

ANALISA LAJU KOROSI KETEBALAN PIPA BAJA KARBON PADA PROSES PEMBAKARAN DI UNIT BOILER

Herry Darmadi^a, Novia Nelza^b, Muhammad Iqbal Harapan Muslim Siregar^c, Dian Kurnia^d, Yudhi Bastanta^e

^{a,c,e}Teknik Mekanika, herry.darmadi@gmail.com, Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan

^bTeknik Kimia, chemistvia@ymail.com, Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan

^dAgribisnis Kelapa Sawit, diankurnia68@gmail.com, Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan

Abstract

The demand for electrical energy continues to increase along with the increase in economic growth in Indonesia, where currently almost all equipment used by humans depends on electrical energy. The steam power generation system is one of the power generation systems that are commonly used in industries and other power plants. In general, a steam power generation system consists of several main components, namely: pumps, steam turbines, boilers, generators and condensers. Boilers are composed of several components such as pipes, chimneys, superheaters, steam drums, economizers, and other important components. One of the most important components in the boiler system is the boiler pipe which plays a role in helping the combustion process to be used in the boiler. Loss of boiler pipe thickness due to corrosion is one of the important factors that really need to be considered in the boiler combustion process at PLTU. Loss of thickness of the boiler pipe in the combustion process that is too large can cause pipe leakage which results in the interruption of the combustion process in the boiler pipe. Soto overcome this problem, checks are carried out to carry out maintenance on the boiler pipe to avoid leaks in the boiler pipe. After the calculation, the average reduction in pipe thickness due to corrosion is 0.1465 mm/yr

Keywords: *Boiler Pipes, corrosion, Power Plant.*

Abstrak

Permintaan energi listrik terus meningkat seiring dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi di Indonesia, dimana saat ini hampir seluruh peralatan yang digunakan manusia bergantung pada energi listrik. Sistem pembangkit tenaga uap merupakan salah satu dari sistem pembangkit listrik yang umum di gunakan pada industri-industri maupun pembangkit-pembangkit listrik lainnya. Secara umum sistem pembangkit tenaga uap terdiri dari beberapa komponen utama yaitu: pompa, turbin uap, *boiler*, generator dan kondenser. *Boiler* tersusun dari beberapa komponen seperti pipa, cerobong, superheater, steam drum, *economizer*, dan komponen penting lainnya. Salah satu komponen terpenting pada sistem *boiler* adalah pipa *boiler* yang berperan membantu proses pembakaran yang akan digunakan dalam *boiler*. Kehilangan ketebalan pipa *boiler* akibat korosi merupakan salah satu faktor penting yang sangat perlu diperhatikan pada proses pembakaran *boiler* di PLTU. Kehilangan ketebalan pipa *boiler* pada proses pembakaran yang terlalu besar dapat menyebabkan kebocoran pipa yang mengakibatkan tertanggunya proses pembakaran pada pipa *boiler*. Maka untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan pengecekan untuk melakukan perawatan pada pipa *boiler* agar terhindar dari kebocoran pada pipa boiler. Setelah dilakukan perhitungan, maka didapat rata-rata berkurangnya ketebalan pipa akibat korosi 0,1465 mm/yr

Kata Kunci: Pipa Boiler, Korosi, Pembangkit Listrik.

1. PENDAHULUAN

Sistem pembangkit tenaga uap merupakan salah satu dari sistem pembangkit listrik yang umum digunakan pada industri-industri maupun pembangkit-pembangkit listrik lainnya. Sistem pembangkit ini memiliki keunggulan yaitu: dapat dioperasikan dengan menggunakan berbagai jenis bahan bakar, usia atau *lifetime* yang cukup lama. Secara umum sistem pembangkit tenaga uap terdiri dari beberapa komponen utama yaitu: pompa, turbin uap, *boiler*, *generator* dan *kondensor*[1]. *Boiler* mempunyai peranan yang sangat penting dalam kelangsungan kinerja pembangkit listrik tenaga uap, dengan kata lain bisa dikatakan sebagai jantung dari PLTU. *Boiler* disini berfungsi dalam proses produksi uap, dimana uap nantinya akan digunakan untuk memutar turbin uap sebagai penghasil energi. listrik untuk kebutuhan PLTU dan masyarakat. *Boiler* tersusun dari beberapakomponen seperti cerobong, *superheater*, *steam drum*, *economizer*, dan komponen penting lainnya. Salah satu komponen terpenting pada sistem *boiler* adalah pipa yang berperan membantu jalannya proses yang akan digunakan dalam pembakaran *boiler*. Pipa merupakan sarana transportasi *fluida* yang *efektif* dan *efisien*. Pipa memiliki berbagai ukuran dan bentuk penampang. Aliran *fluida* didalam pipa pada kenyataannya mengalami penurunan tekanan seiring dengan panjang pipa yang dilalui *fluida* tersebut. *Fluida* menyebabkan timbulnya gaya geser yang sifatnya menghambat. *Fluida* yang mengalir dalam pipa

Received Januari 14, 2023; Revised Januari 22, 2023; Accepted Februari 9, 2023

akan mengalami hambatan berupa gesekan dengan dinding pipa hal ini mengakibatkan berkurangnya laju aliran dan penurunan tekanan. Walaupun dapat terjadi berbagai jenis kehilangan energi gerak, umumnya hambatan yang paling utama adalah akibat gesekan yang sangat tergantung dari kekasaran dinding pipa. Semakin kasar dinding pipa makin besar terjadinya penurunan atau kehilangan tekanan aliran. Kerusakan pada permukaan pipa akan menimbulkan penipisan pada dinding material sehingga dapat mengganggu kondisi proses maupun faktor keselamatan. Pada umumnya cacat kerusakan permukaan dinding pipa disebabkan oleh laju aliran pada pipa di proses pembakaran *boiler*. Aliran limbah didalam pipa yang mengalir secara terus menerus akan menyebabkan terjadinya keausan pada pipa. Keausan terjadi karena gesekan antara partikel lumpur yang mengalir dengan dinding pipa [2].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Boiler

Ketel uap atau *Boiler* adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam*. Air panas atau *steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air di didihkan sampai menjadi *steam*, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga *boiler* merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik. Secara proses konversi energi, *boiler* memiliki fungsi untuk mengonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang ditransfer ke fluida kerja. Baja, termasuk baja karbon sedang, banyak digunakan pada berbagai bidang teknik seperti bidang industri, konstruksi, kapal laut, bangunan dalam air dan berbagai komponen mesin yang harus memenuhi persyaratan seperti kekuatan, tahan korosi, tahan aus, dan tahan beban kejutan dan sebagainya. Kelemahan baja karbon sedang adalah kurang keras sehingga bahan ini cepat aus dan korosif dalam larutan tertentu, termasuk larutan yang mengandung NaCl[3]. Sifat kurang baik dari baja karbon sedang dapat diperbaiki dengan berbagai cara, dan salah satu cara yang dapat ditempuh adalah dengan teknik perlakuan permukaan (*surface treatment*) berupa pemberian lapisan pada permukaan logam tersebut. Ada banyak teknik pelapisan permukaan yang dapat dipilih, dan salah satu diantaranya adalah *nickel electroplating* dengan bahanpelapis nikel. Bahan pelapis nikel pada permukaan suatu bahan akan meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi bahan tersebut[4].

2.1.1 Karakteristik Pipa Baja Karbon

Menurut The American Iron and Steel Institute (AISI), material baja disebut bajakarbon ketika tidak memiliki kandungan minimum krom, nikel, kobalt, vanadium titanium, atau elemen lain yang sering kali ditambahkan agar bisa menghasilkan efek-efek tertentu. Baja karbon juga memiliki kandungan tembaga dan silikon di bawah 0,40 persen, dan kandungan mangan maksimum sekitar 1,65 persen. Adapun kandungan utama dari baja Janis ini adalah Fe (*Ferrum*) atau besi yang dipadukan dengan C (*Carbon*) atau karbon. Besar kecilnya kandungan karbon inilah yang nantinya berpengaruh terhadap tingkat kekerasan material baja. Semakin tinggi kandungan karbon, semakin rendah titik didih untuk peleburannya. hal ini nantinya berpengaruh terhadap kegetasan dan kekerasan baja. Kandungan karbon maksimal yang dibutuhkan adalah sekitar 1,7%. Kadar tersebut berpengaruh terhadap harga pipa baja karbon. Jika disimpulkan, pipa baja karbon adalah pipa baja yang memiliki kandungan besi, karbon sebesar maksimal 1,7%, silikon dan aluminium, mangan yang tidak lebih dari 1,65%, dan unsur - unsur kimia lain seperti oksigen (O), belerang (S), dan nitrogen (N) yang jumlahnya sangat kecil. Dalam pipa baja ini juga terdapat kandungan elemen lain seperti Al, Cr, Co, Ni, dan Mo, yang batas minimumnya tidak ditentukan [5].

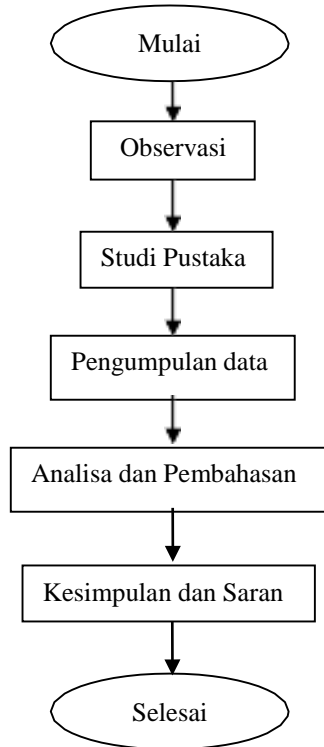
2.2 Korosi

Korosi merupakan penurunan mutu logam oleh reaksi *elektrokimia* dengan lingkungannya. Korosi yang terjadi pada logam tidak dapat dihindari, tetapi hanyadapat dicegah dan dikendalikan sehingga struktur atau komponen mempunyai masa pakai/guna yang lebih lama. Mengetahui sepintas bahwa karat itu ada yang dapat merusak benda yang berupa logam, sebagaimana besar masyarakat belum megetahui secara mendalam tentang apa dan bagaimana proses terjadinya karat serta seberapa jauh tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh serangan karat secara kuantitatif. Oleh karena itu sebagian industri, karat yang diartikan sebagai korosi, yakni sesuatu yang hampir dianggap ebagai musuh umum di sebagian industri- industri yang ada saat ini [6]. Karat (*rust*), tentu saja adalah sebutan yang belakangan ini hanya dikhususkan bagi korosi pada besi, sedangkan korosi sendiri adalah perusakan suatu material karena bereaksi dengan lingkungannya atau bisa disebut sebagai gejala destruktif yang mempengaruhi hampir semua logam. Terutama karena hampir semua pabrik-pabrik di bidang industri banyak menggunakan logam baik besi,baja,aluminium dan banyak jenis logam dan paduan lainnya. Karena itu tidak bisa diingkari bahwa permasalahan korosi ada disetiap industri tersebut. Dan tanpa disadari permasalahan korosi bisa membuat dampak-dampak yang merugikan baik dari segi biaya, sumber daya alamdan juga sumber daya manusia. Korosi pada logam melibatkan proses

Herry Darmadi dkk / Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro dan Komputer Vol 3. No. 1 (2023) 64 - 73
anodik, yaitu *oksidasi* logam menjadi *ion* dengan melepaskan *elektron* ke dalam (permukaan) logam, dan proses *katodik* yang mengkonsumsi *electron* tersebut dengan laju yang sama . Proses katodik biasanya merupakan reduksi *ion hidrogen* atau *oksigen* dari lingkungan sekitarnya. Karat pada Boiler disebabkan oleh : Kavitasi, Erosi, Benturan Partikel,Kelelahan, Endapan Tembaga , *Radiant Chamber*, dan Karat Lingkungan [7].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Kerangka Kerja yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini:



Gambar 1 Metode Penelitian

Adapun data data yang didapat yaitu spesifikasi dari unit *boiler* bagian pipa, metode pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode wawancara secara langsung tentang pipa boiler dan pengamatan pada pipa boiler yang diteliti.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Alat

Adapun spesifikasi alat yang dipakai pada penelitian ini:

Tabel 1. Spesifikasi Alat

A.	Spesifikasi Alat	
1.	<i>Boiler</i>	
	Jenis <i>Boiler</i>	: <i>Boiler</i> tipe pipaair
	Bahan bakar	: Batu bara
2.	<i>Pipa Boiler</i>	
	Jenis pipa <i>boiler</i>	: Pipa baja carbon (Fe)

4.2 Pembahasan

1. Proses pembakaran

Pada saat proses pembakaran pada pipa boiler lambat laun akan mengalami penipisan pada bahan pipa yaitu baja karbon yang digunakan pada proses pembakaran boiler di era sekarang ini Baja karbon merupakan material yang banyak digunakan, karena murah, mudah dibentuk, sifat machinability yang baik serta dapat dilas. Selama ini, sebagian besar baja didapatkan dari pengolahan bijih besi hematite dan

Herry Darmadi dkk / Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro dan Komputer Vol 3. No. 1 (2023) 64 - 73
magnetite karena kandungan besi yang tinggi ($Fe > 70\%$). Oleh karena kurangnya deposit bijih besi hematit di Indonesia, maka laterit dengan kadar Fe yang cukup tinggi merupakan sumber bahan baku alternatif besi dan bajadomestic yang cukup menarik. Mineral laterite yang terdapat di Indonesia mempunyai kandungan sekitar 50% Fe dan beberapa unsur lain seperti Ni, Cr, Al, Si dan Co. Salah satu aplikasinya adalah penggunaan baja karbon tersebut sebagai penghubung aliran panas yang terjadi pada proses pembakaran.

2. Persiapan Larutan NaCl

Pada aplikasinya sebagai atap jembatan, material baja laterit diindikasikan terkorosi karena dipengaruhi berbagai faktor lingkungan. NaCl merupakan salah satu factor penting yang dapat mempengaruhi ketahanan korosi baja. Pengaruh konsentrasi *NaCl* dan kecepatan terhadap *weight loss* akibat kerusakan korosierosi yang terjadi pada masing-masing bahan pengujian tanpa menggunakan partikel penurunan *weight loss* lebih dominan dibandingkan dengan pengujian menggunakan partikel. Hal ini menunjukkan bahwa proses korosi lebih mendominasi penyebab penurunan *weight loss* benda uji. Ukuran partikel yang lebih besar akan membawa pengaruh kerusakan yang lebih besar. Peristiwa ini menyebabkan *efisiensi* benturan yang besar akan menghasilkan energi kinetik yang besar.

3. Laju Korosi Dengan Larutan NaCl

Hasil pengamatan didapatkan bahwa semakin lama waktu perendaman dengan penambahan NaCl yang semakin banyak membuat endapan yang terbentuk pada permukaan baja semakin sedikit. Dengan semakin lama waktu perendaman memungkinkan baja untuk lebih banyak terkorosi sehingga menghasilkan produk korosi (endapan karat) lebih banyak di permukaan sampel. Namun, dengan penambahan NaCl membuat endapan karat tersebut semakin mudah rontok. Adanya produk korosi di permukaan sampel dapat mengurangi proses korosi di permukaan baja karena lapisan karat tersebut berfungsi sebagai penahan difusi yang dapat menurunkan laju reduksi oksigen terlarut. Akan tetapi, dengan semakin meningkatnya garam yang terlarut (NaCl), kemungkinan terbentuknya scale yang stabil menjadi turun. Dan dengan demikian maka didapatkan hasil padaproses pengujian bahan untuk mengetahui korosi pada bahan baja karbon tersebut. Perhitungan Besar Berkurangnya Ketebalan Pipa Oleh Korosi

Tabel 2 Data Awal Pengamatan

Bahan	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Diameter Bahan (mm)	Tinggi Bahan (mm)	Waktu (Hari)	Density	Ketebalan Pipa (mm)
Baja Karbon	22,26	22,23	16	14	7	7,8	6,3
	25,34	25,31	18	15	7	7,8	6,3
	23,14	23,12	18	13	7	7,8	6,3

Menghitung Berapa Besar Berkurangnya Ketebalan Pipa Yang Diakibatkan Oleh Korosi Dengan Menguji Bahan Pipa Baja Karbon (Fe)

- a. Menghitung luas permukaan tabung bahan uji pertama

$$L = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (r+t)$$

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= 2 \times 3,14 \times 8 \times (8 + 14) \\ &= 50,24 \times (22) \\ &= 1105,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- b. Menghitung Kehilangan berat (Weight Loss)

$$W = W_0 - W_1$$

Menghitung kehilangan berat (weight loss) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W &= 22,26 - 22,23 \\ &= 0,03 \text{ g} \\ &= 30 \text{ mg} \end{aligned}$$

- c. Menghitung laju korosi perhari sebagai berikut :

Mdd perhari

$$Mdd \text{ hari} = \frac{\text{weight loss}}{\text{luas} \times \text{waktu}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{30 \text{ mg}}{1105,28 \times (10^{-4} \text{ dm}^2) \times 7 \text{ day}} \\
 &= \frac{30 \text{ mg}}{0,773696 \text{ dm}^2 \cdot \text{day}} \\
 &= 38,7749 \frac{\text{mg}}{\text{dm}^2} \cdot \text{day}
 \end{aligned}$$

Menghitung laju korosi pertahun sebagai berikut :
Mdd pertahun :

$$\begin{aligned}
 &= Mdd \times \frac{0,0365}{d} \\
 Mdd \text{ tahun} &= 38,7749 \times \frac{0,0365}{7,8} \\
 &= 0,1814 \text{ mm/yr}
 \end{aligned}$$

- d. Menghitung besarnya kekurangan ketebalan pipa akibat korosi korosi mm/yr x 30 year
 $= 0,1814 \text{ mm/yr} \times 30 \text{ year}$
 $= 5,442 \text{ mm}$

2. Menghitung luas permukaan tabung bahan uji kedua:

- a. Menghitung luas permukaan tabung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 L &= 2 \cdot \pi \cdot (r + t) \\
 L &= 2 \times 3,14 \times 9 \times (9 + 15) \\
 &= 56,52 \times (24) \\
 &= 1356,48 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- b. Menghitung Kehilangan berat (Weigthloss) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W &= W_0 - W_1 \\
 W &= 22,26 - 22,23 \\
 &= 0,03 \text{ g} \\
 &= 30 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

- c. Menghitung laju korosi perhari sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Mdd \text{ hari} &= \frac{\text{weight loss}}{\text{luas} \times \text{waktu}} \\
 &= \frac{30 \text{ mg}}{1356,48 (10^{-4} \text{ dm}^2) \times 7 \text{ day}} \\
 &= \frac{30}{0,949536 \times 7} \\
 &= 3,5943 \frac{\text{mg}}{\text{dm}^2} \cdot \text{day}
 \end{aligned}$$

- d. Menghitung laju korosi pertahun sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Mdd \text{ hari} &= \frac{0,0365}{d} \\
 Mdd \text{ tahun} &= 31,5941 \times \frac{0,0365}{7,8} \\
 &= 0,1478 \text{ mm/yr}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung besarnya kekurangan ketebalan pipa akibat korosi Korosi mm/yr x 30 year
 $= 0,1478 \text{ mm/year} \times 30 \text{ year}$
 $= 4,434 \text{ mm}$

4. Menghitung luas permukaan tabung bahan uji ketiga

- a. Menghitung luas permukaan tabung sebagai berikut :: $L = 2 \cdot \pi \cdot (r + t)$

$$\begin{aligned}
 L &= 2 \times 3,14 \times 9 \times (9 + 22) \\
 &= 56,52 \times (22) \\
 &= 1.243,44 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- b. Menghitung Kehilangan berat (Weigth loss) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W &= W_0 - W_1 \\
 W &= 23,14 - 23,12
 \end{aligned}$$

$$= 0,02 \text{ g}$$

$$= 20 \text{ mg}$$

c. Menghitung laju korosi perhari sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Mdd \text{ hari} &= \frac{\text{weight loss}}{\text{luas} \times \text{waktu}} \\ &= \frac{20 \text{ mg}}{1243,44 \times (10^{-4} \text{ dm}^2)} \times 7 \text{ day} \\ &= \frac{20 \text{ mg}}{0,870408 \text{ dm}^2 \cdot \text{day}} \times 7 \text{ day} \\ &= 22,9777 \text{ mg/dm}^2 \cdot \text{day} \end{aligned}$$

d. Menghitung laju korosi pertahun sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Mdd \times \frac{0,0365}{d} \\ Mdd \text{ tahun} &= 22,9777 \times \frac{0,0365}{7,8} \\ Mdd \text{ tahun} &= 0,1075 \text{ mm/yr} \end{aligned}$$

e. Menghitung besarnya kekurangan ketebalan pipa akibat korosi

$$\begin{aligned} \text{Korosi mm/yr} \times 30 \text{ year} &= 0,1075 \text{ mm/year} \times 30 \text{ year} \\ &= 3,225 \text{ mm} \end{aligned}$$

5. Menghitung rata – rata laju korosi pertahun

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata korosi pertahun} &= \frac{mdd1 + mm2 + mdd3}{3} \\ &= \frac{0,1814 + 0,1478 + 0,1075}{3} \\ &= \frac{0,4367}{3} \\ &= 0,1465 \text{ mm/yr} \end{aligned}$$

Tabel 3 Tabulasi Data

BAHAN	LARUTAN	Berat Awal	Berat Akhir	DIAMETER Bahan (mm)	TINGGI Bahan (mm)	Luas	WAKTU (Hari)	Weight Loss (mg)	Kecepatan Korosi		DENSITI	KETEBALAN Awal Pipa (mm)	KETEBALAN Akhir Pipa (mm)	Rata - rata Laju korosi pertahun (mm/yr)
		(gr)	(gr)						Mdd (mg/ dm ² .day)	Tahun (mm/ yr)				
		22,26	22,23	16	14	1105,28	7	30	38,7749	0,1814	7,8	6,3	5,442	
Baja Karbon	NaCl	25,34	25,31	18	15	1356,48	7	30	31,5943	0,1478	7,8	6,3	4,434	0,1465
		23,14	23,12	18	13	1243,44	7	20	22,9777	0,1075	7,8	6,3	3,225	

6. Kesimpulan dan Saran

Pengujian ketebalan oleh korosi yang sudah dilakukan sampai tiga kali tahapan berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh yaitu dengan korosi 0,1814 mm/yr maka ketebalan pipa menjadi 5,442 ; dengan korosi 0,1478 mm/yr maka ketebalan pipa menjadi 4,434 ; dengan korosi 0,1075 mm/yr maka ketebalan pipa menjadi 3,225. Oleh karena itu, semakin tinggi kecepatan korosi maka ketebalan pipa akan semakin berkurang.

Diharapkan untuk melakukan perawatan *predictive* pada pipa *boiler* secara optimum untuk meminimalisasikan *downtime* yang terjadi dan mengurangi laju korosi yang dapat mempercepat kerusakan pada pipa *boiler*.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada instansi Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan yang telah memberikan fasilitas untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Kurniawan, W. Trisnadi Putra, and R. Arifin, "Investigasi mekanisme korosi pada pipa pemanas udara di Pabrik Gula Pagotan Madiun," *TURBO*, vol. 1, no. 1, pp. 23–26, 2021.
- [2] A. Wagiman and G. Gundara, "STUDY KEGAGALAN AKIBAT KOROSI PADA PIPA ECONOMIZER," *TURBO*, vol. 6, no. 2, pp. 209–217, 2017.
- [3] A. Asof, U. Nelwan, J. D3, T. Mesin, and S. Tinggi Teknik -Pln, "Analisis Korosi Pada Inside Water Wall Tube PLTU Tarahan Unit 3 Lampung," *Jurnal Power Plant*, pp. 27–33, 2017.
- [4] M. N. Setia Nusa,) Peneliti Bidang, P. Material, B. Besar, T. Kekuatan, and S.-B. Teknologi, "Penipisan Pipa Ketel Akibat Elemen Korosif Air-M.N. Setia Nusa dan Hernadi PENIPISAN PIPA KETEL AKIBAT ELEMEN KOROSIF AIR BOILER PIPE THINNING DUE TO CORROSIVE ELEMENT OF WATER," 2016.
- [5] Nendi Suhendi Syafei, "ANALISA LAJU KOROSI PADA PIPA BAJA KARBON API 5L-X65 DENGAN METODA PEMBEBANAN TIGA TITIK PADA LINGKUNGAN GAS H₂S KONDISI JENUH CO₂ DALAM LARUTAN ASAM ASETAT," *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*, 2017.
- [6] M. Zulfri *et al.*, "PEMETAAN LAJU KOROSI ATMOSFERIK BAJA KONSTRUKSI DI INDUSTRI PABRIK KELAPA SAWIT; (Studi Kasus di PT Ensem Sawita)," *Universitas Samudra, Meurandeh-Langsa*, vol. 5, no. 1, pp. 15–21, 2017, [Online]. Available: www.teknik.unsam.ac.id
- [7] A. Rohman, A. Rijanto, and D. Nizar Zulfika, "ANALISIS LAJU KOROSI PIPA BAJA KARBON ST 30 DAN STAINLESS STEEL 304 TERHADAP LIMBAH ANAEROBIC BIOETHANOL," 2020.