

ANALISIS KERUSAKAN BANTALAN PADA *BOILER FEEDWATER PUMP*

Arka Dwinanda Soewono*, Ezra Raditya Gunawan, Marten Darmawan

Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

E-mail: arka.soewono@atmajava.ac.id

ABSTRAK

Sliding bearing atau bantalan luncur merupakan komponen penting dalam sebuah pompa sentrifugal untuk menahan beban dan gaya yang terjadi pada pompa saat beroperasi. Kerusakan pada komponen *plain bearing* dapat mengakibatkan kinerja pompa menurun dan menyebabkan kerusakan pada komponen lainnya. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kerusakan yang terjadi pada *bearing* pada pompa pemasok air untuk *boiler* dan mengetahui penyebab kerusakannya. Analisis dilakukan dengan melakukan pengamatan bentuk kerusakan pada lapisan *babbitt* pada bantalan luncur, mengidentifikasi potensi kegagalan dengan metode *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA), dan mencari akar masalah penyebab kegagalan dengan metode diagram *fishbone*. Hasil analisis menunjukkan bahwa penyebab utama terjadinya kerusakan pada bantalan di pompa pemasok air pada *boiler* adalah karena hilangnya sebagian besar lapisan *babbitt* pada bantalan.

Kata kunci:

Lapisan *Babbitt*; Bantalan; *Bulk Loss*; Kerusakan; Pompa

ABSTRACT

The sliding bearing is an essential component in a centrifugal pump to withstand the loads and forces during the operation of the pump. Damage to the plain bearing component can decrease pump performance and cause further damage to other components. This research aims to analyze the damage that occurs to the bearing used in a boiler feedwater pump and determine the cause of the damage. The analysis was carried out by observing the forms of damage to the Babbitt layer on the bearing, identifying potential failures using the Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) method, and establishing the root cause of the failure using the fishbone diagram. The analysis results show that the leading cause of damage to the bearing for the boiler feedwater pump is the bulk loss of the babbitt layer on the bearings.

Keywords :

Babbitt Layer; Bearing; Bulk Loss; Damage; Pump

1. PENDAHULUAN

Boiler feedwater pump memegang peranan penting dalam sistem pembangkit listrik tenaga uap. Pompa tersebut berfungsi untuk memasok air ke dalam ketel (*boiler*) untuk kemudian dipanaskan menjadi uap air yang dapat digunakan sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik [1]. Jika pompa pemasok air ke ketel bermasalah, maka jumlah air yang masuk ke dalam ketel akan menurun dan menyebabkan sumber tenaga untuk menggerakkan turbin uap juga akan berkurang.

Sliding bearing atau bantalan luncur merupakan komponen penting untuk *boiler*

feedwater pump yang pada umumnya adalah pompa sentrifugal. *Sliding bearing* berfungsi untuk menahan beban, gaya dan getaran yang terjadi pada pompa ketika sedang beroperasi. Poros pompa berfungsi untuk meneruskan gaya putar dari motor penggerak, oleh sebab itu permukaan poros dilindungi oleh bantalan luncur [2]. Untuk menopang beban dari poros dan memberikan resistensi terhadap keausan yang disebabkan oleh poros yang berputar, permukaan bantalan di pompa sentrifugal yang bersentuhan langsung dengan poros dilapisi oleh lapisan *babbitt* (logam putih) yang memiliki tingkat kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan kekerasan

permukaan poros. Lapisan babbitt ini bertujuan untuk melindungi permukaan poros yang lebih berharga [3].

Kerusakan pada permukaan bantalan di pompa sentrifugal dapat diakibatkan beberapa jenis keausan, seperti kavitasi (*cavitation*), keausan abrasif (*abrasive wear*), dan kelelahan material (*fatigue wear*) [4, 5]. Kerusakan pada bantalan sangat mempengaruhi kinerja dari pompa pemasok air untuk ketel uap dan dapat mengakibatkan downtime yang cukup signifikan di sistem pembangkit listrik. Oleh sebab itu, analisis kegagalan pada bantalan pompa perlu dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dan mengetahui penyebab kerusakan bantalan pada *boiler feedwater pump*.

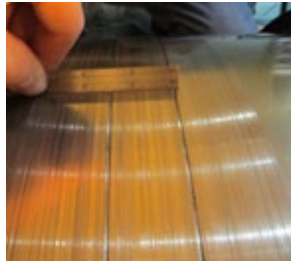
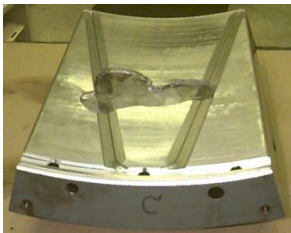
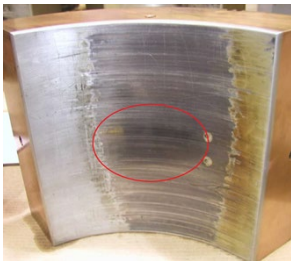
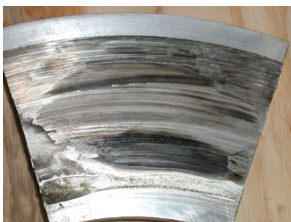
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data kualitatif yang diambil dari *journal bearing* dan *thrust bearing* dari sebuah *boiler feedwater pump* dari sebuah perusahaan servis pompa. Kerusakan pada bantalan dibandingkan secara visual dengan hasil penelitian sebelumnya [3]. Analisis penyebab dan dampak kegagalan bantalan terhadap performa pompa dilakukan dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) [6, 7] dan analisis penyebab kegagalan bantalan dilakukan dengan menggunakan metode diagram *fishbone* [8-10].

2.1 Analisis Kerusakan Secara Visual

Penelitian Branagan [3] telah merangkum survei hasil investigasi kerusakan babbitt pada bantalan yang dipakai di industri dan mengidentifikasi beberapa jenis kerusakan yang dapat dilihat secara visual, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Penelitian ini akan membandingkan kerusakan yang terjadi pada *journal bearing* dan *thrust pad* pada *thrust bearing* dari sebuah *boiler feedwater pump* yang digunakan pada sistem pembangkit listrik dengan jenis kerusakan yang diteliti oleh Branagan.

Tabel 1. Jenis Kerusakan Babbitt [3]

Jenis Kerusakan	Visualisasi
<i>Scratch</i> <i>Scratch</i> atau goresan memiliki penampang melintang yang sempit, namun dengan panjang yang signifikan, kedalaman penampang melintang dapat dalam ataupun dangkal	
<i>Bulk Loss</i> <i>Bulk loss</i> atau kerusakan massal dapat terlihat seperti kawah, lubang, atau retakan, tergantung pada ukuran dan bentuk kerusakannya	
<i>Wear</i> <i>Wear</i> atau keausan adalah hilangnya material pada area yang luas dengan perubahan kedalaman yang halus	
<i>Creep</i> <i>Creep</i> atau perpindahan permukaan babbitt disebabkan kombinasi tekanan lokal yang tinggi dan suhu lokal yang tinggi yang melebihi kekuatan luluh lokal babbitt	
<i>Wiping</i> Pergeseran atau perpindahan permukaan babbitt yang terjadi lebih sering dan lebih besar	

2.2 Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) adalah pendekatan langkah demi langkah untuk mengidentifikasi semua kemungkinan kegagalan dalam desain, proses manufaktur atau perakitan, atau produk atau layanan. Kegagalan diprioritaskan dalam nilai *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan seberapa serius dampak yang terjadi (S - *Severity*), seberapa sering terjadi (O - *Occurrence*), dan seberapa mudah dapat terdeteksi (D - *Detection*). Semakin tinggi nilai RPN, maka urutan prioritas perbaikan semakin tinggi [11]. Nilai RPN dihitung sesuai dengan persamaan (1) I mana kala nilai S, O, D dan penjelasannya dapat dilihat pada Tabel 2.

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

2.3 Diagram Fishbone

Diagram *fishbone* atau diagram Ishikawa atau diagram sebab-akibat merupakan suatu diagram yang menunjukkan sebab dan akibat dari sebuah permasalahan. Diagram *fishbone* digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan penyebab dari sebuah masalah. Metode ini menggunakan prinsip *brainstorming* atau bertukar pendapat yang dalam praktiknya

terdapat lima kategori utama akar permasalahan masalah, yaitu:

- Metode (*Method*)
- Mesin (*Machine/Equipment*)
- Manusia (*People/Manpower*)
- Bahan (*Material*)
- Lingkungan (*Environment*)

Pada penelitian ini, diagram *fishbone* akan digunakan untuk menentukan akar permasalahan utama penyebab utama kerusakan pada bantalan *boiler feedwater pump* dan usulan rencana atau solusi terhadap akar permasalahan tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan kerusakan pada *journal bearing* dan *thrust pad* dari *boiler feedwater pump* dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengamatan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dan kemudian ditentukan jenis kerusakan yang terjadi.

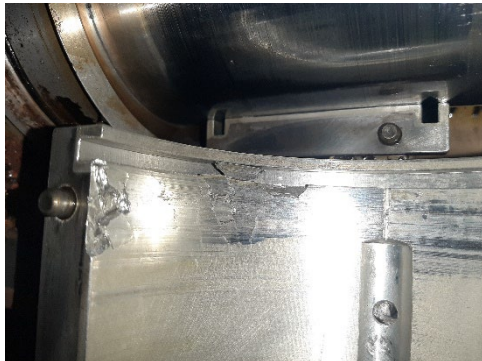
Dari pengamatan dapat dilihat bahwa kerusakan paling sering pada babbitt berupa *scratch* dan *bulk loss*, sedangkan pada beberapa komponen terjadi juga kerusakan seperti *wear*, *creep*, dan *wiping*. Pada umumnya, *scratch* terjadi karena terdapat benda asing di dalam cairan pelumas atau terdapat benda asing magnetik yang tertarik medan magnet akibat terinduksi oleh putaran rotor [3].

Tabel 2. Skala Nilai *Severity*, *Occurrence*, *Detection* [11]

Prioritas	<i>Severity</i> (S)	Penjelasan
10	Berbahaya tanpa peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek sangat berbahaya
9	Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek berbahaya
8	Sangat tinggi	Sistem tidak beroperasi
7	Tinggi	Sistem beroperasi tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh
6	Sedang	Sistem beroperasi dan aman tetapi mengalami penurunan performa sehingga mempengaruhi <i>output</i>
5	Rendah	Mengalami penurunan kinerja secara bertahap
4	Sangat rendah	Efek yang kecil pada performa sistem
3	Kecil	Sedikit berpengaruh pada kinerja sistem
2	Sangat kecil	Efek yang diabaikan pada kinerja sistem
1	Tidak ada efek	Tidak ada efek
Prioritas	<i>Occurrence</i> (O)	Penjelasan
10	Sangat tinggi	Sering gagal
9		

8	Tinggi	Kegagalan yang berulang
7		
6	Sedang	Jarang terjadi kegagalan
5		
4		
3	Rendah	Sangat jarang terjadi kegagalan
2		
1	Tidak ada efek	Hampir tidak ada kegagalan
Prioritas	Detection (D)	Penjelasan
10	Tidak pasti	Pengecekan akan selalu “tidak mampu” untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
9	Sangat kecil	Pengecekan memiliki kemungkinan “ <i>very remote</i> ” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
8	Kecil	Pengecekan memiliki kemungkinan “ <i>remote</i> ” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Pengecekan memiliki kemungkinan “sangat rendah” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Pengecekan memiliki kemungkinan “rendah” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	Sedang	Pengecekan memiliki kemungkinan “ <i>moderate</i> ” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
4	Menengah keatas	Pengecekan memiliki kemungkinan “ <i>high moderate</i> ” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
3	Tinggi	Pengecekan memiliki kemungkinan “tinggi” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Pengecekan memiliki kemungkinan “sangat tinggi” untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
1	Hampir pasti	Pengecekan “akan selalu” mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

Tabel 3. Hasil Pengamatan Kerusakan Babbitt

Obyek	Kerusakan
<i>Journal Bearing #1 DE Side – Upper (Drive End)</i>	<i>Heavy scratch, light bulk loss</i>
	
<i>Journal Bearing #1 DE Side - Lower (Drive End)</i>	<i>Heavy scratch, heavy bulk loss, light wear</i>
	
<i>Journal Bearing #2 NDE Side - Upper (Non-Drive End)</i>	<i>Heavy scratch, light bulk loss, heavy wear, creep</i>
	
<i>Journal Bearing #2 NDE Side - Lower (Non-Drive End)</i>	<i>Very heavy scratch, very heavy bulk loss, heavy wear, wiping</i>

Obyek	Kerusakan
	
<i>Thrust Pad #1 ~ #6 NDE Side (Non-Drive End)</i>	<i>Heavy scratch, bulk loss on edge</i>
	
	

Dari pengamatan dapat dilihat bahwa kerusakan paling sering pada babbitt berupa *scratch* dan *bulk loss*, sedangkan pada beberapa komponen terjadi juga kerusakan seperti *wear*, *creep*, dan *wiping*. Menurut Branagan, *scratch* terjadi karena terdapat benda asing di dalam cairan pelumas atau terdapat benda asing magnetik yang tertarik medan magnet akibat terinduksi oleh putaran rotor. *Bulk loss* disebabkan beberapa mekanisme berdasarkan bentuk defisit babbitt dan karakternya, seperti kerusakan listrik yang parah akibat sistem pembumian yang tidak tepat pada saat pengelasan, ikatan dasar babbitt yang rusak, daerah yang

mengalami retak akibat kelelahan material (*fatigue*), porositas pada saat pengelasan, erosi akibat kecepatan pelumas yang terlalu tinggi pada suatu area tertentu, dan penggunaan baja kromium sedang sebagai lapisan permukaan bantalan. *Wear* disebabkan pengoperasian kecepatan dengan gigi rendah yang terlalu lama yang dapat menyebabkan terkonsentrasinya keausan pada bagian bawah permukaan bantalan, desain permukaan datar yang meruncing pada *thrust pad*, dan pengikisan lapisan babbitt yang berlanjut untuk memperbaiki kerusakan minimal yang dapat menyebabkan jarak bebas (*clearance*) bantalan semakin

besar. *Creep* terjadi karena kombinasi suhu operasi lokal dan tekanan hidrodinamika lokal melebihi kekuatan mekanik dari babbitt. *Wiping* terjadi akibat pemanasan yang begitu cepat pada permukaan babbitt akibat adanya kontak poros dan permukaan babbitt karena kerusakan lapisan hidrodinamika.

Dari jenis kerusakan yang terjadi, perlu dianalisis dampak yang kemungkinan akan timbul dari kerusakan tersebut dengan metode *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA), dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil dari FMEA akan digunakan untuk mengidentifikasi kerusakan yang paling

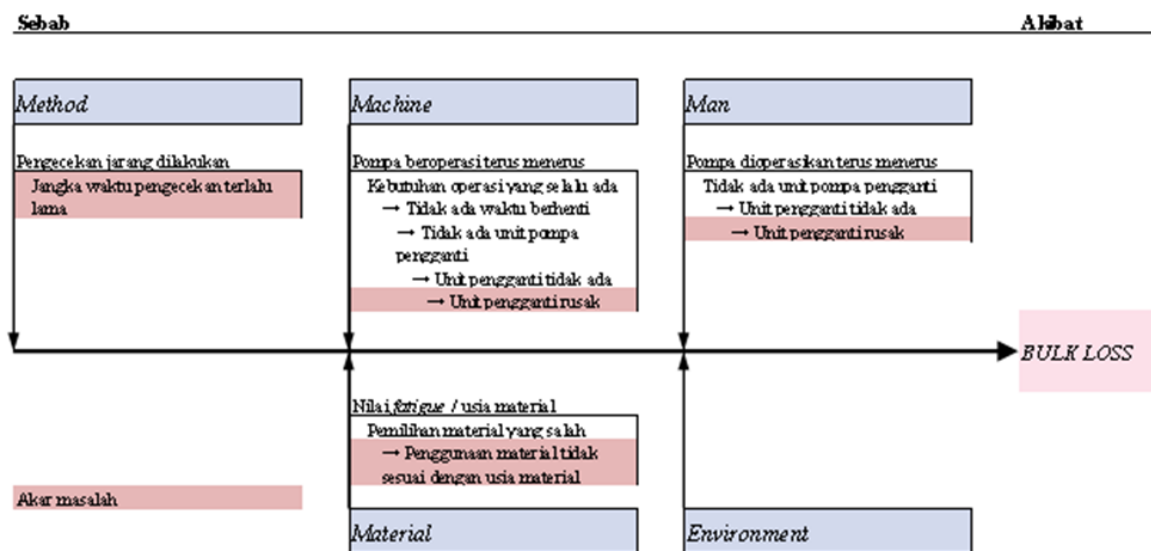
mungkin terjadi sehingga perlu beserta akar permasalahan dan solusi yang ideal untuk menghindari kegagalan di masa mendatang,

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa terdapat 15 potensi penyebab kegagalan untuk 5 potensi kegagalan. Potensi penyebab kegagalan dengan nilai prioritas tertinggi adalah perkembangan kelelahan material dengan nilai RPN sebesar 168 untuk potensi kegagalan *bulk loss*. Potensi penyebab kegagalan ini perlu dilakukan analisis dengan diagram *fishbone* untuk mencari akar masalah dan menentukan rencana perbaikan.

Tabel 4. *Failure Modes and Effects Analysis* untuk Kerusakan Bantalan

Fungsi	Potensi Kegagalan	Potensi Dampak dari Kegagalan	S	Potensi Penyebab Kegagalan	O	Proses Kontrol Saat Ini	D	RPN
Menumpu poros agar dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan	Scratch	Kehilangan kapasitas beban yang signifikan	7	Kondisi pelumas yang kurang baik	3	Pengecekan kondisi pelumas secara berkala	4	84
				Kondisi poros yang tidak baik	6	Pengecekan tahunan	3	126
				Medan magnet dari poros yang berputar	4	Pemilihan material rendah suseptibilitas magnetik	3	84
				Penanganan material yang kurang baik	4	Penerapan prosedur kerja	4	112
	Bulk loss	Hilangnya kapasitas beban yang terkait dengan hilangnya area bantalan beban	6	Ikatan dasar babbitt yang kurang baik	6	Pengecekan hasil pengelasan	2	72
				Distorsi saat penanganan	4	Penerapan prosedur kerja	4	96
				Kerusakan elektrik	5	Penerapan prosedur kerja	3	90
				Perkembangan kelelahan material	7	Penggantian komponen	4	168
				Erosi	6	Pengecekan tahunan	3	108
	Wear	Hilangnya kapasitas beban yang berhubungan dengan kedalaman keausan	5	Kondisi pelumas yang kurang baik	3	Pengecekan kondisi pelumas secara berkala	4	60
				Pengoperasian dibawah batas bawah jumlah pelumas	4	Pengecekan kondisi pelumas secara berkala	4	80
	Creep	Minimal	3	Pengoperasian pada suhu tinggi	4	Penerapan sensor suhu pada rumah	3	36

Fungsi	Potensi Kegagalan	Potensi Dampak dari Kegagalan	S	Potensi Penyebab Kegagalan	O	Proses Kontrol Saat Ini	D	RPN
						bantalan		
				Hilangnya lapisan hidrodinamika	3	Pengecekan kondisi pelumas secara berkala	5	45
	Wiping	Minimal	3	Getaran berlebih	4	Penerapan sensor suhu pada pompa	3	36
				Gangguan pada aliran pemulasan	5	Pengecekan kondisi pelumas secara berkala	5	75



Gambar 1. Diagram *fishbone* untuk potensi penyebab kegagalan akibat perkembangan kelelahan material

Kerusakan dengan prioritas tertinggi dari hasil analisis FMEA perlu dicari akar penyebab masalahnya. Oleh sebab itu, analisis sebab-akibat dilakukan dengan bantuan diagram *fishbone*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Dari diagram *fishbone* dapat dilihat bahwa akar masalah dari kegagalan akibat perkembangan kelelahan material didasari oleh beberapa faktor antara lain metode, mesin, manusia, dan bahan. Pada faktor metode, akar permasalahan ada pada jangka waktu pengecekan unit pompa yang terlalu lama sehingga menyebabkan pengecekan kurang efektif. Pada faktor mesin dan manusia, akar permasalahan ada pada unit pompa pengganti yang rusak sehingga pompa tidak bisa digunakan secara

bergantian untuk mengurangi jam kerja pompa dan memberikan waktu istirahat bagi pompa.

Pada faktor bahan, akar permasalahan ada pada penggunaan material yang tidak sesuai dengan usia material, hal ini menyebabkan material digunakan melebihi batas usianya dan dapat menyebabkan kegagalan atau Lelah (*fatigue*) pada material. Pada faktor lingkungan, tidak ada penyebab yang menimbulkan kegagalan akibat perkembangan kelelahan material.

Dari beberapa akar permasalahan yang sudah teridentifikasi, usulan rencana perbaikan atau solusi terhadap masing-masing akar permasalahan dapat ditentukan sebagai berikut:

- Pengecekan unit pompa yang terlalu lama, usulan rencana perbaikan dengan melakukan pengecekan unit pompa dengan jangka waktu yang lebih pendek dengan pengecekan dilakukan setiap 6 bulan sekali untuk bantalan pompa.
- Unit pompa pengganti yang rusak, usulan rencana perbaikan dengan melakukan perbaikan pada unit pompa tersebut atau dengan pengadaan pompa cadangan.
- Penggunaan material yang tidak sesuai dengan usia material, usulan rencana perbaikan dengan menggunakan material bantalan/babbitt yang sesuai dengan rancangan awal usia pakai.

SIMPULAN

Hasil analisa kerusakan bantalan luncur pada *boiler feedwater pump* dengan obyek uji *journal bearing* dan *thrust pad*, menemukan bahwa metode kegagalan yang timbul adalah kerusakan pada babbitt di bantalan yang diamati berupa *scratch* dan *bulk loss*, *wear*, *creep*, dan *wiping*. Dari analisa kemungkinan kegagalan dengan metode FMEA, didapatkan potensi penyebab kegagalan dengan nilai prioritas tertinggi adalah perkembangan kelelahan material dengan nilai RPN sebesar 168 untuk potensi kegagalan *bulk loss*. Potensi kegagalan ini didasari dari beberapa akar masalah seperti pengecekan unit pompa yang terlalu lama, unit pompa pengganti yang rusak, dan penggunaan material yang tidak sesuai dengan usia material yang diidentifikasi dengan menggunakan diagram *fishbone*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukamta, Sudarja, and M. Mujaddid, “Analisis Unjuk kerja Boiler Feed Water Pump Turbine Untuk Kapasitas Ketel Uap 2000 Ton/Jam Di PLTU Cirebon Jawa Barat,” *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, vol. 18, no. 1, pp. 21–29, 2015.
- [2] I. Konoplianchenko, V. Tarelnyk, V. Martsynkovskyy, O. Gaponova, A. Lazarenko, A. Sarzhanov, M. Mikulina, Z. Zhengchuan and V. Pirogov, “New Technology for Restoring Babbitt Coatings,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, p. 1741: 012040, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1741/1/012040>.
- [3] L. A. Branagan, “Survey of Damage Investigation of Babbitted Industrial Bearings,” *Lubricants*, vol. 3, no. 2, pp. 91–112, 2015.
- [4] X. Wang, Z. Yin, and Y. Chen, “Study on Fatigue Strength of SnSb11Cu6 Babbitt-steel Bimetal Sliding Bearing Material Prepared by MIG Brazing,” *Mechanics & Industry*, vol. 21, no. 1, pp. 106, 2020.
- [5] H. Zhang, Y. Hou, M. Li, and M. Zhang, “Failure Analysis of a Bearing Bush of a Feed Water Pump,” *Strength, Fracture and Complexity*, vol. 14, no. 1, pp. 1–14, 2021.
- [6] S. Rastayesh, S. Bahrebar, F. Blaabjerg, D. Zhou, H. Wang, J. Dalsgaard Sørensen, “A System Engineering Approach Using FMEA and Bayesian Network for Risk Analysis—A Case Study,” *Sustainability*, vol. 12, no. 1, pp. 77, 2019.
- [7] J. Huang, J. You, H. Liu, and M. Song, “Failure Mode and Effect Analysis Improvement: A Systematic Literature Review and Future Research Agenda,” *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 199, p. 106885, 2020.
- [8] R. A. Meyer, D. F. Cannon, W. E. Kent, W.E., “The Fishbone (Ishikawa) Diagram: A Dynamic Learning Tool,” *Hospitality & Tourism Educator*, vol. 8, no. 1, pp. 45–47, 1996.
- [9] M. Coccia, “The Fishbone Diagram to Identify, Systematize and Analyze the Sources of General Purpose Technologies,” *Journal of Social and Administrative Sciences*, vol. 4, no. 4, pp. 291–303, 2018.
- [10] S. H. Sakdiyah, N. Eltivia, and A. Afandi, “Root Cause Analysis Using Fishbone Diagram: Company Management Decision Making,” *Journal of Applied Business, Taxation and Economics Research (JABTER)*, vol. 1, no. 6, pp. 566–576, 2022.
- [11] T. Widiyanti, T. (2015) ‘Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) sebagai Tindakan Pencegahan pada Kegagalan Pengujian’, in *Conference: 10th Annual Meeting on Testing and Quality*, 2015, p. 2.