

Analisis Kerusakan *Housing Burner* Mesin Boiler *Type Watertube* Kapasitas 2.500 Kg/Jam Di PT. Pratapa Nirmala

Septian Ari Priyanto¹, Abdul Choliq.²

¹) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang
Jln. Surya Kencana No.1 Pamulang, Pamulang Barat, Kota Tangerang Selatan, Banten 15417, Indonesia
* septianap33@gmail.com, * dosen02127@unpam.ac.id

Abstract

This research focuses on the failure analysis of the housing burner component in a watertube-type boiler with a capacity of 2,500 kg/hour, operated at PT Pratapa Nirmala Pharmaceutical Industry. This study aims to analyze the failure of a housing burner component in a watertube boiler with a capacity of 2,500 kg/h used in the pharmaceutical industry at PT Pratapa Nirmala. Post-operation inspection revealed significant material erosion on one side of the housing burner in the combustion chamber area, which may reduce combustion efficiency and adversely affect the overall boiler performance. To identify the failure mechanisms and root causes, material analyses were conducted on several sample conditions, including worn, non worn, raw material, and heat-treated samples. The investigation involved microstructural observation using optical microscopy and surface morphology analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM) to evaluate the extent of surface degradation, the presence of microcracks, oxidation, and porosity. The results indicate that the material degradation is progressive and non-uniform, suggesting an imbalance in heat distribution and combustion gas flow, which is likely associated with misalignment during housing burner installation. Heat treatment was evaluated to assess its potential in improving wear resistance and thermal stability of the material, serving as a basis for technical recommendations regarding design improvement, installation methods, and maintenance strategies for the housing burner

Keywords: *Housing burner, material degradation, misalignment, SEM, watertube boiler*

1. Pendahuluan

Boiler merupakan peralatan vital dalam industri yang berfungsi menghasilkan uap (steam) sebagai sumber energi termal untuk mendukung berbagai proses produksi. Pada boiler tipe watertube berkapasitas 2.500 kg/jam, sistem pembakaran menjadi faktor utama yang menentukan performa termal dan efisiensi operasional. Burner berperan dalam mencampurkan bahan bakar dan udara dengan rasio yang tepat agar proses pembakaran berlangsung sempurna, sedangkan housing burner berfungsi sebagai dudukan mekanis, pelindung area pembakaran, sekaligus pengarah nyala api menuju ruang bakar. Integritas dan kondisi housing burner sangat berpengaruh terhadap stabilitas nyala api, distribusi panas, serta keselamatan operasi boiler [1], [2]. Hasil inspeksi lapangan menunjukkan adanya keausan tidak merata pada housing burner, di mana salah satu sisi mengalami kondisi worn yang signifikan, sementara sisi lainnya relatif masih dalam kondisi baik. Ketidaksimetrisan keausan ini mengindikasikan adanya ketidakseimbangan distribusi panas dan aliran gas hasil pembakaran di dalam ruang bakar. Selain itu, faktor material, kualitas pemasangan, alignment burner, variasi beban operasi, serta kemungkinan ketidaksempurnaan rasio udara–bahan bakar turut berkontribusi terhadap terjadinya degradasi lokal. Paparan temperatur tinggi secara kontinu dapat menyebabkan oksidasi, erosi termal, serta thermal fatigue pada material housing burner, yang dalam jangka panjang menurunkan ketahanan mekanis komponen tersebut [3], di mana satu sisi mengalami kondisi worn sementara sisi lainnya relatif baik. Fenomena ini mengindikasikan ketidakseimbangan distribusi panas, aliran gas pembakaran, serta pengaruh faktor material dan kondisi operasi yang memicu degradasi lokal pada komponen tersebut. Dalam industri farmasi yang mengoperasikan boiler secara kontinu untuk mendukung proses produksi, keandalan dan keselamatan peralatan merupakan aspek yang sangat krusial. Sistem boiler harus memenuhi standar keselamatan dan regulasi teknis yang berlaku guna menjamin kontinuitas produksi serta mencegah potensi bahaya

seperti flame instability, overheating, maupun kegagalan komponen pembakaran [4]. Oleh karena itu, penerapan program preventive maintenance yang terstruktur, disertai analisis kerusakan (failure analysis) pada housing burner, menjadi langkah strategis untuk mengidentifikasi mekanisme degradasi yang terjadi. Melalui pendekatan tersebut, dapat dirumuskan tindakan perbaikan dan pencegahan yang tepat guna meningkatkan efisiensi pembakaran, memperpanjang umur pakai komponen, serta menjaga keselamatan dan keandalan operasi boiler secara menyeluruh [5].

2. Material dan metodologi

a. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui analisis eksperimental dan deskriptif terhadap kerusakan housing burner boiler tipe watertube berkapasitas 2.500 kg/jam dengan membandingkan kondisi permukaan worn dan non worn [6]. Karakterisasi morfologi dan mikrostruktur permukaan dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) [7], sedangkan komposisi unsur dianalisis menggunakan Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) [8]. Hasil pengujian dianalisis secara komparatif untuk mengidentifikasi mekanisme degradasi material serta keterkaitannya dengan kondisi operasi, sebagai dasar perumusan penyebab kerusakan dan rekomendasi preventive maintenance.

b. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui identifikasi material housing burner berdasarkan data teknis dan kondisi operasi boiler. Data eksperimental diperoleh dari pengujian material di laboratorium, meliputi perlakuan panas dan analisis struktur mikro yang disesuaikan dengan kondisi operasi aktual. Hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi pengaruh material terhadap kerusakan serta menentukan kebutuhan perbaikan atau penggantian material.

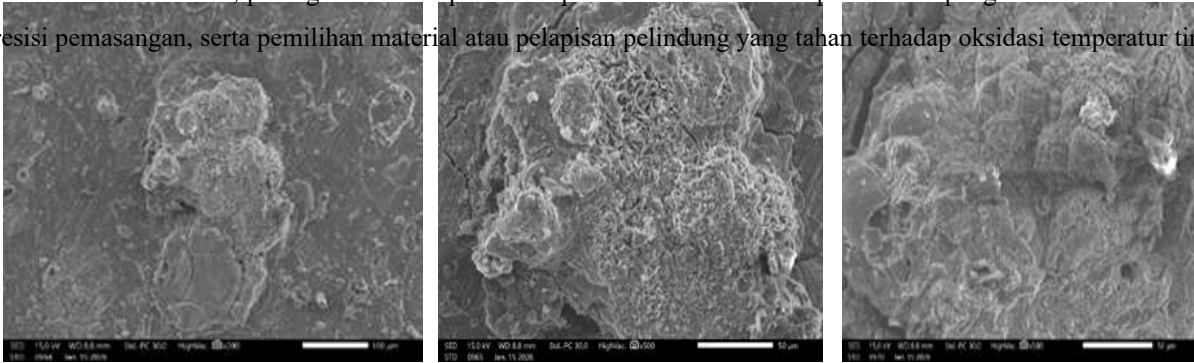
c. Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis dengan membandingkan karakteristik mikrostruktur [9], [10] dan komposisi material pada kondisi worn dan non worn. Analisis difokuskan pada identifikasi mekanisme degradasi material serta keterkaitannya dengan kondisi operasi boiler untuk menentukan penyebab dominan kerusakan.

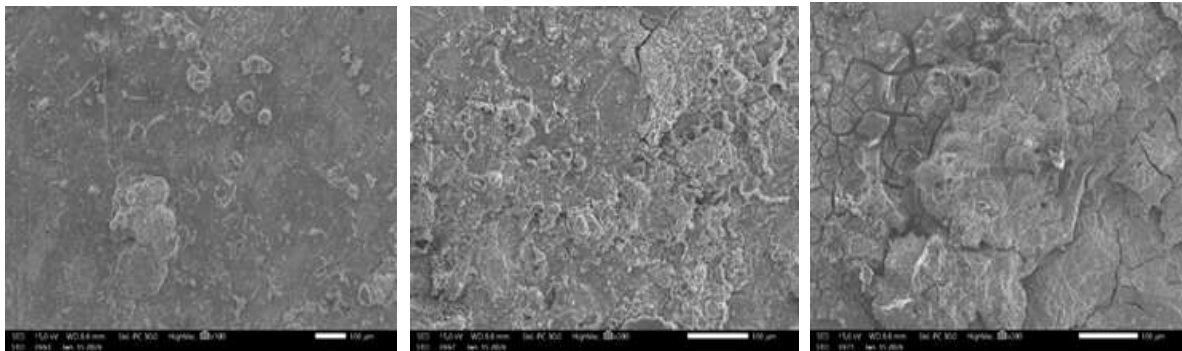
3. Hasil dan pembahasan

Hasil pengamatan SEM–EDX menunjukkan perbedaan karakteristik mikrostruktur dan kondisi permukaan yang jelas pada ketiga sampel. Sampel non worn memperlihatkan mikrostruktur yang relatif stabil dengan degradasi terbatas, ditandai oleh oksidasi ringan dan kontaminasi permukaan tanpa indikasi kerusakan mekanis yang signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa material masih mempertahankan integritas struktural meskipun telah mengalami paparan panas selama operasi. Sebaliknya, sampel worn menunjukkan degradasi permukaan yang paling parah dan bersifat progresif. Citra SEM pada berbagai tingkat pembesaran mengungkap permukaan yang kasar, tidak homogen, kaya pori, serta dipenuhi retakan mikro yang menyebar, disertai indikasi oksidasi temperatur tinggi dan pelemahan batas butir. Kondisi ini mengindikasikan bahwa mekanisme kerusakan dipengaruhi oleh kombinasi paparan temperatur tinggi jangka panjang, siklus termal berulang, oksidasi, serta interaksi dengan gas dan deposit hasil pembakaran, yang secara bertahap menurunkan kekuatan dan integritas material housing burner [11]. Sementara itu, sampel after heat treated menunjukkan perubahan yang terbatas pada permukaan berupa pembentukan lapisan oksida tipis dan akumulasi unsur ringan, tanpa perubahan komposisi kimia bulk material. Karakteristik ini lebih mendekati kondisi sampel non worn dan berbeda signifikan dari sampel worn, sehingga menegaskan bahwa kerusakan utama pada housing burner dikendalikan oleh

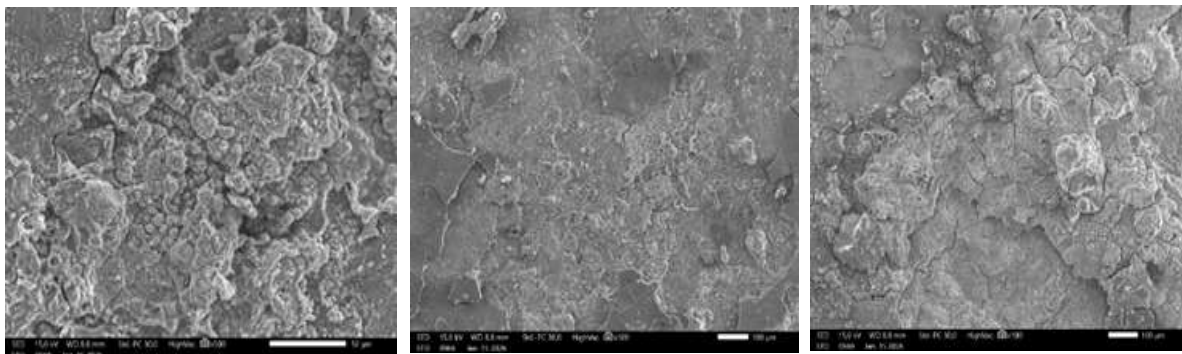
degradasi permukaan akibat kondisi operasi aktual. Selain faktor termal dan reaksi permukaan, ketidaktepatan pemasangan atau misalignment berpotensi mempercepat degradasi melalui distribusi panas dan aliran gas yang tidak merata. Oleh karena itu, peningkatan umur pakai komponen lebih efektif dicapai melalui pengendalian kondisi operasi, presisi pemasangan, serta pemilihan material atau pelapisan pelindung yang tahan terhadap oksidasi temperatur tinggi.



Gambar 1. Hasil SEM Pembesaran 500X Sample *After Heat Treated, Non Worn, dan Worn*



Gambar 2. Hasil SEM Pembesaran 200X Sample *After Heat Treated, Non Worn, dan Worn*



Gambar 3. Hasil SEM Pembesaran 100X Sample *After Heat Treated, Non Worn, dan Worn*

Tabel 1. Hasil EDX After Heat Treated Sample

Element	Line	Mass%	Atom%
C	K	10,20±0,10	22,91±0,23
O	K	27,89±0,19	47,01±0,32
Si	K	0,37±0,04	0,35±0,04
Mn	K	0,57±0,08	0,28±0,04
Fe	K	60,98±0,60	29,45±0,29
Total		100,00	100,00
Spc_009		Fitting ratio 0,0929	

Tabel 2. Hasil EDX Non Worn Sample

Element	Line	Mass%	Atom%
C	K	7,02±0,08	16,14±0,19
O	K	30,44±0,19	52,56±0,32
Si	K	0,50±0,04	0,49±0,04
K	K	0,41±0,04	0,29±0,03
Cr	K	0,97±0,07	0,52±0,04
Fe	K	60,66±0,58	30,00±0,29
Total		100,00	100,00
Spc_008		Fitting ratio 0,0844	

Tabel 3. Hasil EDX Worn Sample

Element	Line	Mass%	Atom%
C	K	16,30±0,11	30,34±0,20
O	K	35,87±0,20	50,14±0,28
Si	K	0,38±0,03	0,30±0,03
Cl	K	0,60±0,03	0,38±0,02
K	K	0,44±0,04	0,25±0,02
Mn	K	0,61±0,07	0,25±0,03
Fe	K	45,80±0,45	18,34±0,18
Total		100,00	100,00
Spc_002		Fitting ratio 0,0865	

Perbandingan ketiga kondisi material menunjukkan bahwa sampel *worn* mengalami degradasi permukaan paling signifikan akibat oksidasi temperatur tinggi, deposit karbon, dan interaksi dengan lingkungan pembakaran, sedangkan sampel *non worn* berada pada tahap awal degradasi dengan oksidasi dan kontaminasi permukaan yang masih terbatas, dan sampel *after heat treated* hanya menunjukkan perubahan pada permukaan tanpa perubahan komposisi kimia bulk material [12]. Temuan ini menegaskan bahwa mekanisme kerusakan *housing burner* boiler terutama dikendalikan oleh degradasi permukaan akibat kondisi operasi, yang dapat diperparah oleh *misalignment* melalui distribusi panas dan aliran gas pembakaran yang tidak merata. Oleh karena itu, peningkatan umur pakai komponen lebih efektif dilakukan melalui pemilihan material tahan oksidasi temperatur tinggi, penerapan lapisan pelindung, serta pengendalian kondisi operasi dan presisi pemasangan burner dibandingkan mengandalkan perlakuan panas konvensional semata [13], [14].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian SEM–EDX pada material housing burner boiler dalam kondisi non worn, worn, dan after heat treated, dapat disimpulkan bahwa kombinasi pengamatan visual, analisis morfologi permukaan menggunakan SEM, serta analisis komposisi unsur menggunakan EDX efektif dalam mengidentifikasi tingkat degradasi material dan pengaruh lingkungan operasi terhadap kerusakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa upaya perbaikan dan pencegahan kerusakan lebih efektif dilakukan melalui pemilihan material yang memiliki ketahanan tinggi terhadap temperatur dan oksidasi, penerapan perlakuan panas yang tepat, penggunaan pelapisan pelindung, serta pengendalian kondisi operasi dan presisi pemasangan burner untuk meminimalkan misalignment dan beban tidak merata selama operasi.

Daftar Pustaka

- [1] D. Zhang, Y. Hu, and Y. Gao, “Optimization control of a 330 MW drum boiler unit based on DMC algorithm and DEB strategy,” *ISA Trans.*, vol. 128, pp. 435–449, 2022, doi: 10.1016/j.isatra.2021.10.027.
- [2] A. S. A. K. Firmansyah, “Desain Pengendalian Ketinggian Air Dan Temperatur Uap Dalam Steam Drum Boiler Menggunakan Discrete Fractional Order PID (FOPID) CONTROLLER,” p. 121, 2015, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/70858/>
- [3] B. Di and A. Kapal, “Analisis penyebab kegagalan pembakaran pada burner boiler di atas kapal,” 1844.
- [4] E. Shobari, “Analisis kerja mesin distilasi dan efisiensi boiler pada pengolahan minyak kayu putih perum perhutani majalengka,” pp. 472–476, 2013.
- [5] J. Qin and E. Hu, “The Impact of Solar Radiation on the Annual Net Solar to Power Efficiency of a Solar Aided Power Generation Plant with Twelve Possible ‘configuration-operation’ Combinations,” *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 149–154, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.294.
- [6] S. T. Atmadja, “Analisa Cacat Cor Pada Proses Pengecoran Burner Kompor,” *Rotasi*, vol. 8, no. 3, pp. 41–46–46, 2006.
- [7] A. Cantarero, “Raman Scattering Applied to Materials Science,” *Procedia Mater. Sci.*, vol. 9, pp. 113–122, 2015, doi: 10.1016/j.mspro.2015.04.014.
- [8] F. Theil *et al.*, “Ru dye functionalized Au-SiO₂@TiO₂ and Au/Pt-SiO₂@TiO₂ nanoassemblies for surface-plasmon-induced visible light photocatalysis,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 421, pp. 114–121, 2014, doi: 10.1016/j.jcis.2014.01.029.
- [9] P. Singh, D. Deepak, and G. S. Brar, “Optical micrograph and micro-hardness behavior of dissimilar welded joints of aluminum (Al 6061-T6) and stainless steel (SS 304) with friction crush welding,” *Mater. Today Proc.*, vol. 44, pp. 1000–1004, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.171.
- [10] R. T. Dewa, A. Aulia, E. I. Bhiptime, A. N. Satya Permata, I. Farida, and R. Shiraj, “Perancangan Mutakhir Material Propelan Padat dengan Metode Pembuatan Prototipe Cepat,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 18, no. 1, p. 1, 2023, doi: 10.32497/jrm.v18i1.3877.

- [11] V. No, "Efisiensi Termal Water Tube Boiler Berbahan Bakar Gas Dan Solar Pada Produksi Saturated Dan Superheated Steam Berdasarkan Level Ketinggian Air Dalam Steam Drum," vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2022.
- [12] J. T. Mesin, F. Teknik, and U. N. Semarang, "Analisis performa water tube boiler kapasitas 115 ton / jam di PT. Pertamina Refinery Unit VI Balongan-Indramayu," 2016.
- [13] A. Sumalatha, K. S. Rani, and C. Jayalakshmi, "Dynamic modeling of Boiler drum using nonlinear system identification approach," *Meas. Sensors*, vol. 28, no. May, p. 100845, 2023, doi: 10.1016/j.measen.2023.100845.
- [14] J. Singh, H. Vasudev, S. Singh., "Performance of different coating materials against high temperature oxidation in boiler tubes – A review," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 26, Part 2, pp. 972-978, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.01.156.