Analyisis Of Boiler Reliability Maintenance System With Availability Ratio At PT. XXX

Analisa Sistem Perawatan Keandalan Boiler Dengan Rasio Availability Di PT. XXX

1st Luthfi Frans Setiawan[1], 2nd Edi Widodo,S.T.,M.T[2]
luthfifrans666@gmail.com[1],ediwidodo@umsida.ac.id [2]

Student in Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Sidoarjo 61272, Indonesia[1], Department of Mechanical Engineering, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Sidoarjo 61272, Indonesia[2]

Abstract. *PT. XXX is a company engaged in the food sector which is more precisely noodles. The production process in this company often experiences problems such as damage to boiler machines or problems with boiler machines that cause machines to be repaired and the process takes a long time (downtime) which results in losses of production targets for the company. The maintenance system that runs in this company applies corrective maintenance and preventive maintenance methods. The proposed maintenance system provided is a spare part replacement schedule based on the calculation of Total Minimum Downtime. In addition, to support the proposed maintenance system, an optimal supply of spare parts is needed. By implementing the proposed maintenance system, there was a significant decrease in downtime .*

Keywords : *Boiler , Maintenance , Downtime*

Abstrak. *PT. XXX merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang makanan yang lebih tepatnya adalah mie. Proses produksi pada perusahaan ini sering mengalami kendala seperti rusaknya mesin boiler atau terjadi masalah pada mesin boiler yang menyebabkan mesin harus diperbaiki dan prosesnya meluangkan waktu yang cukup lama (downtime) yang mengakibatkan kerugian target produksi pada perusahaan. Sistem perawatan (maintenance) yang berjalan pada perusahaan ini menerapkan metode corrective maintenance dan preventive maintenance. Sistem perawatan usulan yang diberikan yaitu jadwal penggantian spare part berdasarkan perhitungan Total Minimum Downtime. Selain itu, untuk mendukung sistem perawatan yang diusulkan maka diperlukan persediaan spare part yang optimal. Dengan menerapkan sistem perawatan usulan terjadi penurunan downtime pada perusahaan yang cukup signifikan .*

Kata Kunci : Boiler, Perawatan, Waktu Henti

I. PENDAHULUAN

PT.SPRHM merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang industry makanan khususnya mi instan dan mi kering yang bermerk mie Burung Dara. PT.SPRHM merupakan perusahaan yang telah menggunaka mesin ketel uap sebagai sumber energi panas untuk proses pengukusan yang dinamakan steamer box, pengeringan (dryer) dan penggorengan dengan sirkulasi minyak melalui Heat Exchanger.

Mesin dan peralatan merupakan salah satu alat produksi yang mempunyai peran yang sangat penting dalam prokduktivitas suatu organisasi atau perusahaan, dimana suatu produktivitas sangat bergantung pada mesin dan peralatan[1].

Boiler adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang terbuat dari baja dan digunakan untuk menghasilkan uap (steam)[2]. Steam diperoleh dengan memanaskan wadah berisi air dengan bahan bakar. Boiler pada umumnya menggunakan bahan bakar cair (residu,solar), bahan bakar padat (batu bara) atau gas. Air di dalam boiler kemudian dipanaskan oleh panas bahan bakar yang terbakar (sumber panas lain) sehingga menyebabkan hal ini terjadi . Perpindahan panas dari sumber panas ke air menyebabkan air memanas atau berubah menjadi uap.

Oleh karena itu, diperlukan upaya yang efektif dan efisien di pemeliharaan boiler untuk mengatasi masalahnya. Objektif tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa sistem pemeliharaan yang sesuai untuk pengoperasiannya. Untuk menghindari kemungkinan terjadinya gangguan yang menyebabkan kerusakan permanen pada boiler[3]. Dalam pelaksanaan perlu dihindarkan maintenance yang tidak teratur, apabila komponen boiler rusak atau macet maka akan menghambat proses produksi yang dimana uap hasil boiler sangat dibutuhkan pada proses produksi makanannya.

Pemeliharaan yang baik tentu akan menghasilkan kerja mesin dan peralatan akan baik pula, kegiatan pemeliharaan yang kurang baik akan menghasilkan kerja mesin dan peralatan yang kurang baik pula. Dengan melakukan kegiatan pemeliharaan yang baik akan menghasilkan mesin – mesin dan peralatan yang dapat dipakai dalam jangka waktu yang relatif lama, dan kegiatan atau proses produksi berjalan tanpa hambatan karena mesin dan peralatan jarang rusak. Juga

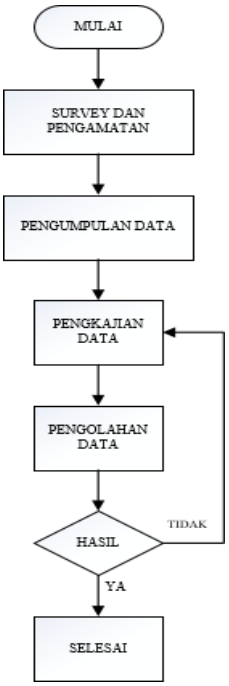
dengan pemeliharaan yang baik akan memperkecil kerusakan besar serta biaya pemeliharaan yang tinggi akan dapat ditekan sekecil mungkin disebabkan terhindarnya kerusakan besar atau kerusakan total.

Sedangkan pemeliharaan yang kurang baik tentu akan menghasilkan kerja mesin dan peralatan yang tidak baik. Kerja mesin dan peralatan yang tidak baik seperti; mesin atau peralatan akan cepat rusak, sehingga tingkat kegunaannya akan cepat pula menurun. Dengan tidak berjalannya mesin dan peralatan produksisecara efektif karena seringnya terjadi kerusakan akibat pemeliharaan mesin dan peralatan yang kurang baik menyebabkan semakin tingginya biaya yang dikeluarkan.

Sistem perawatan dibedakan menjadi 2 jenis , yaitu Preventive maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu proses produksi[4]. Dan yang kedua adalah Corrective maintenance merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas produksi mengalami kerusakan atauangguan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan ini sering disebut dengan kegiatan perbaikan dan tidak dapat direncanakan terlebih dahulu[5]

II. METODE

Metode pengolahan data yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah metode kuantitatif yaitu dengan cara pengumpulan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap proses pengoperasian boiler dan wawancara dengan pihak-pihak yang terlibat dalam pengoperasian boiler seperti operator boiler dan pekerja pemeliharaan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Metode.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

I. Perawatan (*Maintenance*)

Ada 2 jenis perawatan pada boiler yang harus dilakukan :

1. Perawatan Pada Saat Boiler Beroperasi.

Melakukan pengecekan dan pengontrolan secara berkala atau setiap hari pada seluruh boiler, mengisi boiler dengan air umpan yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, karena dengan mengisi boiller dengan air umpan *(feed water)* sesuai yang ditetapkan akan mengurangi resiko-resiko endapan dan kerak yang terlalu tebal maka mengganggu proses penyaluran panas dari dinding pemanas menuju air dan juga dapat mengurangi efisiensi *boiler*.[6]

2. Perawatan Pada Saat Boiler Tidak Beroperasi.

Perawatan sistem ini berarti perawatan yang dilakukan pada saat boiler tidak beroperasi, biasanya saat hari kerja seperti hari sabtu yang dilakukan dengan 2 shift, biasanya berupa Minor Overhaul ataupun Major Overhaul yang merupakan perawatan tahunan.

II. Perawatan Berkala Pada Boiler.

a. Perawatan Mingguan

Perawatan harian pada boiler adalah kegiatan yang dilakukan secara rutin setiap hari untuk memastikan bahwa boiler dapat beroperasi dengan aman dan efisien. Kegiatan ini meliputi pemeriksaan dan pembersihan komponen-komponen boiler, serta pengukuran dan penyetelan parameter-parameter operasi boiler.

NO	Peralatan / Komponen Yang Diperiksa	Cara Pemeriksaan
1	Air Umpan Boiler	Periksa secara visual jumlah air yang masuk ke dalam boiler dan catan dalam ke dalam log sheet.
2	Blow Down Valve	Lakukan Blow Down setip 2 jam sekali/ sesuai aturan.
3	Bahan Bakar	Memeriksa pemakaian bahan bakar batu bara.
4	Alat Bantu Boiler (Appendages, Pompa, Kompressor, dll)	Lakukan pemeriksaan secara visual terhadap peralatan bantu boiler dan catat ke dalam log sheet.
5	Kandungan O2 Dan CO2	Memeriksa O2 dan CO2 yang terkandung dalam gas asap dan catat ke dalam log sheet.

Tabel 1 Perawatan Harian.

b. Perawatan Bulanan.

Pemeriksaan dan pelumasan komponen-komponen bergerak dilakukan untuk memastikan bahwa komponen-komponen tersebut dapat bergerak dengan lancar. Komponen yang tidak terlumasi dengan baik dapat mengalami kemacetan, yang dapat menyebabkan boiler tidak dapat beroperasi. Kegiatan perawatan mingguan pada boiler harus dilakukan secara rutin dan cermat untuk memastikan bahwa boiler dapat beroperasi dengan aman dan efisien.

NO	Peralatan / Komponen Yang Diperiksa	Cara Pemeriksaan
1	Saringan Pompa Isap	Periksa saringan pompa isap pada semua pompa pada unit boiler.
2	Screw Feeder	Periksa daun ulir screw feeder pembawa batu bara ke furnace.
3	Header / Steam Accumulator	Lakukan blow down pada *header / steam accumulator.*
4	Pintu Ruang Asap	Memeriksa kerapatan pintu ruang asap *(smoke box doors).*
5	Gelas Penduga (Sight Glass)	Memeriksa tingkat ketinggian air pada gelas penduga dan memastikan tidak ada kebocoran.

Tabel 2 Perawatan Mingguan.

c. Perawatan Tahunan

Pembersihan mayor overhaul adalah pembersihan boiler secara menyeluruh yang dilakukan setiap 3-5 tahun sekali. Pembersihan ini meliputi pembongkaran dan pemeriksaan semua komponen boiler, serta penggantian komponen yang rusak atau aus. Pembersihan minor overhaul adalah pembersihan boiler yang dilakukan secara rutin setiap 1-2 tahun sekali.

NO	Peralatan/ Komponen Yang Diperiksa	Cara Pemeriksaan
1	Cleaning Boiler.	1. Lakukan semua prosedur cleaning boiler, mulai dari pembongkaran, pembersihan, hidrostatis test dan lain-lain. 2. Membersihkan bagian dalam ruang furnace dari sisa-sisa pembakaran batu bara.

		3. Melakukan pembongkaran pada screw feeder,hooper,dan dilakukan penggantian.
2	Minor Overhaul.	Lakukan semua prosedur *Minor Overhaul* boiler sesuai dengan standar yang telah dibuat, mulai dari pembongkaran, pembersihan, pengganatian peralatan bila ada.
3	Mayor Overhaul.	Lakukan semua prosedur *Mayor Overhaul* boiler sesuai dengan standar yang telah ditetapkan , mulai dari pembingkaran,penggantian sparepart, dan penyelesaian pekerjaan.

Tabel 3 Perawatan Bulanan

III. Pengumpulan Data

Operation Time adalah waktu operasi tersedia atau *availibility time* setelah waktu *breakdown/downtime* mesin dikeluarkan dari *total avaibility time* yang direncanakan.

Tabel 4 Operation Time

.

Mesin	Bulan	Waktu Operasi	Jam Kerja	Total Operasi Waktu (jam).
Boiler	Agustus	22 Hari	8 Jam	176 Jam
	September	21 Hari	8 Jam	168 Jam
Total Operasi Waktu				344 Jam

Loading Time adalah total waktu kesiapan mesin, sampai mesin kembali di operasikan, bisa juga dikatakan bahwa waktu total rehatnya suatu mesin.

Data Loading Time.

Mesin	Bulan	Minggu	Waku Stand By (Jam)	Loading Time
Boiler	Agustus	4	48 Jam (Sabtu – Minggu)	192
	September	4	48 Jam (Sabtu – Minggu)	192
	Total Loading Time			384

Tabel 5 Loading Time.

- Perhitungan Availability

Availability adalah proposi dari waktu peralatan/mesin yang sebenarnya tersedia untuk melakukan suatu pekerjaan dengan waktu yang ditargetkan seharusnya tersedia untuk suatu pekerjaan, atau dengan definisi lain bahwa availability adalah ratio untuk melihat line stop yang ditinjau dari aspek breakdown saja. Maka dapat dihitung nilai Availability dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A = \frac{Total\ Operation\ Time}{Loading\ Time}\ x\ 100\ \%$$

$$= \frac{344}{384}\ X\ 100\%$$

$$= 89\ \%$$

Dengan demikian performance kesiapan mesin dalam beroperasi adalah 89 %.
Angka kesiapan performa mesin dengan kondisi stedy adalah 89%. Sistem boiler secara keseluruhan masih ada kemungkinan kegagalan sebesar 11%. Nilai kegagalan 11% inilah yang menyebabkan tidak tercapainya target produksi pada pabrik. Sebuah sistem akan menjalankan fungsinya dengan baik apabila memiliki reliability yang tinggi. Untuk itu peningkatan nilai keandalan ini perlu diadakanya perawatan.

- Blow Down

Dalam sebuah bejana air yang dipanasi sampai dengan titik didih pasti memerlukan drain atau *blow down* dengan tujuan untuk mengurangi kandungan lumpur yang bisa menyebabkan kerak pada ketel uap . Pada ketel uap disini ada 4 titik tempat untuk drain :

Ketel uap disini menggunakan sistem automatis yang diatur oleh timer pada bejana chell sedangkan untuk ketiga jalur sistem manual . Adapun perhitungannya sistem drain adalah sebagai berikut :
Diketahui :

- TDS Air Umpan boiler = 70 ppm
- TDS Air Boiler = 3500 ppm
- Kapasitas Boiler = 12000 kg/jam

Hitung berapa jumlah air yang perlu dibuang ;

$$\frac{Tds\ air\ umpan}{Tds\ Boiler - Tds\ air\ umpan} \text{ x } kapasitas\ boiler = \frac{70}{3500-70} x12000$$

$$= 244\ liter$$

Air yang perlu di buang pada saat proses blowdown adalah 244 liter. Air tersebut dapat konsentrasi zat-zat terlarut dalam air boiler. Ini termasuk garam-garam terlarut dan padatan lainnya yang dapat mengakumulasi dalam boiler seiring waktu. Zat-zat terlarut yang terkandung dalam air boiler, seperti garam, dapat mengendap dan membentuk kerak atau endapan pada permukaan penukar panas. Blowdown membantu mengurangi risiko pembentukan kerak dan endapan ini. Dengan mengurangi konsentrasi zat terlarut, proses blowdown membantu menjaga efisiensi termal boiler. Kondisi air yang lebih bersih dan bebas kontaminan meningkatkan kinerja penukar panas. Jumlah air yang dibuang harus seimbang agar mengurangi konsentrasi zat terlarut tanpa menghambat operasi boiler atau menghasilkan pemborosan air yang tidak perlu. Sebagai bagian dari pengelolaan boiler yang efektif, blowdown harus dilakukan sesuai dengan pedoman dan rekomendasi perusahaan serta standar keselamatan dan lingkungan yang berlaku.

- Permasalahan Boiler
    1. Kerak pasir silika/kerak silikat sangat keras dan menjadi penghalang perpindahan panas. Konsumsi bahan bakar meningkat 3 kali lebih banyak dari konsumsi bila jenis kerak “normal” pada tebal yang sama.
       Solusi yaitu dengan cara pembersihan secara mekanis atau menggunakan bahan kimia pembersih untuk menghilangkan kerak, cek air umpan boiler harus memiliki kualitas yang baik dan bebas dari kontaminan, pengendalian air PH karena perubahan ph yang signifikan dapat mempengaruhi kelarutan silikan dan menyebabkan kerak.
    2. Adanya batu bara yang tidak ter crusher/hancur dengan sempurna sehingga menyebabkan daun screw feeder penghantar batu bara menuju ke furnace cepat rusak.
       Solusinya yaitu dengan memperbaruhi sistem crusher (penghancur batu bara) , apabila batubara tidak tercrusher dengan sempurna menyebabkan penyumbatan pada screw feeder sehingga screw feeder bekerja lebih untuk menghantarkan batu bara ke furnace.
    3. Korosi pada Hooper .
       Solusinya yaitu mengganti spare yang terkena korosi dan jika korosi sudah membentuk lubang bisa di tambal dengan besi dengan cara di las atau juga bisa membeli sparepart yang baru, yang dilengkapi dengan pelapis anti korosi untuk mencegah korosi lebih lanjut dan melakukan inspeksi secara berkala untuk mendeteksi korosi yang akan muncul agar tidak tersebar ke seluruh body mesin.


Gambar 1 Korosi pada Hooper


Gambar 2 *Screw Feeding* Aus

IV. KESIMPULAN

Pemeliharaan kerusakan merupakan strategi pemeliharaan yang sangat sederhana dan buruk karena dapat menyebabkan biaya tinggi, kondisi mesin atau suku cadang yang tidak diketahui, dan tidak ada perencanaan waktu atau biaya personel yang baik.Kemudian memelihara mesin pengembangan dengan sistem pemeliharaan preventif. Pemeliharaan preventif bertujuan untuk mencegah kerusakan mendadak pada mesin dan meningkatkan keandalan mesin.

Perawatan boiler dengan menggunakan metode Availability Ratio adalah suatu pendekatan untuk memantau dan meningkatkan ketersediaan boiler. Metode ini melibatkan perhitungan rasio ketersediaan berdasarkan waktu operasi yang sebenarnya dengan waktu operasi yang diharapkan atau yang direncanakan. Langkah-langkah umum dalam mengimplementasikan metode Availability Ratio adalah sebagai berikut:

1. Pemantauan Rutin: Lakukan pemantauan rutin terhadap kondisi boiler dan komponen-komponennya. Hal ini termasuk inspeksi visual, pengukuran suhu, tekanan, dan parameter operasional lainnya.
2. Perencanaan Perawatan: Buat jadwal perawatan yang teratur berdasarkan rekomendasi produsen boiler dan panduan perawatan. Pastikan untuk memperhatikan penggantian suku cadang yang sesuai.
3. Perhitungan Availability Ratio: Hitung rasio ketersediaan boiler dengan membagi total waktu operasi aktual oleh total waktu operasi yang diharapkan. Ini akan memberikan Anda gambaran tentang sejauh mana boiler beroperasi sesuai dengan yang direncanakan.
4. Analisis Data: Evaluasi hasil perhitungan Availability Ratio untuk menentukan apakah boiler berkinerja dengan baik atau ada masalah yang perlu diperbaiki.
5. Perbaikan dan Tindakan Korektif: Jika Availability Ratio rendah, identifikasi masalah yang mungkin mendasarinya dan lakukan perbaikan atau tindakan korektif yang diperlukan. Ini bisa mencakup pembersihan, perbaikan, atau penggantian komponen.
6. Pengoptimalan Perawatan: Terus perbaiki strategi perawatan berdasarkan hasil pemantauan dan analisis data, sehingga ketersediaan boiler terus meningkat.

Penting untuk diingat bahwa metode Availability Ratio adalah salah satu dari banyak metode perawatan boiler yang tersedia. Keberhasilan implementasi tergantung pada pemantauan yang cermat dan tindakan yang cepat untuk mengatasi masalah yang mungkin muncul. Selalu pastikan untuk mengikuti pedoman keselamatan dan perawatan yang berlaku serta berkonsultasi dengan spesialis perawatan boiler jika diperlukan.

Perawatan Darurat (Emergency Maintenance) Pekerjaan perbaikan yang harus segera dilakukan karena terjadi kemacetan atau kerusakan yang tidak terduga. Breakdown Maintenance pekerjaan perawatan dilakukan setelah terjadi kerusakan pada peralatan dan untuk memperbaikinya harus disiapkan suku cadang, material, alat-alat dan tenaga kerjanya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam rangka menyelesaikan program magang saya di PT. Surya Pratista Hutama selama 1 Bulan, saya dengan senang hati menyusun laporan ini sebagai bagian dari penilaian akhir magang saya. Laporan ini merupakan hasil pembelajaran, pengalaman, dan pengamatan selama saya berada di PT. Surya Pratista Hutama.

Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung saya selama magang ini. Terima kasih kepada Bpk Yulistiyanto atas bimbingan dan arahannya yang sangat berharga. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua rekan kerja di PT. Surya Pratista Hutama yang telah memberikan kesempatan bagi saya untuk belajar dan berkontribusi dalam lingkungan kerja yang hebat ini.

Selama magang ini, saya telah belajar banyak tentang Proses Maintanace , baik dalam hal teori maupun praktik. Pengalaman ini telah membantu saya untuk mengembangkan keterampilan dan pengetahuan saya di bidang ini.

Laporan ini berisi ringkasan dari kegiatan dan proyek yang telah saya ikuti selama magang, serta evaluasi diri saya terkait dengan perkembangan pribadi dan profesional saya selama periode tersebut. Semoga laporan ini dapat memberikan wawasan yang bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Sekali lagi, terima kasih atas dukungan dan kesempatan yang telah saya terima selama magang ini. Saya berharap dapat terus berkontribusi dan belajar Proses Maintanace di dunia Industri di masa depan.

REFERENSI

[1] T. Rahmania, A. R. Matondang, and N. Matondang, "Perbaikan sistem perawatan mesin pada PT XYZ," Jurnal Sistem Teknik Industri, vol. 18, no. 2, pp. 47–50, 2016, doi: 10.32734/jsti.v18i2.344.

[2] Y. Daeng Polewangi, "Analisis sistem perawatan boiler di PT. Dewa Rencana Perangin-Angin," JIME (Journal of Industrial and Manufacture Engineering), vol. 2, no. 1, pp. 29–33, 2018, doi: 10.31289/jime.v2i1.2428.

[3] P. B. Pratama and K. Jainuri, "Perencanaan perawatan mesin boiler dengan pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM) pada PT. Bumi Khatulistiwa."

[4] Y. Rosa, "Perencanaan dan penerapan preventive maintenance peralatan laboratorium," Jurnal Teknik Mesin, vol. 2, no. 2, pp. 107–119, 2005.

[5] S. D. Pandi, H. Santosa, and J. Mulyono, "Perancangan preventive maintenance pada mesin corrugating dan mesin flexo di PT. Surindo Teguh Gemilang," Jurnal Ilmiah Widya Teknik, vol. 13, no. 1, pp. 33–38, 2014, doi: 10.33508/wt.v13i1.1461.

[6] Y. R. Rosyid, "Manajemen perawatan pada boiler utilitas batu bara PT. Petrokimia Gresik," Project Report, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2021.

[7] H. Rachman, A. K. Garside, and H. M. Kholik, "Usulan perawatan sistem boiler dengan metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," Jurnal Teknik Industri, vol. 18, no. 1, pp. 86–93, 2017, doi: 10.22219/JTIUMM.Vol18.No1.86-93.

[8] A. F. Kristanto, "Meminimalisir gangguan dengan preventive maintenance boiler di pembangkit listrik tenaga uap (studi kasus pada PT. PJB UBJOM PLTU Rembang)," Jurnal Energi dan Manufaktur, vol. 15, no. 1, pp. 32–41, 2022, doi: 10.24843/JEM.2022.v015.i01.p05.

[9] A. S. K. R. Q. Alazemi, M. Y. Ali, and M. R. C. Daud, "Preventive maintenance of boiler: A case of Kuwait industry," International Journal of Engineering Materials and Manufacture, vol. 4, no. 2, pp. 48–58, 2019, doi: 10.26776/ijemm.04.02.2019.02.

[10] N. A. Silviana, "Usulan perawatan komponen kritis pada boiler feed pump dengan menggunakan metode preventive maintenance," Jurnal Ilmiah Teknik Industri Prima (JURITI PRIMA), vol. 4, no. 1, 2022, doi: 10.34012/juritiprima.v4i1.1615.

[11] S. S. Patil and A. K. Bewoor, "Optimization of maintenance strategies for steam boiler system using reliability-centered maintenance (RCM) model: A case study from Indian textile industries," International Journal of Quality & Reliability Management, vol. 39, no. 7, pp. 1745–1765, 2022, doi: 10.1108/IJQRM-07-2021-0216.

[12] 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, p. 10073, 2022, doi: 10.3390/su141610073.

[13] M. B. Zaman, D. Priyanta, and B. S. S. Putra, "Determination of maintenance task on tanker vessel's marine boiler using Reliability Centered Maintenance (RCM) II method," International Review of Mechanical Engineering, vol. 15, no. 5, pp. 228–236, 2021, doi: 10.15866/ireme.v15i5.19061.

[14] H. H. Azwir, A. I. Wicaksono, and H. Oemar, "Manajemen perawatan menggunakan metode RCM pada mesin produksi kertas," Jurnal Optimasi Sistem Industri, vol. 19, no. 1, pp. 12–21, 2020, doi: 10.25077/josi.v19.n1.p12-21.2020.

[15] M. Bastuti, D. Alfian, and M. F. B. C. K. “Penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk perawatan mesin Twin Screw Extruder,” TRAKSI: Majalah Ilmiah Teknik Mesin, vol. 21, no. 2, 2021, doi: 10.26714/traksi.21.2.2021.%.