

## **Pengaruh Inhibitor Korosi Molibdat dan Kromat Terhadap Laju Korosi Baja Struktur (Baja Karbon ASTM A36) dengan Media Air Proses di Pabrik Pengolahan Pertambangan Tembaga**

MOHAMMAD RAMADHANI<sup>1</sup>, PRIYO TRI ISWANTO<sup>2</sup>, VIKTOR MALAU<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Corrosion is one of the root cause of the failure on the infrastructure and equipment at the mining industry. Building and structure at the copper mining processing facility also experienced the same problem. Corrosion cause huge capital and operational loss. One of the study mentioned that the corrosion remediation cost reached up to USD 170 billion per year. With that huge loss, corrosion prevention becoming important. Meanwhile, processing facility uses the process water for the mineral extraction process, which are mixture of the mine water and sea water. The sea water contains 3.5% Na Cl and the mine water contains Cu and Mn soluble in water. Steel structure and other equipment that is made of steel is vulnerable to corrosion when exposed to the process water without proper corrosion control. One of the solution for the corrosion prevention is the usage of the corrosion inhibitor to the process water. This research is observing the effect of the molybdate and chromate as corrosion inhibitor with concentration of 0.3% to the ASTM A36 steel structure's corrosion rate inside the process water environment. The research object is the steel plate that use for the structure. The research methods that are used to know the condition of the object are the chemical composition test, hardness test, microstructure test and the corrosion rate test. The result showed that the corrosion rate of the structural steel at the process water environment can be controlled with the addition of the corrosion inhibitor of molybdate or chromate.

**Keywords:** corrosion, inhibitor, molybdate, chromate, structural steel

### PENDAHULUAN

Pertambangan adalah salah satu industri yang berperan penting dalam pengembangan ekonomi negara. Dalam kehidupan sehari-hari kita tidak jauh dari pemakaian hasil barang tambang. Salah satunya adalah tembaga, yang merupakan konduktor listrik yang baik, yang merupakan salah satu hasil akhir dari pertambangan logam tembaga (Soelistijo, 2011).

Proses penambangan dan ekstraksi bijih mineral tembaga memerlukan teknologi yang tepat. Apabila metode penambangan dan ekstraksi bijih mineral kurang tepat, maka tidak dapat

menghasilkan nilai ekonomis. Salah satu tantangan dalam pengolahan bijih mineral adalah pengadaan air untuk ekstraksi mineral logam. Hal ini dikarenakan pengolahan bijih mineral membutuhkan air dalam jumlah yang besar. Salah satu cara mengatasinya adalah memanfaatkan air tambang dan air laut yang dicampur, atau disebut sebagai air proses untuk pengolahan bijih mineral (Jeldres, 2016).

Pada pabrik fasilitas pengolahan hasil galian tambang, sebagian besar peralatan atau pun struktur menggunakan bahan dasar baja karbon rendah (low carbon steel). Baja karbon rendah digunakan karena memiliki keunggulan dapat menahan tegangan tarik dari waktu ke waktu, dan kemampuan material di las yang baik (Kiefner, 2002). Ketika logam terendam di

dalam air, logam cenderung mudah terkorosi karena ketidakstabilan termodinamika (Evans, 1937; Pourbaix, 1987; Uhlig, 1964). Korosi pada logam akan berakibat kehilangan massa, patah getas, retak karena lelah, dan kegagalan. Kegagalan suatu peralatan dalam fasilitas pengolahan dapat berakibat kerugian material, proses, lingkungan, bahkan cedera jika tidak dikelola dengan baik.

Untuk menghambat laju korosi salah satunya dengan digunakan inhibitor korosi. Inhibitor korosi adalah zat yang ditambahkan dalam jumlah kecil ke dalam suatu sistem untuk mengendalikan korosi. Inhibitor yang akan dipakai pada penelitian ini adalah inhibitor inorganik. Inhibitor inorganik jenis anodik yang akan dipergunakan dalam penelitian ini adalah molibdat dan kromat.

Salah satu baja karbon rendah yang banyak digunakan untuk struktur adalah ASTM A36. Pada penelitian ini diteliti obyek baja struktur ASTM A36 berupa plat baja dengan tebal 10 mm yang kemudian dipotong menjadi bentuk koin dengan diameter 14 mm dan tebal 6 mm. Seperti yang terlihat pada Gambar 1.

#### STUDI LITERATUR

Baja adalah logam paduan yang terdiri dari besi dan karbon dengan sedikit adanya unsur lain seperti mangan, silika, krom, molibdenum dan nikel. Paduan-paduan tertentu di dalam baja bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan (Suharto, 1995). Salah satu jenis baja yang sering digunakan pada struktur adalah baja paduan rendah yaitu ASTM A36. Kelebihan baja adalah kuat, keras, tahan terhadap cuaca (Jones, 1996). Walaupun begitu baja adalah salah satu logam yang mudah terkena korosi (Scendo, 2007).

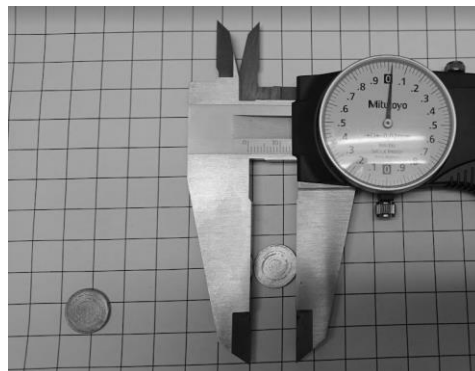
Inhibitor korosi adalah bahan kimia atau zat yang ditambahkan dalam jumlah kecil ke dalam suatu lingkungan yang korosif dengan tujuan untuk mengurangi proses korosi (Frosio, 2007). Inhibitor melindungi logam induk dengan membentuk lapisan yang lebih tahan korosi.

Ada 3 jenis inhibitor korosi yang bereaksi membentuk lapisan tipis (ketebalan 30 hingga 200  $\mu\text{m}$ ) pada permukaan logam sebagai pelindung korosi yang sangat baik. Ketiga jenis tersebut adalah (a) lapisan pasivasi, (b) lapisan presipitasi, dan (c) lapisan adsorpsi. Molibdat, tungsten, kromat, dan nitrat adalah jenis inhibitor korosi yang membentuk lapisan oksida pasivasi. Sedangkan untuk jenis presipitasi adalah reaksi kimia yang membentuk lapisan pelindung yang tidak larut dengan material terlarut di lingkungan sekitar (seperti fosfat dan polifosfat, yang membentuk lapisan pelindung ion kalsium dalam larutan atau dengan ion logam yang dilindungi (sebagai contoh adalah lapisan garam tembaga-benzotriazol/BTA) (Monticelli, 2018).

Penelitian efektivitas, jenis dan konsentrasi inhibitor korosi pernah dilakukan sebelumnya pada material lain, dalam hal ini yang dipergunakan adalah baja karbon API 5L Grade B dengan komparasi inhibitor korosi molibdat ( $\text{MoO}_4$ ) media air formasi minyak bumi (Honawi, 2021). Dalam penelitian didapatkan data bahwa penambahan inhibitor molibdat ( $\text{MoO}_4$ ) dengan konsentrasi 1 % dalam larutan dapat menghambat laju korosi dengan efisiensi sebesar 40% dengan laju korosi yang tanpa penggunaan inhibitor korosi adalah 64.1718 mpy.

#### METODOLOGI

Metode pengujian yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut:



GAMBAR 1. Spesimen Baja A36 dengan diameter 15 mm dan tebal 6 mm

### 1. Pengujian Kekerasan

Tujuan pengujian ini adalah mengetahui tingkat kekerasan masing-masing permukaan material dalam menahan goresan, indentasi atau penetrasi. Alat yang digunakan untuk uji kekerasan metode Vickers adalah merk Buehler Hardness Tester.

### 2. Pengujian Komposisi

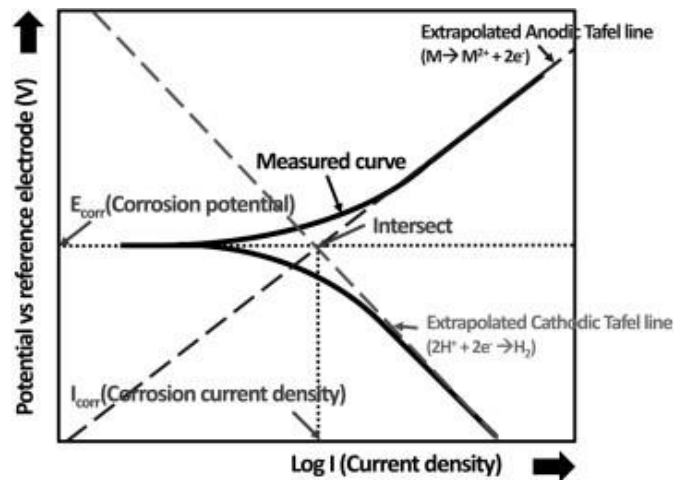
Tujuan pengujian ini adalah mengetahui komposisi dari material yang digunakan sehingga kita bisa mengetahui karakteristik dari material tersebut. Uji komposisi dilakukan dengan mesin spectrometer.

### 3. Pengujian Metalografi/Pengamatan Struktur Mikro

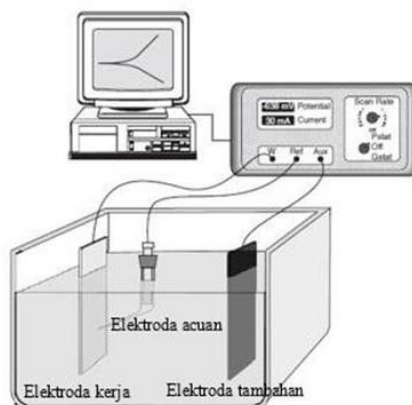
Tujuan pengujian ini adalah mengetahui hubungan antara hasil metalografi dengan sifat atau karakter dari perlakuan yang pernah dialami oleh suatu material. Alat yang digunakan adalah mikroskop optik.

### 4. Pengujian Laju Korosi

Tujuan pengujian adalah mengetahui laju korosi dari penentuan parameter potensial korosi, tahanan korosi, arus korosi melalui kurva polarisasi ( $E$  vs  $\log I$ ). Kurva polarisasi disebut juga dengan kurva polarisasi potensiodinamik / tafel seperti terlihat di Gambar 2.



GAMBAR 2. Kurva polarisasi potensiodinamik/tafel (Zheng & Roy, 2002)



GAMBAR 3. Rangkaian uji potensiodinamik dengan sel 3 elektroda

Uji korosi dilakukan dengan menggunakan sel tiga elektroda yang dihubungkan dengan potensiostat atau Galvanostat Versa STAT4 dan seperangkat komputer sebagai pengolah data seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Untuk mempercepat terjadinya korosi, maka antara elektroda kerja dan elektroda acuan diberi tegangan, Saat terjadi korosi, arus yang dihasilkan dari elektroda kerja kemudian akan dialirkan ke luar larutan oleh elektroda pembantu yang terbuat dari karbon. Arus yang dialirkan ini akan terukur oleh potensiostat dan akan didapatkan hasil data berupa kurva Tafel juga besarnya rapat arus ( $I_{corr}$ ). Penentuan harga rapat arus korosi secara tepat sangat diperlukan, karena rapat arus korosi sebanding dengan laju korosi suatu logam dalam lingkungannya. Persamaan untuk menghitung laju korosi (Jones, 1991) dalam mils (0,001 in) per year (mpy) ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Cr = 0,129 \frac{i}{\rho} Ew \quad (1)$$

dengan  $Cr$  = laju korosi (mpy),  $\rho$  = berat jenis (gr/cm<sup>3</sup>),  $i$  = kerapatan arus korosi ( $\mu A/cm^2$ ) dan  $Ew$  = berat ekuivalen (NEQ-1).

Perhitungan laju korosi sebuah logam paduan membutuhkan berat ekuivalen dari masing masing elemen utama penyusun paduan logam tersebut (Jones, 1996). Total number equivalent NEQ dapat dituangkan kedalam rumus:

$$N_{EQ} = \sum \frac{f_i n_i}{a_i} \quad (2)$$

dengan  $f_i$  = massa fraksi (%),  $n_i$  = elektron valensi,  $a_i$  = berat atom (gram/mol), dan  $NEQ$  = berat equivalent =  $Ew^{-1}$ .

## HASIL DAN DISKUSI

### 1. Hasil Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan pada spesimen dilakukan dengan metode Vickers dengan pengambilan 10 data. Beban yang digunakan sebesar 294 kN. Hasil uji kekerasan pada permukaan spesimen dihitung sesuai dengan standar ASTM E384. Hasil perhitungan terlihat pada Tabel 1.

Rata-rata hasil kekerasan menurut data perhitungan pada Tabel 1. adalah 145.899 VHN. Hasil ini dibandingkan dengan batasan maksimum kekerasan yang dispesifikasikan oleh ASTM A36 yakni 119 – 162 BHN atau 125 – 170 VHN. Dengan nilai kekerasan rata-rata 145.899 VHN, maka uji kekerasan spesimen baja struktur memenuhi standar ASTM A36.

Dari pengujian kekerasan ini, didapat rumus empiris kekuatan tarik (dalam MPa)  $\approx HV/3$  (Zhang, 2011). Maka kekuatan tarik dari spesimen baja struktur ini adalah 459 MPa atau Dari standard bahwa Baja A36 memiliki sifat mekanis sifat Mekanis kekuatan luluh minimum 250 MPa dan kekuatan tarik 410 – 550 MPa, maka spesimen baja struktur tersebut masih masuk dalam kriteria Baja ASTM A36.

Tabel 1. Hasil perhitungan kekerasan ASTM A36

No	$d_1$ $\mu m$	$d_2$ $\mu m$	$d$ $\mu m$	$d^2$ $mm^2$	P1 kgf	VHN Kgf/mm <sup>2</sup>
1	618.12	609.29	613.705	0.377	29.969	147.526
2	623.91	618.27	621.09	0.386	29.969	144.039
3	620.48	612.77	616.625	0.380	29.969	146.132

Tabel 2. Komposisi kimia material pipa baja karbon (wt%)

	Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cu	Fe
Spesimen	%	0.2104	0.2321	0.8310	0.0051	0.0143	0.2064	98.22
ASTM A36	%	0.29	0.15 - 0.4	0.8 - 1.2	0	0.05	0.2	bal.

## 2. Hasil Pengujian Uji Komposisi

Komposisi kimia penyusun material diketahui dari hasil uji komposisi menggunakan alat Spectrometer dengan program FELAST. Komposisi dari material dapat dilihat pada Tabel 2.

Sedangkan apabila dibandingkan dengan standar Baja A36 memiliki komposisi kimia 0,2 % Cu, 0,8-1,2 % Mn, 0,15-0,4 % Si, 0,29% C, 0,008% P, 0,005% S dan %Fe bal.

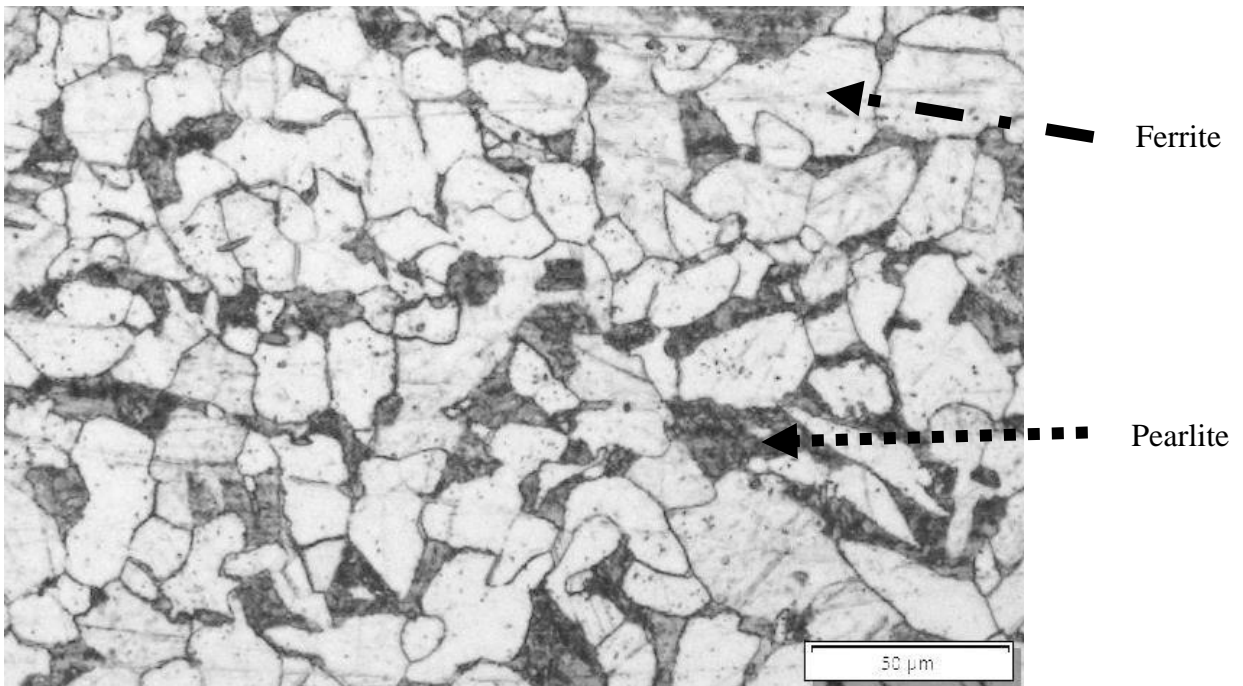
## 3. Hasil Pengujian Metalografi / Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro material untuk penelitian ini dianalisa dengan menggunakan mikroskop optik. Persiapan spesimen sesuai prosedur metalografi dengan pengamplasan, pemolesan dan etsa menggunakan  $\text{HNO}_3$ , disiapkan untuk

pengujian struktur mikro. Hasil pengamatan struktur mikro yang dilakukan pada spesimen baja struktur ASTM A36 ditunjukkan oleh Gambar 4.

Butiran ferrite di tunjukkan oleh butiran yang berwarna lebih terang, sedangkan butiran pearlite berwarna lebih gelap. Sedangkan pearlite adalah struktur laminasi dari lapisan ferit dan sementit. Pearlite menggabungkan dua sifat struktur yakni, kekerasan dan kekuatan sementit dengan keuletan ferit yang merupakan sifat dominan dari paduan baja.

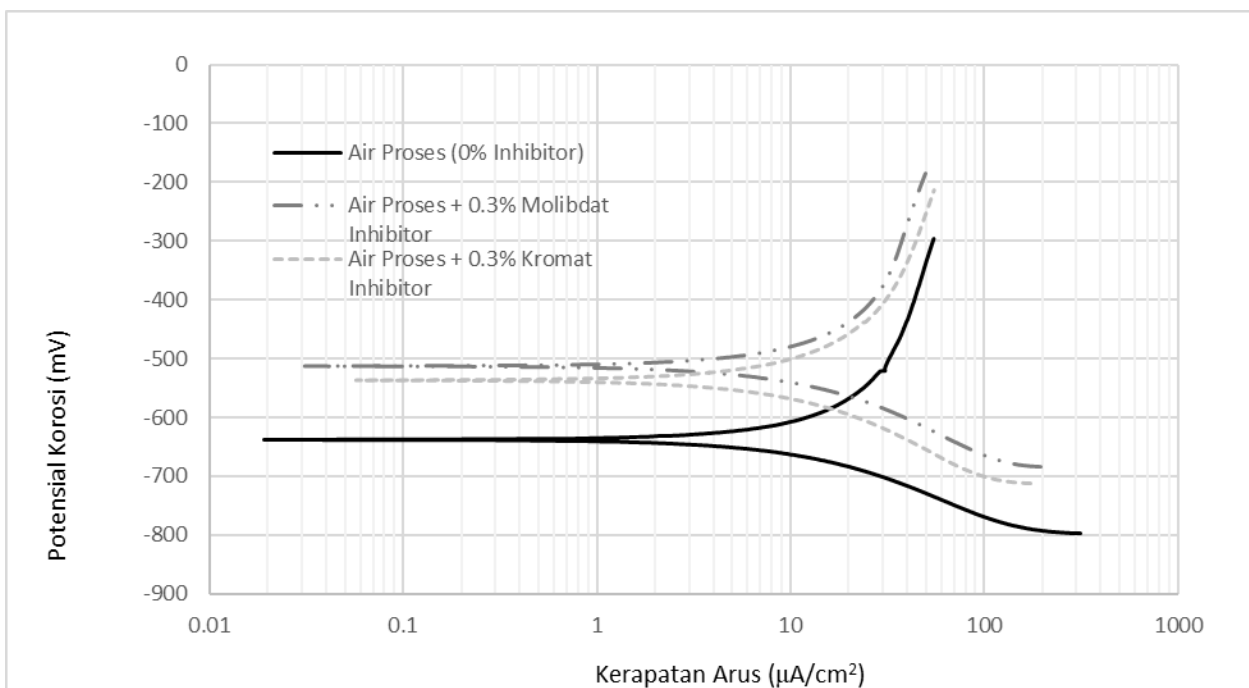
Material ASTM A36 mengandung karbon dengan standar maksimum 0.29%, pada hasil pengujian komposisi menunjukkan kandungan karbon sejumlah 0.2104%. Jumlah karbon yang kecil mengindikasikan volume pearlite yang sedikit pada pengamatan struktur mikro.



GAMBAR 4. Struktur mikro material pipa baja karbon ASTM A36 dengan 200x pembesaran

Tabel 3. Perhitungan berat ekuivalen material

Unsur	Komposisi %	Elektron Valensi	Berat Atom (gr/mol)	NEQ (mol/gr)
Fe	98.22	2	55.85	0.0352
Mn	0.8310	2	54.4	0.0003
C	0.2104	4	12.01	0.0007
Si	0.2321	4	28.09	0.0003
			Σ NEQ	0.0365



GAMBAR 5. Grafik Tafel laju korosi material di lingkungan air formasi dengan konsentrasi inhibitor molibdat dan kromat

#### 4. Hasil Pengujian Laju Korosi

Laju korosi dipengaruhi oleh kerapatan arus ( $I_{corr}$ ), berat ekuivalen atom-atom penyusun material ( $E_w$ ) dan berat jenis material ( $\rho$ ). Perhitungan berat ekuivalen material dapat dilihat pada Tabel 3. Maka perhitungan berat ekuivalen adalah:

$$E_w = \frac{1}{NEQ} = \frac{1}{0,0365} = 27.3901$$

Pengujian laju korosi dengan spesimen baja struktur ASTM A36 di lingkungan air proses tanpa dan dengan penambahan inhibitor

molibdat dan kromat menghasilkan grafik Tafel yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Dengan menggunakan software Versa Studio, hasil uji korosi dianalisa untuk mendapatkan  $E_{corr}$  beserta  $I_{corr}$  fitting. Untuk lebih detailnya, pada Tabel 4. berikut ditampilkan nilai  $I_{corr}$  dan  $E_{corr}$  serta hasil perhitungan laju korosi.

Tabel 4. Laju korosi material dengan inhibitor Molibdat dan Kromat

Media	Icorr	Ecorr	Laju Korosi	
	( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	(mV)	(mpy)	(mm/year)
Air Proses	9.1417	-637.335	4.1411	0.1052
Air Proses + 0.3% Molibdat	1.883	-537.349	0.8530	0.0217
Air Proses + 0.3% Kromat	2.0481	-512.199	0.9278	0.0236

Dari tabel diatas didapatkan bahwa laju korosi material di lingkungan air formasi tanpa inhibitor korosi adalah 4.1411 mpy atau 0.1052 mm/year, sedangkan laju korosi pada pengujian material di lingkungan air formasi dengan penambahan 0.3% molibdat adalah 0.8530 mpy atau 0.0217 mm/year dan penambahan 0.3% kromat adalah 0.9278 mpy atau 0.0236 mm/year. Dengan penambahan inhibitor molibdat 0.3% laju korosi turun sebesar 3.2881 mpy atau 0.0835 mm/year dan penambahan inhibitor kromat 0.3% laju korosi turun sebesar 3.2133 mpy atau 0.0816 mm/year.

### KESIMPULAN

1. Penambahan inhibitor korosi molibdat dan kromat pada lingkungan air proses pabrik pengolahan tambang tembaga dapat membuat spesimen bersifat lebih katodik/tahan terhadap korosi di tandai dengan angka potensial korosi ( $E_{\text{corr}}$ ) yang semakin besar.
2. Baik inhibitor korosi molibdat dan kromat dapat menurunkan laju korosi suatu material pada lingkungan air proses pabrik pengolahan tambang tembaga.
3. Konsentrasi dari inhibitor molibdat 0.3 % memiliki potensial korosi sebesar  $E = -537.349$  dan laju korosi yang terjadi adalah 0.8530 mpy atau 0.0217 mm/year.
4. Konsentrasi dari inhibitor kromat 0.3% memiliki potensial korosi sebesar  $E = -512.199$  mV dan laju korosi yang terjadi adalah 0.9278 mpy atau 0.0236 mm/year.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dapat menuliskan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal ini.

### PENULISAN PUSTAKA DAN DAFTAR PUSTAKA

- Honawi, B., & Iswanto, P. T. (2021). Investigasi Pengaruh Inhibitor Korosi Molibdat Terhadap Laju Korosi Pipa Injeksi Sistem Waterflood (Baja Karbon Api 51 GR B) Dengan Media Air Formasi Sumur Minyak Bumi Jenis Sumatra Light. *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, 1(1).
- Jones, D. A. (1996). *Principle and Prevention of Corrosion* (2 ed.). New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc.
- Monticelli, C. (2018). Corrosion Inhibitors. *Encyclopedia of Interfacial Chemistry* (Elsevier Inc.), pp. 164-169.
- P. Zhang, S.X. Li, Z.F. Zhang, General relationship between strength and hardness, *Materials Science and Engineering: A*, Volume 529, 2011, Pages 62-73, ISSN 0921-5093
- Scendo, M. (2007). Inhibitive Action of The Purine and Adenin For Copper Corrosion In Sulphate Solution. (C. S. 49, Ed.) 2985-3000.
- Sidiq, M. F., Soebyakto, & Shidiq, M. A. (2014). Pengaruh Inhibitor Korosi terhadap Laju Korosi Internal Pipa.
- Suharto. (1995). Teori Bahan dan Pengaturan Teknik. 206-222.
- Sulistiyono. (2015, 12 31). Kegiatan Usaha Industri MIGAS Hubungannya dengan Dampak dan Tanggung Jawab

Kelestarian Lingkungan Hidup. Vol. 05  
No. 2, p. 23.

Zheng, J. P., & Roy, D. (2002). The Role of Glycine in the Chemical Mechanical Planarization of Copper. 149, pp. G352-361.

---

PENULIS:

Mohammad Ramadhani

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Email:

mohammad.ramadhani@mail.ugm.ac.id

Penulis Kedua

Priyo Tri Iswanto

Kelompok Keahlian Rekayasa Material,  
Laboratorium Bahan Teknik, Yogyakarta.

Penulis Ketiga

Viktor Malau

Kelompok Keahlian Rekayasa Material,  
Laboratorium Bahan Teknik, Yogyakarta.