

ANALISIS PENGARUH SUGAR CONTENT DALAM INJEKSI OUT TERHADAP LAJU KOROSI PADA PERPIPAAN SISTEM COOLING TOWER DI INDUSTRI GULA INDONESIA

Amalia Hadiatul Faidah¹, Anang Takwanto¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
amaliahadiatul@gmail.com; [anang.takwanto@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Korosi pada perpipaan sistem cooling tower merupakan salah satu permasalahan umum di lingkungan industri karena dapat menyebabkan penurunan ketebalan pipa, kebocoran, dan gangguan pada keberlangsungan proses produksi. Salah satu faktor yang diduga mempercepat laju korosi adalah kontaminasi gula (*sugar content*) dalam air pendingin, khususnya di industri gula Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi gula terhadap laju korosi pada logam besi menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss*). Eksperimen ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan larutan gula sebagai media simulasi untuk mempresentasikan kondisi aliran injeksi out pada *cooling tower* yang berpotensi terkontaminasi residu gula dari proses produksi. Variasi konsentrasi larutan gula yang digunakan adalah 1000 ppm, 5000 ppm, dan 10000 ppm, dengan waktu perendaman selama empat hari (96 jam) pada kondisi terkontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar gula berbanding lurus dengan peningkatan laju korosi terhadap waktu. Nilai laju korosi tertinggi diperoleh pada konsentrasi 10.000 ppm sebesar 34,4435 miles per year, disertai penurunan pH dan peningkatan konduktivitas akibat degradasi gula menjadi asam organik. Temuan ini mengindikasikan bahwa keberadaan gula dalam air pendingin dapat berpotensi mempercepat laju korosi, sehingga diperlukan pengendalian kualitas air yang efektif untuk menjaga kinerja sistem perpipaan cooling tower.

Kata kunci: *Cooling tower, injeksi out, laju korosi, perpipaan, sugar content*

ABSTRACT

Corrosion in cooling tower system piping is a common problem in industrial environments because it can lead to a reduction in pipe thickness, leakage, and disruptions to the continuity of production processes. One factor suspected of accelerating the corrosion rate is sugar contamination (sugar content) in cooling water, particularly in the Indonesian sugar industry. This study aims to analyze the effect of varying sugar concentrations on the corrosion rate of iron using the weight loss method. The experiment was conducted on a laboratory scale using a sugar solution as a simulation medium to represent the injection outflow conditions of a cooling tower, which is potentially contaminated with sugar residues from the production process. The concentrations of the sugar solutions used were 1000 ppm, 5000 ppm, and 10000 ppm, with an immersion duration of four days (96 hours) under controlled conditions. The results show that an increase in sugar concentration is directly proportional to an increase in corrosion rate over time. The highest corrosion rate was obtained at a concentration of 10,000 ppm, reaching 34.4435 mpy, accompanied by a decrease in pH and an increase in conductivity due to the degradation of sugar into organic acids. These findings indicate that the presence of sugar in cooling water can accelerate the corrosion process, highlighting the need for effective water quality control to maintain the performance and reliability of cooling tower piping systems.

Keywords: *Cooling tower, out injection, corrosion rate, pipeline, Sugar content,*

Corresponding author: Anang Takwanto

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: anang.takwanto@polinema.ac.id



1. PENDAHULUAN

Perpipaan merupakan rangkaian alat yang berfungsi untuk mengalirkan fluida antar peralatan dari satu lokasi ke lokasi ke lokasi lainnya sehingga proses produksi dapat berlangsung [1]. Dalam penerapannya, sistem perpipaan sering digunakan bersama dengan unit-unit lainnya, seperti *cooling tower*. Sistem *cooling tower* berperan penting untuk menurunkan suhu air hasil proses industri melalui pelepasan panas ke atmosfer, sebelum air tersebut disirkulasikan kembali melalui jaringan perpipaan [2]. Sistem ini banyak diterapkan di berbagai sektor industri, termasuk industri gula. Namun, salah satu tantangan utama yang sering dihadapi dalam pengoperasian sistem *cooling tower* ini adalah bocornya saluran pipa akibat adanya korosi [3].

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam yang terjadi akibat reaksi elektrokimia antara logam dengan berbagai zat yang ada di lingkungan sekitarnya [4]. Dampak dari korosi dapat berupa penurunan performa peralatan, peningkatan biaya perawatan, hingga kerusakan total pada sistem [3]. Secara umum, korosi disebabkan oleh berbagai faktor seperti atmosfer, kondisi asam, air laut, larutan anorganik (asam maupun basa), dan kelembapan [5]. Faktor-faktor penyebab korosi dapat berasal dari lingkungan, seperti atmosfer, kelembapan, kondisi asam, maupun air laut, serta dari karakteristik material itu sendiri, seperti kemurnian bahan, struktur bahan, unsur-unsur penyusunnya, dan lain-lain [6].

Di lingkungan salah satu industri gula Indonesia pada penelitian ini, salah satu faktor pemicu korosi yang menjadi perhatian adalah keberadaan kontaminan dalam air pendingin, terutama kandungan gula. Khususnya kandungan gula. Kontaminan tersebut dapat berasal dari residu proses produksi maupun kontaminasi eksternal. Larutan gula dapat masuk ke sistem air pendingin melalui kebocoran pada heat exchanger atau perpipaan yang menghubungkan fluida proses dengan air pendingin, serta melalui aliran air pencucian peralatan yang tidak terpisah sempurna dari sistem *cooling tower*. Meskipun gula bukan senyawa yang secara langsung bersifat korosif, dalam kondisi operasi tertentu gula dapat mengalami degradasi secara termal maupun mikrobiologis menjadi asam organik, seperti asam asetat dan asam format. Pembentukan asam-asam tersebut menyebabkan penurunan pH air pendingin, sehingga meningkatkan agresivitas lingkungan terhadap logam dan mempercepat reaksi elektrokimia korosi pada permukaan besi. Selain itu, keberadaan gula dalam air pendingin dapat berperan sebagai sumber nutrisi bagi mikroorganisme, yang memicu pembentukan biofilm pada permukaan logam. Biofilm ini menciptakan kondisi lingkungan mikro yang tidak homogen, meningkatkan perbedaan potensial elektrokimia lokal, serta memperparah terjadinya *microbially influenced corrosion* (MIC) pada sistem perpipaan [7].

Fenomena penurunan ketebalan pipa yang diduga dipengaruhi oleh keberadaan sugar content pada aliran injeksi out telah teridentifikasi secara langsung pada sistem perpipaan *cooling tower* di salah satu industri gula di Indonesia yang menjadi objek penelitian ini [8]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kontaminasi gula dalam air pendingin bukan hanya bersifat teoritis, tetapi merupakan permasalahan nyata yang terjadi pada sistem pendingin industri gula. Kondisi ini mengindikasikan adanya potensi percepatan laju korosi pada perpipaan, terutama dalam pengoperasian jangka panjang. Namun demikian, kajian ilmiah yang secara khusus membahas pengaruh sugar content terhadap laju korosi pada sistem perpipaan *cooling tower* industri gula di Indonesia masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan

penelitian lebih lanjut untuk menganalisis peran kandungan gula terhadap laju korosi secara eksperimental sebagai dasar evaluasi dan pengendalian sistem pendingin industri.

Penelitian terdahulu umumnya mengkaji laju korosi pada berbagai sistem perpipaan dengan karakteristik lingkungan yang berbeda. Wulandari, dkk [4] misalnya, menganalisis laju korosi pada pipa gas menggunakan metode ketebalan aktual dan menemukan bahwa laju korosi tertinggi sebesar 0,0413 *miles per year* terjadi pada jembatan pipa Nginden akibat paparan CO₂. Sementara itu, Yashwansigh, dkk. [9] menggunakan pendekatan gabungan antara uji elektrokimia dan pengamatan lapangan untuk mengevaluasi korosi pada sistem industri. Meskipun demikian, pendekatan tersebut belum secara spesifik merepresentasikan kondisi kontaminasi gula dalam sistem pendingin industri gula, sehingga hasilnya belum sepenuhnya menggambarkan mekanisme korosi akibat sugar content.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji secara eksperimental pengaruh variasi kadar gula terhadap laju korosi logam besi sebagai material utama sistem perpipaan cooling tower. Metode yang digunakan adalah metode kehilangan berat (*weight loss method*), karena mampu memberikan gambaran kuantitatif mengenai tingkat degradasi logam akibat paparan lingkungan korosif. Larutan gula digunakan sebagai media simulasi untuk merepresentasikan kondisi air injeksi out pada sistem pendingin industri gula yang berpotensi terkontaminasi residu gula dari proses produksi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengendalian kualitas air pendingin serta sebagai acuan dalam upaya pencegahan kerusakan material akibat korosi pada sistem perpipaan industri gula di Indonesia.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss method*). Alat utama yang digunakan meliputi beaker untuk pembuatan larutan, timbangan analitik untuk pengukuran massa spesimen secara presisi, oven untuk proses pengeringan hingga berat konstan, spektrofotometer UV-Vis untuk analisis kadar gula, serta alat ukur pH untuk memantau tingkat keasaman larutan selama pengujian. Sementara itu, bahan yang digunakan terdiri atas larutan gula dengan variasi konsentrasi 1000 ppm, 5000 ppm, dan 10000 ppm dan larutan injeksi out dari cooling tower yang digunakan sebagai media pengkorosif, serta spesimen logam besi sebagai material uji korosi.

2.1 Pembuatan Spesimen

Spesimen logam besi dipotong dengan ukuran 5 x 3 cm. Permukaan spesimen kemudian dibersihkan menggunakan kertas abrasif untuk menghilangkan kotoran dan lapisan oksida serta memperoleh permukaan yang relatif homogen. Setelah proses penghalusan, spesimen dicuci menggunakan aseton atau etanol untuk menghilangkan sisa minyak dan partikel halus, kemudian dikeringkan di dalam oven hingga mencapai berat konstan. Spesimen yang telah kering selanjutnya ditimbang sebagai berat awal (W_0) [10].

2.2 Pembuatan Larutan Pengkorosif

Media pengkorosif yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas larutan gula buatan dan sampel air injeksi out dari sistem *cooling tower* industri gula. Larutan gula buatan disiapkan dengan variasi konsentrasi 1000 ppm, 5000 ppm, dan 10000 ppm. Masing-masing larutan dibuat dengan menimbang gula sebanyak 0,1 g; 0,5 g; dan 1 g, kemudian

dilarutkan ke dalam 100 mL air menggunakan gelas beker dan dihomogenkan hingga gula terlarut sempurna sebagai media simulasi untuk merepresentasikan variasi *sugar content* dalam air pendingin. Selain itu, air injeksi out diambil dari outlet *cooling tower* dan digunakan secara langsung sebagai media pengujian untuk merepresentasikan kondisi aktual sistem pendingin di lapangan. Seluruh media pengkorosif selanjutnya digunakan dalam pengujian laju korosi dengan prosedur perendaman dan pengukuran yang sama.

2.3 Pengujian dan Pengukuran Laju Korosi

Spesimen logam yang telah ditimbang sebagai berat awal (W_0) kemudian direndam ke dalam masing-masing larutan gula sesuai variasi konsentrasi. Proses perendaman dilakukan selama empat hari (96 jam) pada kondisi terkontrol. Selama pengujian, spesimen dikeluarkan setiap 24 jam untuk dilakukan penimbangan, kemudian dikembalikan ke dalam larutan dengan konsentrasi yang sama.

Setelah proses perendaman selesai, spesimen dikeluarkan dari larutan pengkorosif, dibersihkan dari sisa-sisa larutan dan produk korosi, dikeringkan, kemudian ditimbang sebagai berat akhir (W_f). Selisih berat sebelum dan sesudah perendaman digunakan untuk menghitung kehilangan massa akibat korosi.

Perhitungan laju korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss*), dengan terlebih dahulu menentukan penurunan berat spesimen (ΔW) menggunakan Persamaan (1):

$$\Delta W = W_0 - W_f \quad (1)$$

Keterangan:

- ΔW = penurunan berat spesimen
- W_0 = berat awal spesimen
- W_f = berat akhir spesimen

Selanjutnya, laju korosi dihitung dengan persamaan (2).

$$\text{Laju Korosi (CR)} = \frac{3,45 \times 10^6 \times W}{D \times A \times T} \quad (2)$$

Keterangan:

- CR = laju korosi atau Corrosion Rate (mpy)
- W = berat korosi (g)
- K = faktor konstanta
- D = spesimen densitas (g/cm^3)
- As = luas permukaan (cm^2)
- T = waktu (jam)

Hasil perhitungan laju korosi selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi gula terhadap tingkat korosi pada material perpipaan sistem *cooling tower*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian laju korosi pada perpipaan sistem *cooling tower* dengan menggunakan metode kehilangan berat (*loss in weight*) diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 1. Pengaruh waktu terhadap nilai laju korosi pada larutan gula 1000 ppm

Waktu (hari)	pH	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	ΔW (g)	CR (mpy)
1	6,65	28,8133	28,811	0,0023	2,7992
2	6,32	28,811	28,8048	0,0073	8,8847
4	4,80	28,8048	28,7682	0,0366	22,2726
Total W				0,0451	13,7226

Tabel 2. Pengaruh waktu terhadap nilai laju korosi pada larutan gula 5000 ppm

Waktu (hari)	pH	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	ΔW (g)	CR (mpy)
1	6,33	28,0166	28,0136	0,003	3,6512
2	6,15	28,0136	28,005	0,0086	10,4669
4	4,74	28,005	27,9563	0,0391	23,7940
Total W				0,0603	18,3475

Tabel 3. Pengaruh waktu terhadap nilai laju korosi pada larutan gula 10.000 ppm

Waktu (hari)	pH	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	ΔW (g)	CR (mpy)
1	6,25	28,6575	28,6522	0,0053	6,4505
2	6,35	28,6522	28,6291	0,0231	16,4306
4	4,60	28,6291	28,5821	0,0470	34,4435
Total W				0,0754	22,9420

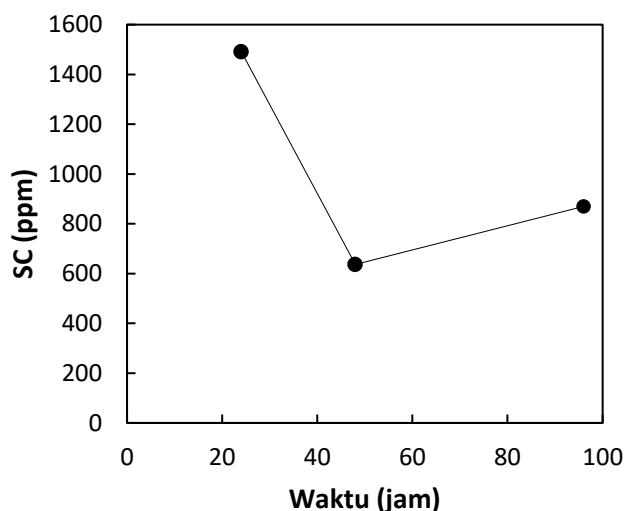
3.1. Sugar Content pada Aliran Injeksi Out

Analisis kandungan gula (*sugar content*) pada aliran injeksi *out* sistem perpipaan *cooling tower* dilakukan untuk mengevaluasi kemungkinan terjadinya kontaminasi gula dalam air pendingin serta potensi kontribusinya terhadap proses korosi pada sistem perpipaan. Pengujian ini merepresentasikan kondisi aktual sistem pendingin di industri gula yang menjadi objek penelitian. Perubahan kadar gula terhadap waktu ditunjukkan pada **Gambar 1**.

Berdasarkan **Gambar 1**, *sugar content* dalam aliran injeksi *out* menunjukkan pola fluktuatif dengan nilai awal yang relatif tinggi, kemudian mengalami penurunan signifikan pada pengamatan berikutnya, dan sedikit meningkat pada akhir pengujian. Nilai awal yang tinggi mengindikasikan masih adanya residu gula yang terbawa dari proses produksi, yang diduga berasal dari kebocoran heat exchanger, aliran balik fluida proses, atau sisa air pencucian peralatan yang tidak sepenuhnya terpisah dari sistem *cooling tower*.

Penurunan kadar gula seiring waktu dapat dikaitkan dengan proses pengenceran (*dilution*) akibat sirkulasi air pendingin, degradasi termal, serta aktivitas mikrobiologis yang terjadi di dalam sistem *cooling tower*. Meskipun sebagian besar nilai *sugar content* berada pada konsentrasi relatif rendah (di bawah 1000 ppm), keberadaan gula dalam jumlah kecil tetap berpotensi memengaruhi kondisi kimia air pendingin. Gula yang terdegradasi dapat membentuk asam-asam organik yang menurunkan pH dan meningkatkan agresivitas

lingkungan terhadap material logam, terutama pada bagian pipa yang mengalami turbulensi aliran dan temperatur operasi yang tinggi.



Gambar 1. dalam aliran injeksi out

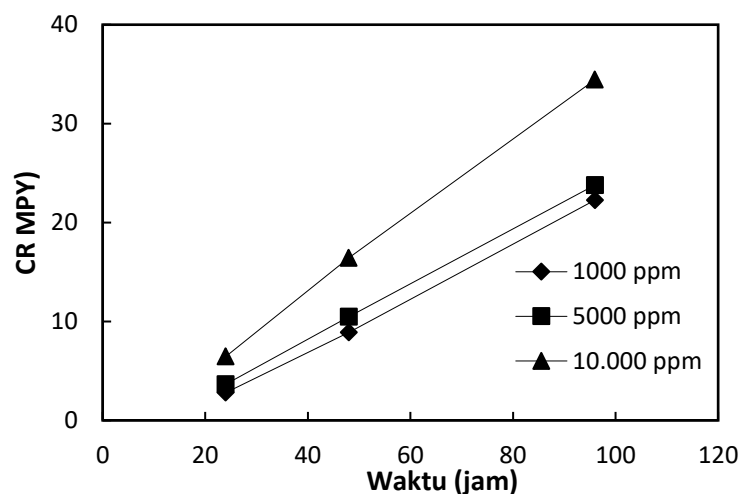
Hasil analisis ini menunjukkan bahwa kontaminasi gula pada aliran injeksi out merupakan fenomena nyata di industri gula dan menjadi dasar pemilihan variasi konsentrasi larutan gula pada pengujian laboratorium sebagai pendekatan simulasi untuk mengkaji pengaruh sugar content terhadap laju korosi secara lebih terkontrol.

3.2. Pengaruh Variasi Konsentrasi Gula Terhadap Laju Korosi

Untuk memahami pengaruh *sugar content* terhadap laju korosi secara spesifik, dilakukan pengujian laboratorium menggunakan larutan gula dengan variasi konsentrasi sebagai media simulasi. Larutan gula digunakan untuk merepresentasikan kondisi air injeksi out yang terkontaminasi gula, dengan keunggulan berupa pengendalian variabel lingkungan sehingga pengaruh konsentrasi gula terhadap korosi dapat diamati secara lebih sistematis.

Secara kimia, gula bukan merupakan agen korosif langsung. Namun, pada kondisi tertentu seperti keberadaan oksigen terlarut, suhu relatif tinggi, serta aktivitas mikroorganisme, gula dapat terdegradasi menjadi asam-asam organik yang menurunkan pH dan meningkatkan konduktivitas larutan [11]. Kondisi ini mempercepat reaksi elektrokimia pada permukaan logam dan meningkatkan laju korosi. Hasil pengujian pengaruh variasi konsentrasi gula terhadap laju korosi logam besi ditunjukkan pada Gambar 2. Grafik tersebut menunjukkan bahwa laju korosi meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi gula dan waktu perendaman. Konsentrasi gula tertinggi, yaitu 10.000 ppm, menghasilkan laju korosi maksimum sebesar 34,4435 mpy pada hari keempat pengujian. Peningkatan laju korosi ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah ion terlarut yang memperbesar konduktivitas larutan serta penurunan pH akibat pembentukan asam hasil degradasi gula dan keberadaan impurities dalam larutan [12][13]. Selain itu, ketidaksempurnaan permukaan logam seperti goresan atau cacat mikro dapat

mempercepat proses korosi dengan merusak lapisan pasif pelindung dan membentuk area anodik lokal, sehingga reaksi oksidasi berlangsung lebih intensif.



Gambar 2. Perbandingan laju korosi injeksi out terhadap waktu

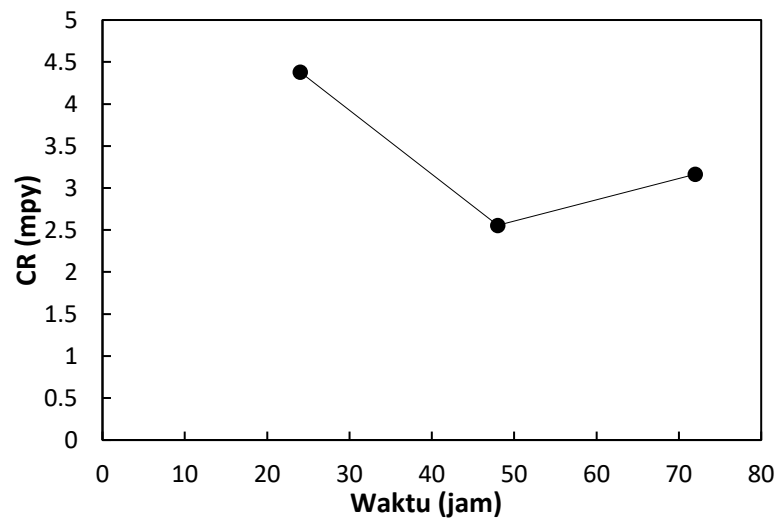
Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan *sugar content* memiliki korelasi langsung terhadap peningkatan laju korosi, sehingga larutan gula dapat digunakan sebagai pendekatan representatif untuk mengevaluasi pengaruh kontaminasi gula pada sistem pendingin industri gula Indonesia yang diteliti.

3.3. Laju Korosi pada Injeksi Out terhadap Waktu dan Hubungannya dengan Sugar Content

Pengujian laju korosi menggunakan media air injeksi out dilakukan untuk mengevaluasi kondisi aktual sistem pendingin di industri gula dan membandingkannya dengan hasil simulasi laboratorium menggunakan larutan gula. Hasil pengujian laju korosi terhadap waktu ditunjukkan pada **Gambar 3**.

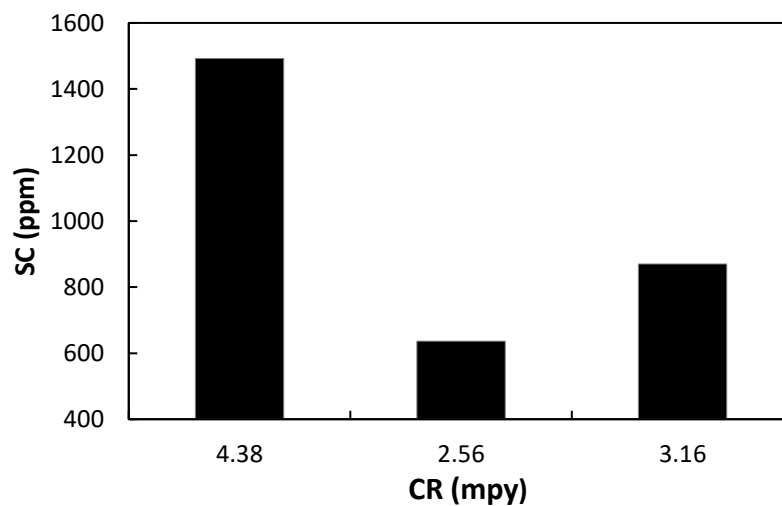
Hasil pengujian laju korosi terhadap waktu pada **Gambar 3** menunjukkan bahwa nilai tertinggi terjadi pada hari pertama sebesar 4,3815 mpy, kemudian mengalami penurunan pada hari berikutnya. Laju korosi yang tinggi pada tahap awal perendaman menunjukkan bahwa permukaan logam masih terpapar langsung oleh media air pendingin yang mengandung senyawa aktif terlarut. Seiring bertambahnya waktu perendaman, terbentuk lapisan pasif hasil oksidasi besi pada permukaan logam yang berfungsi sebagai pelindung dan menghambat kontak langsung antara logam dengan lingkungan korosif, sehingga laju korosi menurun.

Air injeksi *out* yang digunakan dalam pengujian ini diambil dari outlet *cooling tower* industri gula Indonesia dan merepresentasikan kondisi nyata sistem pendingin di lapangan. Keberadaan senyawa organik terlarut, termasuk residu gula hasil proses produksi, berkontribusi terhadap peningkatan agresivitas lingkungan terhadap logam, terutama pada tahap awal kontak sebelum lapisan pelindung terbentuk secara stabil.



Gambar 3. Laju korosi terhadap waktu

Hubungan antara *sugar content* dan laju korosi ditunjukkan pada **Gambar 4**, yang memperlihatkan kecenderungan hubungan linier antara kadar gula dan kenaikan laju korosi. Semakin tinggi konsentrasi gula, laju korosi yang terjadi juga semakin besar. Peningkatan ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah ion terlarut dan penurunan pH larutan akibat degradasi gula menjadi asam-asam organik serta pengaruh impuritis yang terdapat dalam media. Kondisi tersebut meningkatkan konduktivitas dan mempercepat reaksi elektrokimia pada permukaan logam [14,15].



Gambar 4. Pengaruh *sugar content* terhadap laju korosi

Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya [8] yang menyatakan bahwa senyawa organik terlarut dalam air pendingin dapat meningkatkan laju korosi melalui mekanisme penurunan pH dan pembentukan kompleks ionik pada permukaan logam. Dengan demikian, meskipun kadar gula dalam air injeksi out relatif rendah, keberadaannya tetap berpotensi meningkatkan aktivitas korosif pada sistem perpipaan *cooling tower*, terutama dalam pengoperasian jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa keberadaan sugar content dalam sistem air pendingin berpotensi mempercepat laju korosi pada material perpipaan cooling tower. Analisis terhadap air injeksi out yang diambil dari sistem cooling tower industri gula menunjukkan bahwa meskipun kandungan gula relatif rendah, senyawa organik terlarut tersebut tetap berkontribusi terhadap peningkatan agresivitas lingkungan korosif, terutama pada tahap awal kontak dengan logam. Pengujian laboratorium menggunakan larutan gula dengan variasi konsentrasi 1000, 5000, dan 10.000 ppm sebagai media simulasi aliran injeksi out memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi gula berbanding lurus dengan kenaikan laju korosi terhadap waktu. Laju korosi tertinggi diperoleh pada konsentrasi 10.000 ppm sebesar 34,4435 mpy, yang disertai dengan penurunan pH dan peningkatan konduktivitas akibat degradasi gula menjadi asam-asam organik. Hasil ini menegaskan bahwa larutan gula dapat digunakan sebagai pendekatan representatif untuk menganalisis pengaruh sugar content terhadap korosi, serta menunjukkan bahwa pengendalian kandungan gula dan kualitas air pendingin menjadi aspek penting dalam upaya pencegahan kerusakan perpipaan dan menjaga keandalan sistem cooling tower pada salah satu industri gula Indonesia.

REFERENSI

- [1] J. P. U. Margono Sugeng, Fajar Maulana Ismail, "Loss Dan Polarisasi Pada Pipa Dengan Pengujian Korosi Standar Astm G59 Dan Astm G31," vol. 2, no. 1, pp. 48–56, 2022.
- [2] S. Wahyu, A. Mustain, and M. A. Rizky, "Analisa Perhitungan Efisiensi Cooling Tower 32 T 821 Pada Utilitas Li Produksi Li B Pt Petrokimia Gresik," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 9, no. 1, pp. 114–119, 2023
- [3] Komalasari and Zultiniar, "Inhibitor Polifosfat Untuk Mengendalikan Korosi Pada Pipa Sistem Pendistribusian Air," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 13, no. 1, pp. 10–15, 2014.
- [4] P. Wulandari and B. Widiono, "Penentuan Laju Korosi Dan Remaining Life Pada Pipa Jembatan Gas Jrebeng 1, Jrebeng 2, Nginden Dan Kali Surabaya Dari Pt Perusahaan Gas Negara Tbk," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 74–81, 2023.
- [5] F. C. R. dan D. Feriyanto, "Jurnal Teknik Mesin : Vol . 12 , No . 3 , Oktober 2023 ISSN 2549-2888," vol. 12, no. 3, 2023.
- [6] D. R. Wulan, N. I. Azkiya, K. Widjajanti, N. Bella, and Y. Maryanty, "Asam Askorbat , Natrium Nitrit dan Natrium Fosfat sebagai Inhibitor Laju Korosi pada Alumunium dan Seng dalam Media Biosolar," vol. 6, no. September 2021, pp. 36–43, 2022.
- [7] S. Durmoo, C. Richard, G. Beranger, and Y. Moutia, "Biocorrosion of stainless steel grade 304L (SS304L) in sugar cane juice," *Electrochim. Acta*, vol. 54, no. 1, pp. 74–79, 2008,
- [8] Yunaidi, "Perbandingan Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah dan Stainless Steel Seri 201 , 304 , dan 430 Dalam Media Nira," *J. Mek. dan Sist. Termal*, vol. 1, no. April, pp. 1–6, 2016.
- [9] B. Y. R. Surnam, H. Bundhoo, and G. Ramchurn, "Corrosion in a sugar mill," *E3S Web Conf.*, vol. 559, 2024.
- [10] J. Sa'diyah and P. H. Suharti, "Pemanfaatan Psidium Guajava Dan Annona Muricata Sebagai Green Corrosion Inhibitor Terhadap Penurunan Laju Korosi Pada Pipa Baja Karbon," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 4, pp. 883–889, 2023.

- [11] H. Ivandri, I. P. Mulyatno, and Kiryanto, "Pengaruh Natrium Clorida, Asam Sulfat dan Air Laut terhadap Laju Korosi Baja SS 400 sebagai Bahan Material Kapal dengan Metode Weight Loss," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, p. 785, 2022.
- [12] R. dan M. Ornelasari, "Analisa Laju Korosi Pada Stainless Steel 304 Menggunakan Metode Astm G31-72 Pada Media Air Nira Aren," *Jtm*, vol. 01, pp. 112–117, 2015.
- [13] L. O. N. Farha Az Zahra, Bariyah Aliyah, "Ekstrak Kafein Ampas Kopi Sebagai Inhibitor Korosi Baja Murni Dalam," *J. Semin. Nas. sains dan Teknol.*, pp. 1–9, 2019.
- [14] S. Pudjiwati, H. Pranoto, and G. A. Arwati, "Ulasan: Metode Pengujian Laju Korosi Pada Material Baja Karbon," *Technol. Mech. Eng. Semin.*, vol. 1, pp. 29–40, 2024.
- [15] K. A. Roni, "Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Pepaya (Carica Papaya L .) Terhadap Pengaruh Laju Korosi Pada Baja," vol. 7, pp. 28–35, 2022.