

INVESTIGASI PENGARUH *INHIBITOR* KOROSI MOLIBDAT TERHADAP LAJU KOROSI PIPA INJEKSI SISTEM *WATERFLOOD* (BAJA KARBON API 5L GR B) DENGAN MEDIA AIR FORMASI SUMUR MINYAK BUMI JENIS SUMATRA *LIGHT*

Bobbie Honawi ¹, Priyo Tri Iswanto ²

¹ Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

² Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

(*bobbie.honawi@gmail.com, priyotri@ugm.ac.id)

Abstrak

Penyebab terbesar kebocoran sistem perpipaan di industri minyak dan gas bumi adalah karena korosi, hal ini juga tidak terkecuali pada sistem perpipaan injeksi waterflood. Salah satu langkah untuk mencegah korosi adalah dengan cara menambahkan inhibitor korosi ke dalam pipa. Penelitian ini menginvestigasi pengaruh inhibitor molibdat dengan variasi konsentrasi 0 dan 1% terhadap laju korosi pipa API 5L Grade B di lingkungan air formasi. Hasil penelitian menunjukkan laju korosi material di lingkungan air formasi sumur produksi tanpa adanya inhibitor sama sekali adalah 107,7769 mpy atau 2,7375 mm/year. Dari hasil penelitian didapat bahwa laju korosi material pada lingkungan air formasi dengan konsentrasi molibdat 1% adalah sebesar 64,1718 mpy atau 1,6300 mm/year. Penambahan inhibitor molibdat berhasil menurunkan laju korosi pipa dengan efektifitas penghambatan korosi sekitar 40%. Dari data tersebut maka dapat disimpulkan bahwa penambahan inhibitor membuat baja karbon rendah lebih tahan terhadap korosi.

Kata kunci: laju korosi, inhibitor korosi, molibdat, pipa baja karbon rendah, API 5L Grade B

1. PENDAHULUAN

Sampai saat ini sumber energi dari fosil terutama minyak dan gas bumi masih merupakan sumber energi yang menjadi pilihan utama untuk digunakan manusia pada berbagai kebutuhan sebagai bahan bakar, baik pada sektor industri, transportasi, pembangkit tenaga maupun rumah tangga (Sulistiyono, 2015).

Proses pengangkatan minyak bumi dan gas memerlukan teknologi yang tepat sesuai dengan karakterisasi sumur tersebut, apabila metode pengangkatan secara primary recovery yaitu sumur sembur alam atau menggunakan artificial lift sudah tidak dapat menghasilkan nilai ekonomis maka perlu dilakukan metode lainnya untuk membantu pengangkatan minyak bumi dan gas tersebut sehingga memperbaiki recovery factor. Metode yang digunakan adalah secondary recovery dimana air (biasanya air formasi) dari pompa injeksi dipompakan dengan tekanan tertentu ke zona produktif melewati serangkaian pipa-pipa dengan volume yang hampir setara dengan minyak yang akan diangkat keluar. Metode penginjeksian air ini lebih umumnya disebut waterflood. Pipa yang dipergunakan pada sistem injeksi ini adalah baja karbon rendah dengan kelas API 5L Grade B schedule 40 (diameter luar 4,5 inchi dan tebal 0,237 inchi). Pipa pada sistem ini tidak memiliki proteksi apapun, baik itu berupa internal coating maupun inhibitor korosi seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Baja karbon API 5L Grade B schedule 40

Korosi pada sistem perpipaan injeksi kebanyakan disebabkan oleh korosi internal. Kegagalan pipa injeksi akibat korosi akan menyebabkan kebocoran dan berujung pada kejadian tumpahnya lapisan minyak sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran, selain itu tekanan injeksi yang kuat dari pompa injeksi serta suhu panas air akan membahayakan manusia dan lingkungan sekitar.

Untuk menghambat laju korosi internal salah satunya digunakan suatu inhibitor korosi. Inhibitor korosi adalah zat organik maupun anorganik yang ditambahkan dalam jumlah kecil kepada 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.

2. STUDI LITERATUR

Baja adalah logam yang keras dan merupakan logam paduan yang terdiri dari besi dan karbon dengan sedikit adanya unsur lain seperti mangan, silika, krom, molibdat dan nikel. Paduan-paduan tertentu yang terdapat pada baja bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan (Suharto, 1995). Salah satu jenis baja yang sering digunakan di industri besar terutama industri minyak dan gas alam adalah baja paduan rendah yaitu API 5L Grade B (standar American Petroleum Institute). Kelebihan dari baja yaitu relatif kuat, keras, mengkilap, mudah dibersihkan, selain itu juga tahan terhadap kondisi dingin maupun panas (Jones, 1996). Walaupun baja memiliki beberapa kelebihan, namun kandungan asam-asam mineral dengan kereaktifan yang cukup tinggi dapat menyebabkan terjadinya korosi (Scendo, 2007).

Inhibitor korosi adalah suatu bahan kimia atau zat yang ditambahkan dalam jumlah yang kecil ke dalam suatu lingkungan korosif untuk mengurangi atau menghambat proses korosi (Frosio, 2007). Beberapa penelitian telah dilakukan sebelumnya untuk menganalisa pengaruh penggunaan inhibitor pada pipa baja. Untuk mendapat perlindungan korosi yang optimal, konsentrasi inhibitor harus melebihi nilai kritis tertentu artinya konsentrasi inhibitor harus tepat. Apabila konsentrasi dibawah nilai kritis, maka laju korosi akan meningkat.

(Monticelli, 2018) menjelaskan tentang 3 jenis inhibitor korosi yang bereaksi membentuk lapisan tipis (ketebalan 30 hingga 200 armstrong) pada antarmuka 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 fosfonat dan polifosfat, yang membentuk lapisan pelindung ion kalsium dalam larutan atau dengan ion logam yang dilindungi (sebagai contoh adalah lapisan garam tembaga-benzotriazol/BTA).

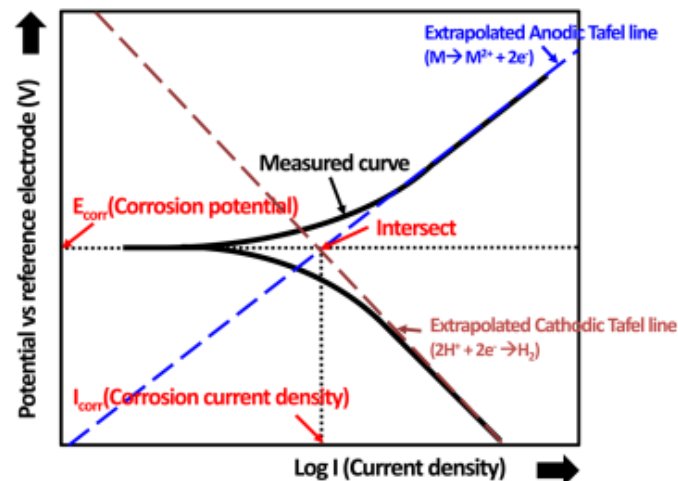
Penelitian efektivitas jenis dan konsentrasi inhibitor korosi pernah dilakukan sebelumnya pada material lain, dalam hal ini dipergunakan aluminium. Penelitian dilakukan untuk mengetahui laju korosi pada material AA 7050 dengan komparasi inhibitor korosi kromat (CrO_4), molybdat (MoO_4) dan nitrat (NO_3) dengan media 3,5 % NaCl (Zuhry & Ilman, 2015). Dalam penelitian didapatkan data bahwa penambahan inhibitor kromat (CrO_4), molybdat (MoO_4) dan nitrat (NO_3) dengan variasi konsentrasi mulai dari 0,1 % hingga 0,7 % dalam larutan 3,5% NaCl dapat menghambat laju korosi. Penurunan laju korosi paling efektif didapat dengan penambahan inhibitor kromat (CrO_4) dengan konsentrasi 0,7 %, adapun laju korosi yang terjadi sebesar 0,0018 mpy dan memiliki efisiensi 95,34 % bila dibandingkan dengan laju korosi tanpa penggunaan inhibitor korosi, dimana laju korosi yang tanpa penggunaan inhibitor korosi adalah 0.035 mpy.

3. METODOLOGI

Prosedur pengujian dilakukan setelah spesimen telah selesai dipersiapkan. Adapun metode-metode pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

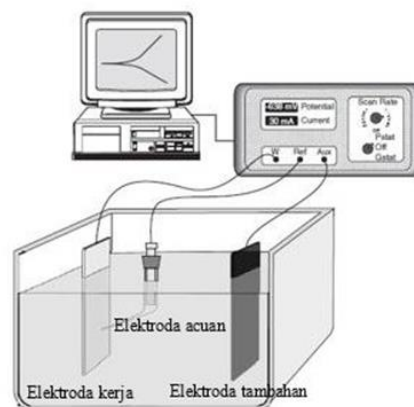
1. Uji Tarik: Uji tarik adalah pengujian yang untuk mengukur kemampuan suatu bahan terhadap penerapan beban statis secara lambat. Tujuan dilakukan uji tarik adalah untuk mengetahui sifat mekanis material.
2. Uji Kekerasan: Tujuan dilakukan uji kekerasan adalah untuk mengetahui tingkat kekerasan masing-masing permukaan material dalam menahan goresan, indentasi atau penetrasi. Alat yang digunakan untuk uji kekerasan metode Vickers adalah merk Buehler Hardness Tester.

3. Uji Komposisi: Uji komposisi dilakukan untuk mengetahui komposisi dari material yang digunakan sehingga kita bisa mengetahui karakteristik dari material tersebut. Uji komposisi dilakukan dengan mesin spectrometer.
4. Uji Metalografi/Pengamatan Struktur Mikro: Tujuan dilakukan analisa struktur mikro untuk mengetahui hubungan antara hasil metalografi dengan sifat atau karakter dari perlakuan yang pernah dialami oleh suatu material. Alat yang digunakan adalah mikroskop optik.
5. Uji Laju Korosi: Pengujian korosi dengan polarisasi pada dasarnya adalah untuk 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 pada Gambar 2.



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

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.



Gambar 3. Rangkaian uji potensiodinamik dengan sel 3 elektroda

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)

ρ = berat jenis (gr/cm³)

i = kerapatan arus korosi (μ A/cm²)

Ew = berat ekuivalen (NEQ⁻¹)

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

$$N_{EQ} = \sum \frac{fi \cdot ni}{ai} \quad (2)$$

dengan:

fi = massa fraksi (%)

ni = elektron valensi

ai = berat atom (gram/mol)

NEQ = berat equivalent = Ew

4. HASIL DAN DISKUSI

4.1. Hasil Uji Tarik

Uji kekuatan tarik material dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis material, pengujian sesuai dengan standard ASTM E8. Spesimen yang telah dibentuk sesuai standar diuji pada mesin uji tarik Servopulser. Beban maksimal yang implementasikan pada spesimen uji tarik sebesar 10-ton atau 50% dari beban maksimal mesin.

Pengujian ini menghasilkan dua tegangan (stress) yakni tegangan luluh (yield stress/ σ_y) dan tegangan tarik maksimum (ultimate tensile stress/ σ_u). Dengan mengetahui nilai tegangan tarik maksimum (ultimate tensile stress) maka dapat diketahui nilai kekuatan tarik (ultimate strength), sedangkan dari nilai tegangan luluh (yield stress) dapat diketahui nilai kekuatan luluh (yield strength). Hasil perhitungan kekuatan tarik ditunjukkan pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Hasil perhitungan kekuatan tarik API 5L Grade B

Spesimen	σ_u (MPa)	σ_y (MPa)	Elongation E (%)	Ratio (σ_y / σ_u)
1	497,64	353,31	15,38%	0,71
Standar	415 (Min)	245 (Min)	19,01% (Min)	0,93 (Max)

Dari Tabel 1. didapatkan kekuatan tarik pipa API 5L Grade B sebesar 497,64 MPa dan kekuatan luluh 353,31 MPa. Elongasi dan rasio pada spesimen uji adalah 15,38% dan 0,71. Baik kekuatan tarik, kekuatan luluh, persentase regangan dan rasio dari spesimen yang diuji memenuhi standar spesifikasi API 5L Grade B. Hal ini juga mengkonfirmasi bahwa material yang digunakan adalah benar pipa baja karbon API 5L Grade B.

4.2. Hasil Uji Kekerasan

Uji kekerasan pada spesimen dilakukan dengan metode Vickers dengan alat Buehler Microhardness Tester. Beban yang digunakan sebesar 300 gf. Hasil uji kekerasan pada permukaan spesimen dihitung sesuai dengan standar ASTM E384. Hasil perhitungan terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan kekerasan API 5L Grade B

No	d1 μ m	d2 μ m	d μ m	d2 mm ²	P1 kgf	VHN Kgf/mm ²
----	---------------	---------------	--------------	-----------------------	-----------	----------------------------

1	64,2	59	61,6	0,003795	0,3	146,59
---	------	----	------	----------	-----	--------

Kekerasan menurut data perhitungan pada Tabel 2. adalah 146.59 VHN. Hasil ini dibandingkan dengan batasan maksimum kekerasan yang dispesifikasikan oleh API yakni maksimal 35HRC atau 327HBW. Mengacu ASTM E384 menunjukkan material dengan kekerasan 35HRC jika diujikan dengan uji kekerasan Vickers menggunakan beban 300 gf adalah senilai dengan 340 HVN. Dengan nilai kekerasan 146,59 VHN, maka uji kekerasan spesimen pipa baja API 5L Grade B memenuhi standar API.

4.3. Hasil Uji Komposisi

Komposisi kimia yang terdapat dalam material diketahui dari hasil uji komposisi. Pengujian ini menggunakan alat Spectrometer dengan program FELAST. Komposisi dari material dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi kimia material pipa baja karbon (wt%)

Unsur	%	Unsur	%
C	0,2559	Ti	0,0032
Si	0,2456	Sn	0,0021
Mn	0,5755	Al	0,0146
P	0,0105	Nb	0,0025
S	0,0041	V	0,0072
Cr	0,0270	Co	0,0039
Ni	0,0193	Pb	0,0042
Mo	0,0044	Ca	0,0018
Cu	0,0651	Zn	0,0074
w	0,0000	Fe	98,74

Sedangkan apabila dibandingkan dengan standar API 5L Grade B, maka akan diperoleh perbandingan komposisi kimia sesuai Tabel 4.

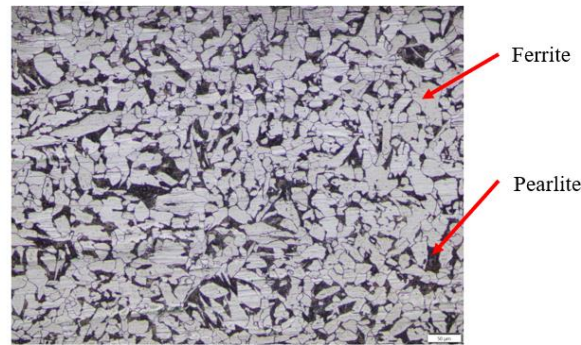
Tabel 4. Perbandingan komposisi kimia material dengan standar API 5L GrB (wt%)

Komposisi	C	Mn	P	S	V	NB	Ti	Si
Hasil Uji	0,2559	0,5755	0,0105	0,0041	0,0072	ND	0,0032	0,2456
Standar API 5L Gr B	0,28 Max	1,2 Max	0,03 Max	0,03 Max	V +Nb+ Ti ≤ 0,15			n/a
*ND = Not Detected								

Hasil perbandingan tersebut juga menunjukkan bahwa komposisi kimia utama pada material baja karbon API 5L Grade B yang digunakan dalam penelitian ini berada dalam batas standar yang diijinkan.

4.4. Hasil Uji Metalografi/Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro material untuk penelitian ini dianalisa dengan menggunakan mikroskop optik. Spesimen standar sesuai prosedur metalografi (pengamplasan, pemolesan dan etsa) disiapkan untuk pengujian struktur mikro. Hasil pengamatan struktur mikro yang dilakukan pada spesimen pipa baja karbon API 5L Grade B ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Struktur mikro material pipa baja karbon API 5L Grade B dengan 200x pembesaran.

Butiran ferrite di tunjukkan oleh butiran yang berwarna lebih terang, sedangkan butiran pearlite berwarna lebih gelap. Sebaran ferit dan perlit merupakan struktur khas paduan baja karbon rendah. Ferrite dikenal sebagai struktur besi murni dengan struktur BCC (Body Centre Cubic) yang bersifat lunak dan ulet. 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 API 5L Gr B mengandung karbon dengan standar maksimum 0.28%, pada hasil pengujian komposisi menunjukkan kandungan karbon sejumlah 0.2559%. Jumlah karbon yang kecil mengindikasikan volum pearlite yang sedikit pada pengamatan struktur mikro.

4.5. Hasil Uji Laju Korosi

Laju korosi dipengaruhi oleh kerapatan arus (I_{corr}), berat ekuivalen atom-atom penyusun material (E_w) dan berat jenis material (ρ). Perhitungan berat ekuivalen material dapat dilihat pada Tabel 5.

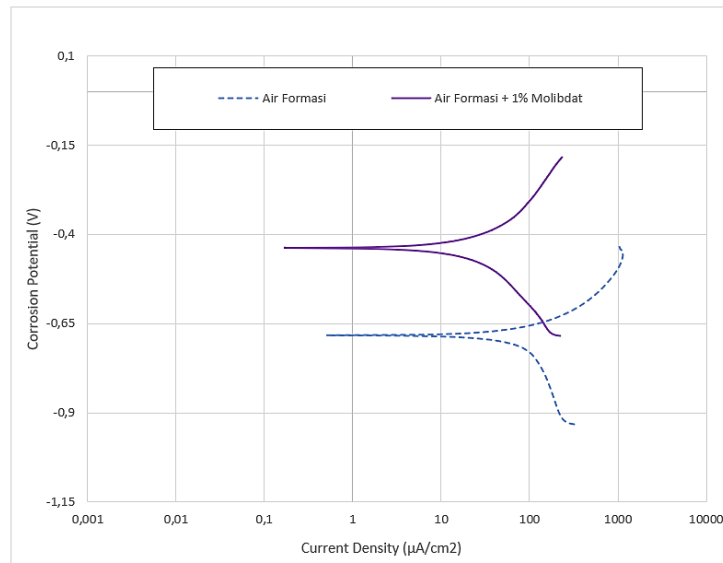
Tabel 5. Perhitungan berat ekuivalen material

Unsur	Komposisi %	Elektron Valensi	Berat Atom (gr/mol)	NEQ (mol/gr)
Fe	98,74	2	55,85	0,03536
Mn	0,5755	2	54,94	0,00021
C	0,2559	4	12,01	0,00085
Si	0,2456	4	28,09	0,00035
			Σ NEQ	0,03677

Dari tabel diatas maka perhitungan berat ekuivalen adalah:

$$E_w = \frac{1}{NEQ} = \frac{1}{0,03677} = 27,196$$

Pengujian laju korosi dengan spesimen pipa baja karbon API 5L Grade B di lingkungan air formasi tanpa dan dengan penambahan inhibitor molibdat menghasilkan grafik Tafel yang ditunjukkan pada Gambar 5.



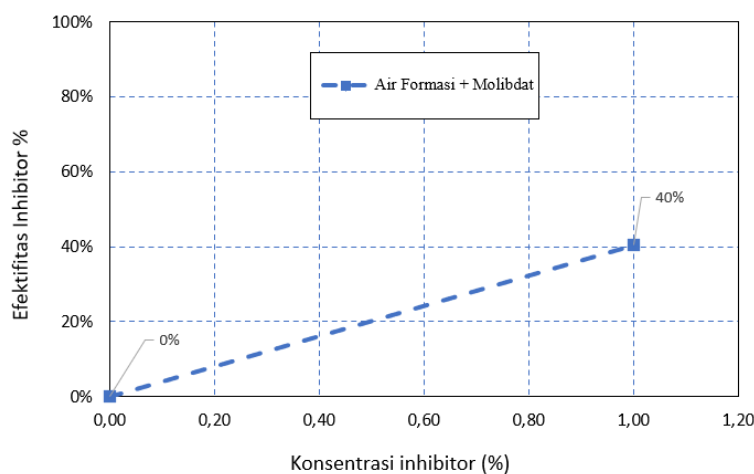
Gambar 5. Grafik Tafel laju korosi material di lingkungan air formasi dengan variasi konsentrasi inhibitor molibdat

Dengan menggunakan software CS Studio5, hasil uji korosi dianalisa untuk mendapatkan E_{corr} beserta I_{corr} fitting. Untuk lebih detailnya, pada Tabel 6. berikut ditampilkan nilai I_{corr} dan E_{corr} serta hasil perhitungan laju korosi.

Tabel 6. Laju korosi material dengan variasi inhibitor molibdat

Media	I_{corr}	E_{corr}	Laju Korosi	
	($\mu A/cm^2$)	(mV)	(mpy)	(mm/year)
Air Formasi	241,16	-682,92	107,7769	2,7375
Air Formasi + 1% Molibdat	143,59	-437,64	64,1718	1,6300

Dari tabel diatas didapatkan bahwa laju korosi material di lingkungan air formasi tanpa inhibitor korosi adalah 107,7769 mpy atau 2,7375 mm/year, sedangkan laju korosi pada pengujian material di lingkungan air formasi dengan penambahan 1% molibdat adalah 64,1718 mpy atau 1,6300 mm/year. Dengan penambahan inhibitor molibdat konsentrasi 1% maka laju korosi turun sebesar 43,6050 mpy atau 1,1076 mm/year. Efektivitas pengaruh penambahan inhibitor korosi dengan konsentrasi 1% adalah 40%. Untuk detail efektifitas pengaruh penambahan inhibitor dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Efektifitas pengaruh penambahan inhibitor molibdat pembahasan

5. KESIMPULAN

1. Penambahan inhibitor korosi molibdat pada lingkungan air formasi hasil pemisahan minyak bumi berjenis Sumatra Light dapat membuat spesimen bersifat lebih katodik/tahan terhadap korosi di tandai dengan angka potensial korosi (E_{corr}) yang semakin besar.
2. Konsentrasi dari inhibitor molibdat 1% memiliki potensial korosi sebesar $E = -449,61$ mV dan laju korosi yang terjadi adalah 64,1718 mpy atau 1,6300 mm/year.
3. Efisiensi inhibitor sebesar 40% didapat pada pengujian laju korosi pada sampel uji di lingkungan air formasi dengan penambahan inhibitor molibdat konsentrasi 1%.

DAFTAR PUSTAKA

- Frosio, 2007, Surface Treatment Inspector in Accordance with NS 476, National Institute of Technology, Norway.
- 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.
- 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.
- Zuhry, M., & Ilman, M. (2015). Studi Komparasi Inhibitor Kromat (CrO_4), Molybdat (MoO_4) dan Nitrat (NO_3) Terhadap Korosi dan Laju Perambatan Retak Fatik – Korosi AA 7050 Dalam Media 3,5% NaCl. 14.