalam berbagai proses produksi. Kebocoran pada komponen seperti *flange* dapat mengakibatkan gangguan pada rantai produksi dan potensi kerugian finansial. Pada proses distribusi uap *steam* dari *boiler* atau *steam generator* ke produksi melalui pipa, pada pipa tersebut ada beberapa sambungan yang menghubungkan dari pipa satu ke pipa lainnya, terdapat salah satu komponen penyambung diantara pipa yaitu *flange*. *Flange* merupakan sebuah komponen mekanis yang biasanya berbentuk seperti cakram atau pelat datar dengan lubang di tengahnya [1].

Berdasarkan data yang diperoleh di PT ABC di departemen *Engineering* pada bagian *Utility* terdapat empat permasalahan yang ditemukan, di antaranya, kebocoran pada *flange*,

kurangnya suhu *freezer* di *chamber*, *dosing pump* error dan van mati. Kebocoran pada flange menjadi salah satu masalah yang sering terjadi. Oleh karena itu saya memilih untuk melakukan pemeriksaan, perawatan dan pencegahan kebocoran pada *flange* ini dikarenakan pada saat mesin sedang berjalan efek dari kebocoran *flange* sangat berpengaruh di antaranya, untuk suplai *steam* yang akan berkurang ke produksi dan *lost time* juga berpengaruh pada pemakaian air gas dan listrik akan boros pada *boiler* [2].

Salah satu pendekatan yang sesuai untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah menggunakan metode tulang ikan, yang juga dikenal sebagai diagram tulang ikan untuk melakukan analisis akar penyebab. Metode ini membantu mengidentifikasi berbagai faktor yang berpotensi menjadi penyebab kebocoran uap pada *flange*, mencakup faktor-faktor seperti manusia, prosedur kerja, bahan, lingkungan, dan faktor-faktor lainnya [3].

Pengimplementasian *preventive maintenance* atau pemeliharaan *preventive* merupakan suatu pendekatan untuk menjaga peralatan atau komponen agar tetap berfungsi dengan baik dan mencegah potensi kerusakan atau gangguan. Pembahasan konteks kebocoran *steam* pada *flange*, *preventive maintenance* dapat membantu mengurangi resiko kebocoran melalui pemeliharaan rutin dan perawatan terjadwal [4].

2. METODE

Flange merupakan salah satu komponen yang sering digunakan dalam industri, terutama dalam sistem perpipaan dan sistem pengaliran fluida. *Flange* berfungsi sebagai penghubung antara pipa dengan peralatan atau komponen lainnya, seperti pompa, katup, dan tangki. *Flange* juga berfungsi sebagai pengunci dan penyambung pipa agar tidak bocor.



Gambar 1. *Flange* pada pipa *steam*.

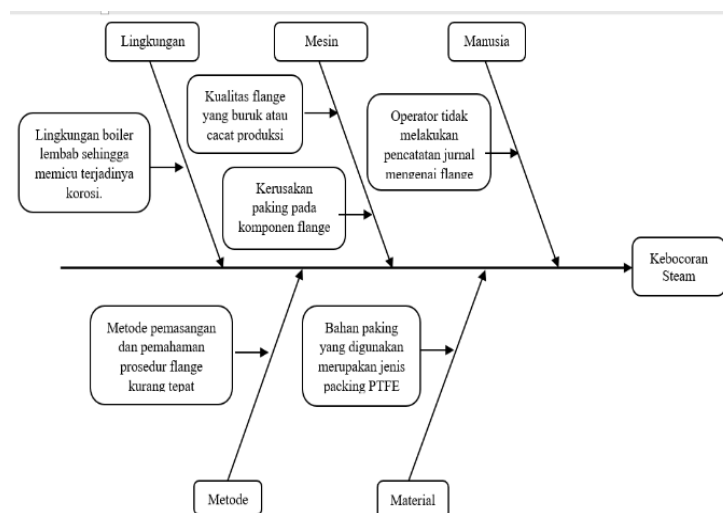
Flange biasanya terbuat dari baja karbon, baja tahan karat, atau bahan logam lainnya, tergantung pada jenis aplikasi dan lingkungan kerja. *Flange* juga harus dirancang dengan hati-hati untuk memastikan kekuatan dan ketahanannya terhadap tekanan dan suhu yang berbeda. Penggunaan *flange* yang benar dan konsisten sangat penting untuk menjaga kinerja dan keamanan sistem perpipaan dan pengaliran fluida di industri.

Ketika terjadi kebocoran atau kerusakan pada *flange*, harus segera diperbaiki atau diganti untuk mencegah kecelakaan dan kerusakan lebih lanjut. Oleh karena itu, *flange* merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam industri dan perlu dikelola dengan hati-hati dan cermat.

Metode *fishbone* merupakan sebuah metode kualitas yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab suatu masalah atau kegagalan. Diagram *Fishbone* mengambil bentuk seperti tulang ikan, dengan garis tengah panjang yang mewakili masalah yang akan dipecahkan, dan garis-garis cabang mewakili faktor-faktor yang mempengaruhi masalah tersebut.

Berdasarkan dari data yang diperoleh di lapangan menunjukkan bahwa kebocoran *steam* pada flange berpengaruh pada proses produksi dan *cleaning* diruang produksi, dengan

menggunakan analisis *fishbone* diagram dapat diperoleh 5 faktor penyebab kebocoran *steam* pada *flange* yang terjadi di PT. ABC. Faktor-faktor tersebut meliputi mesin, manusia, metode, material, dan lingkungan [5].



Gambar 2. Analisis diagram *fishbone* untuk kebocoran *steam*.

Tabel 1. Permasalahan pada *flange*.

Faktor	Problem
Manusia	Operator tidak melakukan pencatatan jurnal mengenai <i>flange</i> .
Metode	Metode pemasangan dan pemahaman prosedur <i>flange</i> kurang tepat.
	Kualitas <i>flange</i> yang buruk atau cacat produksi.
Mesin	Kerusakan pada komponen <i>flange</i> seperti <i>packing</i> atau <i>gasket</i> .
Material	Bahan paking yang digunakan merupakan bahan paking jenis PTFE
Lingkungan	Lingkungan <i>boiler</i> lembab sehingga memicu terjadinya korosi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perencanaan Preventive Maintenance

Perencanaan *preventive maintenance* ini dilakukan berdasarkan dengan data-data yang diperoleh sebelumnya pada saat pelaksanaan *Intrenship* di PT ABC. Pengambilan keputusan dari tahap perencanaan ini di dapat dari hasil berdiskusi bersama-sama dengan pihak perusahaan serta dosen pembimbing dengan memperhatikan segala aspek agar pelaksanaan kegiatan *preventive maintenance* ini dapat berjalan dengan lancar dan tidak mengganggu aktivitas produksi yang sedang berjalan di PT ABC.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh berikut daftar *list final* yang telah ditentukan mengenai penerapan *preventive maintenance* kebocoran *steam* pada *flange*. Berikut adalah rencana untuk pelaksanaan daftar *preventive maintenance*.

Tabel 2. Bagian *preventive maintenance*.

PART OF PREVENTIVE MAINTENANCE		Checking	Cleaning	Replacement	Remark
No	Component				
1	Pressure boiler				
2	Pressure HD pipe				
3	Flowmeter steam				
4	Flange area boiler				
5	Packing pada flange				
6	Bahan kimia (Chemical)				
7	Tempat penyimpanan garam				
8	Jumlah pemakaian steam				
9	Kelembapan ruangan boiler				

Kegiatan ini dilakukan secara terjadwal di PT ABC di divisi *engineering* bagian *boiler* sesuai dengan waktu yang telah direncanakan sebelumnya. Dengan lama waktu kegiatan yaitu 1 bulan (8 kali pelaksanaan) dan dilakukan pada hari Sabtu dan hari Rabu setiap pukul 08:30 sampai dengan pukul 11.00 dengan tidak mengganggu aktivitas di pabrik dan tidak mengganggu jalannya proses produksi. Adapun jadwal lengkap dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Jadwal pelaksanaan *preventive maintenance*.

Nama Industri	Time Schedule Preventive Maintenance									
Unit: Steam pada flange										
Aktivitas	Frekuensi	13 Juli 2023	15 Juli 2023	19 Juli 2023	22 Juli 2023	26 Juli 2023	29 Juli 2023	2 Agustus 2023	5 Agustus 2023	
	Week	1	2	3	4	5	6	7	8	
Inspeksi kebocoran steam pada flange	Rabu									
Inspeksi kebocoran steam pada flange	Sabtu									
Inspeksi kebocoran steam pada flange	Rabu									
Inspeksi kebocoran steam pada flange	Sabtu									
Inspeksi kebocoran steam pada flange	Rabu									
Inspeksi kebocoran steam pada flange	Sabtu									
Inspeksi kebocoran steam pada flange	Rabu									
Inspeksi kebocoran steam pada flange	Sabtu									

Kegiatan *preventive maintenance* secara terjadwal, yang dijalankan setiap bulannya dengan total 8 kali pelaksanaan. Pelaksanaan ini dilakukan dengan interval waktu 3 hari, tepatnya pada setiap hari Rabu dan Sabtu, dimulai pukul 09.00 hingga 11.00.

3.2. Analisis Pengujian *Preventive Maintenance*

Analisis pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efek dari kegiatan *preventive maintenance* kebocoran steam pada flange agar mengetahui penyebab kebocoran steam pada flange untuk meningkatkan kinerja sistem. Kegiatan penerapan *preventive maintenance* diperoleh data-data sebagai berikut:



Gambar 3. Dokumentasi *flange* (a) sebelum dan (b) sesudah *preventive maintenance*.

Gambar di atas mengindikasikan adanya kebocoran kecil pada *flange* di jalur *steam*. Kebocoran kecil pada *flange*, jika tidak mendapatkan perawatan, akan berkembang menjadi lebih parah karena tetesan air yang terkena *flange* dapat menyebabkan korosi, jenis korosi yang timbul pada *flange* tersebut merupakan Bagian fluida yang kecepatan alirannya rendah akan mengalami laju korosi rendah, sedangkan fluida kecepatan tinggi menyebabkan terjadinya erosi dan dapat menggerus lapisan pelindung sehingga mempercepat korosi, korosi *galvanic* terjadi jika dua logam yang berbeda tersambung melalui elektrolit sehingga salah satu dari logam tersebut akan terserang korosi sedang lainnya terlindungi dari korosi [6].

Dampak dari penerapan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) pada *flange* adalah mendapatkan hasil yang selalu bersih pada area *flange*. Hal ini akan mencegah terjadinya korosi yang lebih parah pada area *flange* [7].



Gambar 4. Dokumentasi baut pada *flange* (a) sebelum dan (b) sesudah penerapan *preventive maintenance*

Baut memiliki fungsi menggabungkan komponen *flange* sehingga tergabung menjadi satu bagian yang memiliki sifat tidak permanen. Baut ini menjadi komponen sangat penting yang perlu diperhatikan pada *flange* dikarenakan menjadi penahan dan penghubung antara *flange*, jika dari salah satu baut tersebut mengalami terlalu longgar akibat dari getaran ketika sambungan atau baut mengalami getaran berulang, gaya-gaya yang bekerja pada sambungan menyebabkan perubahan deformasi plastis atau elastis di dalam material sambungan [8].

Fenomena ini menyebabkan berkurangnya tegangan *pre-tensioning* yang sebelumnya diaplikasikan pada baut atau sambungan. Sehingga mengakibatkan kendur pada baut. pendistribusian *steam* dalam jangka waktu yang lama maka jika dibiarkan mengakibatkan kebocoran pada area *flange* tersebut, pada baut ini juga harus dilakukannya perawatan secara terjadwal dikarenakan bahan material baut dapat terjadinya korosi yang mengakibatkan usia baut tidak bertahan lama.



Gambar 5. Pengecekan kondisi *packing* pada *flange*.

Pengecekan *packing* ini dilakukan untuk mengecek kondisi *packing* yang digunakan sepanjang waktu yang bertujuan agar meminimalkan kerusakan yang terjadi atau mengetahui perkembangan *packing* yang sudah mengalami kerusakan-kerusakan kecil sebelum terjadinya kerusakan yang begitu fatal.

Dampak dari adanya *preventive maintenance* ini apabila ada kerusakan kecil pada *flange* dari paking harus adanya pengecekan setiap minggunya supaya dapat diketahui perkembangan kerusakannya dan bisa melakukan pergantian *packing* sebelum terjadinya masalah pada pendistribusian *steam* dari *boiler* ke ruang produksi.



Gambar 6. Pengecekan *pressure boiler*.

Pengecekan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi *pressure* mesin *boiler* yang terdapat di panel *boiler*. Apabila terjadi sesuatu pada mesin maka dapat diketahui pada panel tersebut dengan waktu penjadwalan pengecekan, Tekanan yang tinggi dalam sistem perpipaan atau peralatan dapat menyebabkan tekanan *internal* yang signifikan pada dinding pipa atau sambungan. Jika material atau sambungan tidak tahan terhadap tekanan tersebut, maka kebocoran dapat terjadi [9].

Selain itu hasil dari *preventive maintenance* pada panel instrumen dapat dipakai untuk mengontrol dan mengecek nilai variabel yang ditampilkan pada panel Kembali dengan batas nilai yang sesuai dengan standar.

Gambar 7. Pengecekan *pressure* HD pipa.

Pengecekan *pressure* HD pipa ini dilakukan untuk mengecek tekanan fluida yang di distribusikan ke ruang produksi agar meminimalkan kerusakan kebocoran *steam* pada *flange* yang dapat terjadi sewaktu-waktu, pemakaian *steam* yang di distribusikan ke ruang produksi dapat diketahui dari *pressure* HD pipa ini, untuk standar tekanan aman pada *pressure* HD pipa ini yaitu 6,7 bar (0,67MPa), ketika pemakaian *steam* banyak digunakan maka *pressure* ini akan besar dan untuk sebaliknya ketika *pressure* pada alat ukur ini kecil maka pemakaian *steam* dari ruang produksi tidak terlalu besar, ketika *peressure* yang dikirimkan dari *boiler* besar tetapi *supply* ke ruang produksi kecil berarti dapat diketahui ada permasalahan kebocoran *steam* di bagian *flange*.

Gambar 8. Pengecekan *flowmeter* steam.

Pengecekan *Flow Meter Steam* ini dilakukan untuk mengetahui besar kecilnya uap *steam* yang di *supply* atau yang digunakan ke ruang produksi agar meminimalkan kerusakan kebocoran *steam* pada *flange* yang dapat terjadi sewaktu-waktu, pemakaian jumlah sedikit banyaknya *steam* dapat diketahui pada *flow meter steam* ini ketika jumlah pemakaian lebih dari standar pemakaian pada setiap jamnya maka dipastikan ada kebocoran pada *flange* yang menyebabkan uap *steam* keluar terbuang tidak semua *supply steam* dari *boiler* ke produksi masuk terdistribusikan semua ke setiap jalurnya, untuk standar penambahan *Flow Meter Steam* yaitu 900-1500kg/h [10].

Gambar 9. Pengecekan kelembapan ruangan *boiler*.

Pengecekan kelembapan dan *Cleaning* di ruangan mesin *boiler* bertujuan untuk mengetahui dan mengurangi tingkat kelembapan ruangan *boiler*. Jika tingkat kelembapan di ruangan *boiler* tinggi, maka akan meningkatkan risiko terjadinya proses korosi, khususnya pada area *flange*. Fenomena ini terjadi karena adanya aliran fluida pada ruangan *boiler* yang dapat menyebabkan kondensasi dan mempercepat proses korosi pada permukaan *flange*, benar bahwasanya semakin tinggi kelembapan maka semakin besar pula laju korosinya karena pada keadaan tersebut jumlah kadar oksigen yang terdapat di bawah insulasi akan berkurang dan akan menyebabkan kelembapan yang relatif tinggi sehingga dapat terjadinya pengembunan [11].



(a)



(b)

Gambar 10. Dokumentasi tempat penyimpanan garam (a) sebelum dan (b) sesudah penerapan *prevantive maintenance*.

Kasus ini tempat penyimpanan garam merupakan komponen yang memiliki peran sangat penting untuk proses penyuplaian air ke pada *boiler*, tempat penyimpanan garam ini yang dibawahnya ada pasir halus berfungsi untuk membunuh bakteri dan menjadikan kualitas air yang menuju *boiler* bersih dan higienis, apabila telat pengisian garam maka *supply* air ke *boiler* maka air yang digunakan itu ada bakteri dan ditakutkan airnya kotor sehingga kualitas air menjadi kurang higienis, akibatnya partikel kotor dalam air, seperti debu, dapat mengandung senyawa yang korosif [12].



(a)



(b)

Gambar 11. Dokumentasi bahan kimia (*Chemical*) (a) sebelum dan (b) sesudah penerapan *Preventive Maintenance*.

Pengecekan bahan kimia (*chemical*) ini dilakukan untuk mengetahui kondisi level penyimpanan *chemical*, apabila *chemical* di penyimpanan masih penuh atau sesuai standar maka kotoran atau kerak yang ada di dalam *boiler* akan terkuras bersih terbuang melalui pembuangan sehingga air yang akan menjadi uap bersih dari kotoran atau kerak sisa dari pembakaran, sebaliknya jika tidak ada pengecekan pada *chemical* ini bisa terjadi kosongnya cairan *chemical* pada penyimpanan sehingga kotoran atau kerak sisa pembakaran akan menggumpal di dalam *boiler* dan sedikit banyaknya kotoran atau kerak sisa pembakaran akan mempengaruhi kualitas air dan uap yang di distribusikan.

Dampak adanya *preventive maintenance* ini bisa mengetahui isi penyimpanan *chemical* dan mencegah ke kosongan cairan *chemical* pada penyimpanan *chemical*, sehingga air dan uap yang di distribusikan ke ruang produksi bersih dari kotoran/kerak sisa pembakaran.

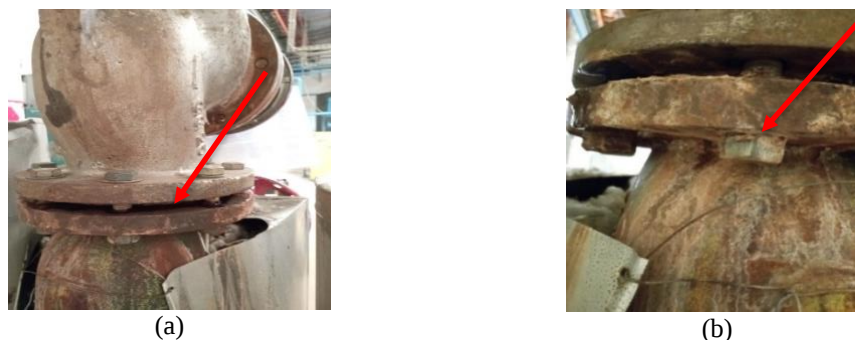
3.2 Hasil Penerapan *Preventive Maintenance* terhadap Kebocoran Steam pada Flange

Preventive Maintenance merupakan suatu pendekatan dalam perawatan sistem atau peralatan dengan melakukan tindakan rutin untuk mencegah potensi kerusakan atau kegagalan di masa depan. Dalam konteks kebocoran *steam* pada *flange*, penerapan *preventive maintenance* sangat penting untuk mengurangi risiko bocornya *steam* yang dapat menyebabkan berbagai masalah seperti kerugian energi, kecelakaan, dan dampak lingkungan negatif.

Berdasarkan gambar dan deskripsi situasi di PT. ABC di departemen *Engineering* pada bagian *utility* terlihat bahwa terjadi kebocoran kecil pada celah paking di area *flange* dan kotoran pada baut. Kebocoran tersebut menyebabkan area *flange* menjadi basah dan lembab, sehingga debu dan kotoran mudah menempel pada permukaannya. Penyebab kebocoran ini tampaknya berasal dari celah pada *packing* di sekitar *flange*. Paking yang tidak rapat atau rusak memungkinkan uap atau fluida lain yang mengalir melalui *flange* untuk keluar dari celah tersebut. Kebocoran ini terjadi akibat usia paking yang sudah tua, kurangnya perawatan *preventive*, atau kondisi operasional yang ekstrem.

Kebocoran kecil pada *flange* meskipun terlihat remeh, sebenarnya dapat memiliki konsekuensi yang sangat serius. Hal ini menjadi lebih penting ketika *flange* beroperasi dalam kondisi basah dan lembab dalam kondisi ini debu, kelembaban, dan partikel lainnya dapat menempel pada permukaan *flange*, menciptakan kondisi yang sangat mendukung terjadinya korosi [13].

Penanganan korosi memerlukan tindakan pencegahan yang teratur dan tepat, yang biasanya dilakukan melalui *preventive maintenance*. Dalam *preventive maintenance*, *flange* akan diperiksa secara berkala untuk mendeteksi kebocoran atau tanda-tanda awal korosi.



Gambar 12. Kebocoran *steam* pada (a) flange dan (b) baut sesudah dilakukan *preventive maintenance*.

Hasil dari penerapan *preventive maintenance* dapat dilihat pada gambar di atas. Penerapan *preventive maintenance* menunjukkan dampak positif yang signifikan. Sebagai contoh, hasil tersebut menunjukkan bahwa *flange* menjadi lebih bersih dan kering setelah dilakukan perawatan rutin. Hal ini menunjukkan bahwa dengan melakukan tindakan

pencegahan secara teratur, perangkat atau sistem tersebut dapat bekerja lebih efisien dan lebih andal.

Salah satu manfaat utama dari kegiatan *preventive maintenance* yang tepat adalah kemampuannya untuk mengatasi masalah sejak dini sebelum masalah tersebut berkembang menjadi lebih serius. Dengan melakukan pemeliharaan rutin, petugas perawatan dapat mengidentifikasi potensi kebocoran atau kerusakan sejak awal tindakan korektif dapat diambil sebelum masalah tersebut menyebabkan gangguan produksi atau bahkan kecelakaan yang lebih serius [14].

Preventive maintenance memiliki peran penting dalam menjaga kinerja peralatan dan sistem agar tetap optimal. Dengan melakukan tindakan pencegahan secara teratur, perusahaan dapat menghindari kerugian akibat *downtime* yang tidak terencana, mengurangi biaya perbaikan yang mahal, dan meningkatkan efisiensi keseluruhan operasional. Oleh karena itu, investasi dalam *preventive maintenance* merupakan langkah bijak bagi setiap perusahaan yang ingin mencapai keberhasilan jangka panjang [15].

4. KESIMPULAN

Hasil dari analisis penyebab kebocoran *steam* pada *flange* menggunakan metode *fishbone*, dan implementasi *preventive maintenance* sebagai berikut:

1. Melalui analisis menggunakan metode *fishbone*, telah diidentifikasi beberapa penyebab utama kebocoran *steam* pada *flange* di PT ABC. Penyebab-penyebab tersebut dapat dikelompokkan ke dalam beberapa faktor yang berkontribusi lebih signifikan terhadap masalah kebocoran *steam* pada *flange* yaitu pada faktor metode dan lingkungan.
2. Implementasi *preventive maintenance* sangat penting bagi PT ABC untuk menjaga kinerja sistem. Penerapan *preventive maintenance* yang diterapkan di PT. ABC menunjukkan dampak positif yang signifikan yaitu bahwa area *flange* menjadi lebih bersih dari kotoran dan area *flange* menjadi kering setelah dilakukan perawatan rutin.
3. Metode *fishbone* dan *preventive maintenance* merupakan strategi yang saling melengkapi dalam mencapai tujuan menjaga kinerja sistem yang lebih baik bagi PT. ABC. Kombinasi metode *fishbone* dan *preventive maintenance* memastikan bahwa PT ABC memiliki pemahaman yang mendalam tentang penyebab kebocoran dan mampu mengambil tindakan yang tepat untuk mencegah dan mengatasi masalah tersebut.

REFERENCES

- [1] D. Sapta Sulendra, "Konfigurasi Seri Paralel Flange Pipa Menggunakan Reliability Blok Diagram Pada PT. Pertamina (Persero) Tbbm Pontianak," *Jur. Tek. Mesin, Fakultas Tek. Univ. Tanjungpura*, pp. 65–69, 2019.
- [2] R. Yunifar and G. Prajitno, "Analisis pengaruh perubahan suhu dan perubahan panjang kupasan cladding serta coating terhadap rugi daya yang dihasilkan oleh fiber optik multimode silika tipe G-651," *J. Sains Dan Seni ITS*, vol. 4, no. 2, pp. 1–6, 2015.
- [3] O. Yakarimilena, "Proses Produksi Di Pt. Perkebunan Nusantara Ii Kebun Arso Menggunakan Failure Modes and Effect Analysis (Fmea) Dan Fishbone ...," 2019, [Online]. Available: <https://repository.uisi.ac.id/id/eprint/471%0Ahttps://repository.uisi.ac.id/471/5/SKRIPSI-ORPA-YAKARIMILENA%282041510029%29.pdf>.
- [4] W. H. Afiva, F. T. D. Atmaji, and J. Alhilman, "Usulan Interval Preventive Maintenance dan Estimasi Biaya Pemeliharaan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance dan FMECA," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 18, no. 2, pp. 213–223, 2019, doi: 10.23917/jiti.v18i2.8551.
- [5] N. Eviyanti, "Analisis Fishbone Diagram Untuk Mengevaluasi Pembuatan Peralatan Aluminium Studi Kasus Pada Sp Aluminium Yogyakarta," *JAAKFE UNTAN (Jurnal Audit dan Akunt. Fak. Ekon. Univ. Tanjungpura)*, vol. 10, no. 1, p. 10, 2021, doi: 10.26418/jaakfe.v10i1.45233.

- [6] R. Illahi, Sarifuddin, and N. Erlinda, "Analisa Turunnya Kinerja Pompa Air Laut pada Proses Pendinginan Mesin Induk di Kapal KM Surya Pioneer," *J. Cakrawala Bahari*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2023.
- [7] A. wicaksono Wicaksono and F. Yuamita, "Pengendalian Kualitas Produksi Sarden Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Untuk Meminimumkan Cacat Kaleng Di PT. Maya Food Industries," *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2022, doi: 10.55826/tmit.v1ii.6.
- [8] P. Nababan and N. C. Abdurahman, "Analisis Pengendalian Kualitas Pelindung Pipa (Protector) Dengan Metode Statistical Proses Control (Spc) Di Pt.Xyz," *J. Tek. Ibnu Sina*, vol. 7, no. 02, pp. 1–10, 2022, doi: 10.36352/jt-ibsi.v7i02.543.
- [9] J. Taler *et al.*, "The flexible boiler operation in a wide range of load changes with considering the strength and environmental restrictions," *Energy*, vol. 263, p. 125745, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125745>.
- [10] A. P. Mann, F. Plaza, N. Alam, and K. Ryan, "Reducing boiler maintenance costs with improved materials for air-heater tubes," in *Proceedings of the 43rd Annual Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists, ASSCT 2022*, 2022, pp. 163–171, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85139514618&partnerID=40&md5=d5d9b5b2c3ff45346b0ed0115e030425>.
- [11] S. S. Patil, A. K. Bewoor, R. Kumar, M. H. Ahmadi, M. Sharifpur, and S. PraveenKumar, "Development of Optimized Maintenance Program for a Steam Boiler System Using Reliability-Centered Maintenance Approach," *Sustainability*, vol. 14, no. 16, 2022, doi: 10.3390/su141610073.
- [12] S. Du *et al.*, "Comparative Investigation on corrosion Behaviors of High Pressure Die-cast Al-Si Alloys in 3.5% NaCl solution," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 17, 2022, doi: 10.20964/2022.12.09.
- [13] A. F. Fuadi, M. A. Sahbana, and D. Hermawan, "Analisa kebocoran line warming up high pressure boiler feed pump menggunakan metode root cause and failure analysis di Pembangkit Listrik Tenaga Gas & Uap Grati," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 204–213, 2022, doi: 10.24127/trb.v11i2.2015.
- [14] I. Pamungkas, H. T. Irawan, and T. . A. Pandria, "Implementasi Preventive Maintenance Untuk Meningkatkan Keandalan Pada Komponen Kritis Boiler Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap," *VOCATECH Vocat. Educ. Technol. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 73–78, 2021, doi: 10.38038/vocatech.v2i2.53.
- [15] O. D. Cahyani and I. Iftadi, "Penjadwalan Preventive Maintenance dengan Metode Reliability Centered Maintenance pada Stasiun Cabinet PU di PT IJK," *Teknoin*, vol. 27, no. 1, 2021, doi: 10.20885/teknoin.vol27.iss1.art4.