

Pengaruh Penambahan Konsentrasi *Sodium Hypochlorite* Terhadap Laju Korosi Pipa Instalasi *Raw Water* Pada *Fire Water Tank* Di Lapangan Jambaran Tiung Biru PT Pertamina EP Cepu

Mahendra Setya Putra^a, Hendri Suryanto^{b*}, Eva Hertnacahyani Herraprantanti^c

^aProgram Studi S1 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi (STT) Ronggolawe
Jl. Kampus Ronggolawe Blok B No.1, Mentul, Kabupate

Diterima : 17-06-2026

Direview : 24-06-2026

Diterbitkan : 30-06-2026

Intisari

Integritas pipa *carbon steel* pada sistem *Fire Water* merupakan aspek krusial dalam operasional hulu migas, khususnya di Lapangan Jambaran Tiung Biru. Pipa *Injection pot* menuju *fire water tank* seringkali rentan terhadap kerusakan akibat korosi, terutama Korosi Akibat Mikroba (*Microbiologically Induced Corrosion - MIC*), yang dapat mengancam keandalan sistem keselamatan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh penginjeksian *Sodium Hypochlorite* (*NaClO*) sebagai agen biosida dalam mengendalikan laju korosi pada pipa-pipa tersebut. Metodologi penelitian ini melibatkan pengujian skala laboratorium dan lapangan dengan membandingkan laju korosi pada kondisi tanpa dan dengan injeksi *NaClO* pada berbagai konsentrasi. Pengukuran laju korosi dilakukan secara *non-destruktif* dengan memanfaatkan teknik *Ultrasonic Testing* (*UT*). Teknik NDT *UT* digunakan untuk memonitor penurunan ketebalan dinding pipa dari waktu ke waktu, yang kemudian dikonversikan menjadi laju korosi dalam satuan mils per year (*MPY*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa injeksi *NaClO* dengan konsentrasi 6% adalah konsentrasi yang terbaik, dibuktikan dengan kemampuan dalam menekan pertumbuhan mikroorganisme dan menurunkan laju korosi dengan baik. Pengendalian populasi mikroba melalui *NaClO* berhasil memitigasi risiko *MIC*, yang merupakan penyebab dominan kerusakan. Namun, studi ini juga menekankan perlunya keseimbangan konsentrasi, karena dosis *NaClO* yang berlebihan justru berpotensi meningkatkan korosivitas penipisan pada instalasi pipa.

Kata Kunci : Laju Korosi, *Sodium Hypochlorite*, NDT *Ultrasonic Testing*.

Abstract

The integrity of carbon steel pipes in the Fire Water system is a crucial aspect of upstream oil and gas operations, especially in the Jambaran Tiung Biru Field. The Injection pot pipes leading to the fire water tank are often vulnerable to damage due to corrosion, particularly Microbiologically Induced Corrosion (MIC), which can threaten the reliability of this safety system. This research aims to investigate the effect of injecting Sodium Hypochlorite (NaClO) as a biocide agent in controlling the corrosion rate in these pipes. The research methodology involves laboratory and field scale testing by comparing the corrosion rate under conditions without and with NaClO injection at various concentrations. The corrosion rate measurement is carried out non-destructively using the Ultrasonic Testing (UT) technique. The NDT UT technique is used to monitor the reduction in pipe wall thickness over time, which is then converted into the corrosion rate in units of mils per year (MPY). The results of the study showed that NaClO injection with a concentration of 6% was the best concentration, proven by its ability to suppress the growth of microorganisms and reduce the corrosion rate well. Controlling the microbial population through NaClO successfully mitigates the risk of MIC (Microbiologically Influenced Corrosion), which is a dominant cause of damage. However, the study also emphasizes the need for a concentration balance, as an excessive dose of NaClO actually has the potential to increase the corrosivity of thinning in pipe installations.

Keywords : Corrosion Rate, Sodium Hypochlorite, NDT Ultrasonic Testing.

1. Pendahuluan

Lapangan migas Jambaran Tiung Biru (JTB) merupakan aset strategis nasional yang menuntut standar keselamatan dan keandalan operasional yang tinggi. Pipa pada sistem *Fire Water* (pemadam kebakaran), khususnya jalur dari *Injection pot* menuju *fire water tank*, merupakan infrastruktur kritis yang harus berfungsi optimal setiap saat. Kegagalan material pada pipa ini, meskipun kecil, dapat mengakibatkan gangguan fatal pada sistem keselamatan dan operasional lapangan. Masalah utama yang dihadapi adalah korosi, khususnya korosi akibat mikroba (*Microbiologically Induced Corrosion - MIC*), yang sangat agresif dan sulit

dideteksi pada tahap awal (NACE, 2015).

Air yang digunakan dalam sistem seringkali mengandung mikroorganisme pembentuk *biofilm* yang mempercepat laju korosi lokal (*pitting corrosion*), yang merupakan penyebab utama kegagalan pipa mendadak. Oleh karena itu, diperlukan strategi mitigasi korosi yang efektif dan terukur untuk mempertahankan ketebalan dinding pipa di atas batas minimum yang diizinkan.

Untuk mengatasi ancaman korosi, khususnya MIC, diperlukan pengendalian terhadap populasi mikroorganisme perusak. Penginjeksian *Sodium Hypochlorite* (*NaClO*) atau Hipoklorit telah lama diakui sebagai metode yang efektif untuk sterilisasi air dan pengendalian *biofilm* dalam sistem perpipaan industri

(Utomo & Kim, 2021).

NaClO bekerja sebagai agen biosida dan oksidator kuat yang mampu mematikan mikroorganisme perusak dan mencegah pembentukan biofilm yang menjadi pemicu MIC. Namun, penginjeksian *NaClO* harus dilakukan pada konsentrasi yang optimal. Konsentrasi yang terlalu rendah tidak efektif dalam membasmi mikroba, sementara konsentrasi yang terlalu tinggi berisiko meningkatkan potensi korosivitas air (air yang terlalu teroksidasi) terhadap material pipa (Smith, 2018). Dengan demikian, penelitian mengenai pengaruh spesifik konsentrasi *NaClO* terhadap laju korosi pipa di lingkungan JTB menjadi sangat relevan dan mendesak untuk memastikan efektivitas mitigasi tanpa menimbulkan masalah korosi sekunder.

Penelitian yang dilakukan oleh Rahman dkk. (2018) menganalisis dampak dari konsentrasi *NaClO* sebagai *biocide* terhadap tingkat korosi pada baja karbon yang sering dipakai dalam sistem pendingin industri. Dengan menggunakan metode pengujian kehilangan berat dan teknik elektrokimia seperti Polarisasi Tafel untuk menentukan tingkat korosi pada contoh baja karbon yang dicelupkan dalam air pendingin dengan variasi konsentrasi *NaClO* dan durasi kontak. Diketahui bahwa peningkatan konsentrasi *NaClO* jelas meningkatkan tingkat korosi yang akan terjadi pada baja karbon. *NaClO* berfungsi sebagai agen oksidator yang sangat efektif, yang merusak lapisan oksida pasif di permukaan logam, sehingga memicu korosi lokal atau pitting. Dalam hal tersebut dapat disimpulkan bahwa pengendalian dosis *NaClO* yang sesuai itu sangat krusial untuk mengurangi kerusakan akibat korosi jangka panjang pada sistem pipa baja karbon.

Pipa *carbon steel* adalah material yang sangat penting dan tak tergantikan dalam industri migas karena kombinasi antara kekuatan tinggi, daya tahan tekanan ekstrem, dan efektivitas biaya. Namun, kerentanannya terhadap korosi di lingkungan migas yang keras menjadikannya fokus utama penelitian dan pengembangan teknologi mitigasi (pelapisan, inhibitor, perlindungan katodik). Standar internasional seperti API 5L memastikan kualitas dan keandalan material pipa yang digunakan.

Acuan yang diterapkan dalam penelitian ini sesuai dengan analisa yang pernah dilakukan oleh Lee dkk. (2015) yang telah menganalisis mekanisme korosi spesifik yang terjadi pada pipa baja, yang mirip dengan material pipa untuk injeksi atau sistem pemadam kebakaran, saat terkena agen klorinasi seperti yang dihasilkan oleh sodium hipoklorit, yang digunakan untuk proses disinfeksi. Memanfaatkan teknik Spektroskopi Impedansi Elektrokimia (EIS) serta analisis permukaan menggunakan Mikroskop Elektron Pemindai (SEM) untuk menggambarkan morfologi perkembangan pertumbuhan korosi dan menentukan resistensi korosi pada pipa baja setelah diterapkan perlakuan klorinasi. Dalam kajiannya ditemukan bahwa klorin bebas, termasuk senyawa *HOCl* (asam hipoklorit) yang berasal dari sodium hipoklorit, mempercepat reaksi katodik dan pada saat yang sama menghasilkan lapisan korosi yang kurang melindungi, dengan karakteristik yang lebih rapuh dan berpori dibandingkan lapisan oksida yang alami. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa kehadiran

senyawa sodium hipoklorit mengubah sifat lapisan pasivasi dan memicu terjadinya korosi lokal, atau pitting corrosion, yang menjadi isu besar bagi integritas pipa dengan tekanan tinggi.

Menganalisis efektivitas berbagai tipe penghambat korosi dalam melindungi baja karbon dari serangan korosi yang dipercepat oleh keberadaan agen pengoksidasi seperti *NaClO*, yang penting untuk menangani korosi dalam sistem *Fire Water*. Menggunakan pengujian laju korosi elektrokimia (*Potentiodynamic Polarization*) untuk menganalisis laju korosi baja karbon dalam larutan *NaClO* dengan yang akan menjadi faktor faktor penambahan berbagai jenis inhibitor baik organik maupun anorganik. Hasilnya banyak faktor yang menjadi penghambat korosi konvensional ditemukan mengurangi kemampuannya atau bahkan mengalami degradasi saat berinteraksi dengan *NaClO* yang merupakan agen pengoksidasi kuat. Hanya inhibitor yang cukup stabil terhadap oksidasi yang menunjukkan hasil yang memuaskan. Dapat di hasilkan bahwa penggunaan *NaClO* memerlukan penyesuaian atau pemilihan ulang jenis bahan (seperti stainless steel atau fiberglass) atau penerapan inhibitor korosi yang dirancang secara khusus untuk lingkungan oksidatif tinggi agar laju korosi tetap dapat terkendali. Seperti yang pernah dilakukan oleh Zhang dkk. (2014) dalam kajiannya.

Untuk memvalidasi efektivitas penginjeksian *NaClO*, diperlukan metode pengukuran laju korosi yang akurat, handal, dan tidak merusak sistem yang beroperasi (*in-service*). Penelitian ini akan menggunakan teknik *Non-Destructive Testing* (NDT) *Ultrasonic Testing* (UT). Teknik tersebut sangat krusial karena memungkinkan pengukuran ketebalan dinding pipa secara presisi tanpa perlu mematikan atau membongkar system.

Perubahan ketebalan yang diukur dari waktu ke waktu (misalnya, per mm atau mils) akan dikonversi menjadi Laju Korosi dengan satuan *mils per year* (MPY) atau mm/tahun. Penggunaan NDT UT menjamin data laju korosi yang representatif terhadap kondisi operasional aktual di lapangan, memberikan dasar data teknis yang kuat mengenai kinerja *NaClO* dalam mempertahankan integritas mekanik pipa.

Dengan memvariasikan konsentrasi *NaClO* yang dimasukkan ke dalam *raw water*, penelitian ini bertujuan untuk membuktikan adanya pengaruh tingkat konsentrasi *NaClO* terhadap tingkat laju korosi instalasi pipa *raw water* pada *fire water tank*. Pengurangan laju korosi akan secara langsung memperpanjang umur layanan pipa (*service life*), mengurangi frekuensi penggantian material, dan meminimalkan biaya perawatan keseluruhan (*Total Cost of Ownership*). Dalam penelitian ini pengukuran laju korosi pipa instalasi *raw water* dilakukan dengan cara mengukur ketebalan pipa sebelum dan setelah penginjeksian *NaClO* ke dalam *raw water* selama periode tertentu dengan menggunakan teknik NDT UT.

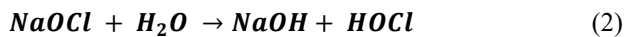
2. Kerangka Teori

Korosi pada pipa carbon steel merupakan proses elektrokimia yang menyebabkan penurunan ketebalan material akibat reaksi antara logam dan lingkungan. Bentuk korosi yang umum terjadi meliputi general corrosion, pitting corrosion, serta *Microbiologically*

Induced Corrosion (MIC) yang disebabkan oleh mikroorganisme seperti *Sulfate Reducing Bacteria* (SRB). Reaksi anodik korosi besi dinyatakan sebagai:



(NaClO) digunakan sebagai biosida untuk mengendalikan mikroorganisme penyebab MIC. Dalam air, NaClO menghasilkan asam hipoklorit (HOCl) yang bersifat oksidator kuat:



Meskipun efektif membunuh bakteri, konsentrasi NaClO yang tinggi dapat merusak lapisan pasif baja karbon dan meningkatkan risiko *pitting corrosion*. Karena itu, konsentrasi NaClO perlu diatur agar tidak mempercepat laju korosi.

Penilaian korosi dilakukan melalui pengukuran penurunan ketebalan pipa menggunakan *Ultrasonic Testing* (UT), metode non-destruktif yang mengukur ketebalan berdasarkan waktu rambat gelombang ultrasonik. Laju Korosi (*Corrosion Rate*) dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Laju Korosi (CR)} = \frac{L_{\text{awal}} - L_{\text{akhir}}}{\Delta T} \quad (3)$$

dimana L_{awal} : tebal pipa sebelum pengujian (mm); L_{akhir} : tebal pipa setelah pengujian (mm); ΔT : waktu pengujian (tahun).

Sedangkan umur sisa pipa ditentukan dari:

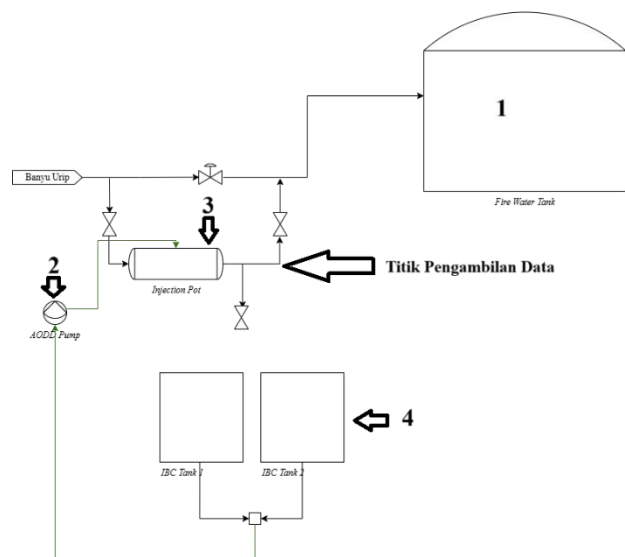
$$\text{Umur Sisa (tahun)} = \frac{L_{\text{akhir}} - L_{\text{min}}}{\text{CR}} \quad (4)$$

dimana L_{min} : 3,13 mm yang dinyatakan dalam dokumen *Acceptable Material Pipe* Jambaran Tiung Biru Field.

3. Metodologi

Penelitian ini dilakukan pada jalur pipa raw water menuju fire water tank di fasilitas gas Lapangan Jambaran Tiung Biru (JTB), Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi *Sodium Hypochlorite* (NaClO) terhadap laju korosi pipa. Variasi konsentrasi yang digunakan meliputi 0%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. Pengukuran ketebalan pipa dilakukan secara berkala menggunakan metode NDT UT pada titik inspeksi yang sama untuk seluruh variasi. Pengukuran dilakukan pada pipa *elbow* pertama keluaran *injection pot*. Data perubahan ketebalan dianalisis untuk menentukan laju korosi dan umur sisa (*remaining life*) dengan mengacu pada ketebalan minimum yang dipersyaratkan. Seluruh hasil pengukuran dibandingkan antar variasi untuk menentukan konsentrasi NaClO yang efektif mengendalikan mikroorganisme tanpa meningkatkan laju korosi secara signifikan.

Secara skematik alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini seperti ditampilkan pada gambar 1 berikut ini, yang mana terdapat empat alat penelitian utama yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Skema Alat Penelitian

Keterangan :

- 1) Fire water tank adalah bejana untuk menampung sementara air pabrik sebelum digunakan kebutuhan *safety* dan produksi pabrik;
- 2) Pompa (AODD Pump) adalah pompa yang berfungsi untuk mentransfer *sodium hypochlorite* dari IBC tank menuju *fire water tank*;
- 3) Injection pot adalah bejana sementara untuk penampungan *sodium hypochlorite* sebelum di injeksikan ke *fire water tank*;
- 4) IBC (Intermediate Bulk) Tank adalah penampungan *sodium hypochlorite* yang akan dipompa menuju *injection pot*.

Alat-alat utama tersebut dalam penelitian ini seperti ditampilkan pada gambar 2 sampai dengan gambar 5 berikut ini.



Gambar 2. Injection Pot

Injection Pot dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Injection Pot

Spesifikasi	Keterangan
Capacity	76 Liters

Pompa AODD mempunyai spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 2. Spesifikasi Pompa AODD

Spesifikasi	Keterangan
<i>Merk</i>	<i>Roto Pumps</i>
<i>Model</i>	<i>Air Operated Double Diaphragm Pump (AODD Pump)</i>
<i>Capacity</i>	60 m ³ /hr or 265 gpm
<i>Pressure</i>	10 bar or 145 psi



Gambar 3. Air Operated Double Diaphragm (AODD) Pump



Gambar 4. Intermediate Bulk Tank

Untuk *Intermediate Bulk Tank* spesifikasinya sebagai berikut.

Tabel 3. Spesifikasi Intermediate Bulk Tank

Spesifikasi	Keterangan
<i>Capacity</i>	1000 Liters

Sedangkan spesifikasi *Fire Water Tank* yang digunakan adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Spesifikasi Fire Water Tank

Spesifikasi	Keterangan
<i>Nomor Tag</i>	490-TK9002
<i>Ukuran (Size)</i>	26120 mm (ID) x 16610 mm (H)

<i>Kapasitas (Capacity)</i>	6685 M ³ (<i>working</i>)/8900 M ³ (<i>nominal</i>)
<i>Desain (Design P/T)</i>	+0.072 psig (max)/ -0.036 psig (min) 170.0 F (max)/ 32.0 F (min)
<i>Operasional (Operating P/T)</i>	0.0 Psig/100.0 F
<i>Material</i>	<i>Carbon Steel</i>
<i>Internal</i>	CS+3.2mm CA + <i>Internal Coting</i> + CP

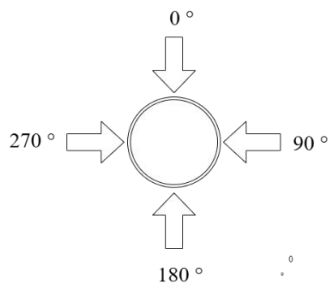


Gambar 5. Fire Water Tank

Pengukuran ketebalan pipa secara NDT dengan menggunakan *Ultrasonic Test* ditentukan pada pipa *elbow* pertama keluaran *injection pot* seperti ditunjukkan pada gambar 6 berikut ini.

Gambar 6. Pipa yang Diukur *Ultrasonic Test*

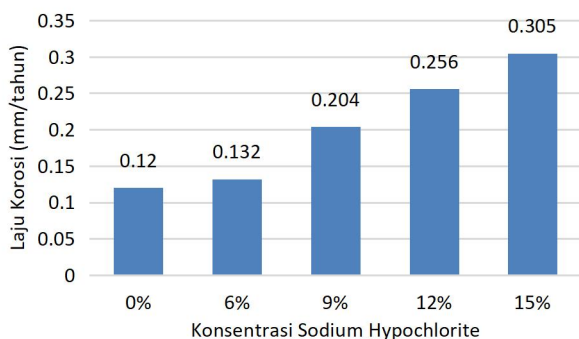
Sedangkan titik pengukuran pada pipa *elbow* tersebut ditentukan pada posisi di sekeliling pipa dimana keliling pipa dibagi menjadi empat dengan sudut yang sama besar, yaitu pada posisi 0°, 90°, 180° dan 270°. Posisi titik pengukuran dengan *Ultrasonic Test* pada keliling pipa tersebut seperti ditampilkan pada gambar 7 berikut ini.



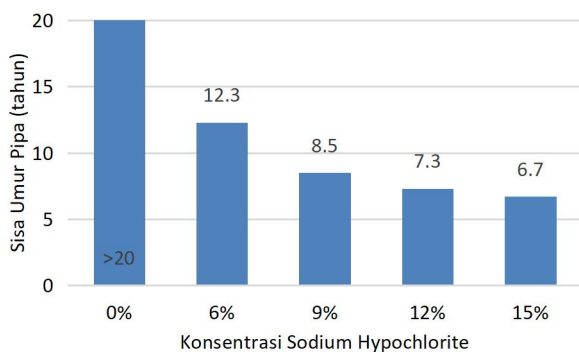
Gambar 7. Posisi Titik-Titik Pengukuran *Ultrasonic Test* pada Pipa

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pengujian variasi konsentrasi *sodium hypochlorite* pada penginjeksian *raw water* yang menuju *fire water tank* didapatkan hasil seperti ditampilkan pada grafik berikut ini.



Gambar 7. Grafik Laju Korosi pada Variasi Konsentrasi *Sodium Hypochlorite*



Gambar 8. Grafik Sisa Umur Pipa pada Variasi Konsentrasi *Sodium Hypochlorite*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi *Sodium Hypochlorite* (NaClO) menyebabkan kenaikan signifikan pada laju korosi pipa *raw water*, seperti ditunjukkan grafik gambar 7. Nilai korosi tertinggi ditemukan pada konsentrasi 15%, sedangkan laju korosi terendah muncul pada kondisi tanpa NaClO . Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun NaClO berfungsi sebagai biosida untuk mengendalikan bakteri penyebab *Microbiologically Induced Corrosion* (MIC), peningkatan konsentrasinya justru memperkuat mekanisme korosi pada baja karbon. Laju korosi yang tinggi pada pipa baja karbon menyebabkan dinding pipa semakin cepat mengalami penipisan sehingga umur pipa

semakin pendek, seperti ditunjukkan pada grafik gambar 8.

Fenomena tersebut konsisten dengan literatur yang dirangkum dalam skripsi, di mana Rahman et al. (2018) melaporkan bahwa paparan NaClO dapat meningkatkan laju korosi akibat sifat oksidatifnya yang merusak permukaan logam. Selain itu, Lee et al. (2015) menjelaskan bahwa klorin bebas dalam NaClO mampu mempercepat reaksi katodik dan melemahkan lapisan pelindung pada baja karbon. Hal ini diperkuat oleh pemaparan Zhang (2014), yang menyatakan bahwa NaClO pada konsentrasi tinggi dapat memicu *pitting corrosion* karena kerusakan lapisan pasif dan peningkatan agresivitas ion klorida.

Berdasarkan perbandingan antar variasi konsentrasi, terlihat bahwa konsentrasi 6–9% masih menunjukkan laju korosi moderat dibandingkan konsentrasi 12–15%. Pada konsentrasi 0% (tidak ada penambahan NaClO) menunjukkan laju korosi pipa paling rendah. Tetapi dengan tidak adanya konsentrasi *sodium hypochlorite* dalam *raw water* kualitas air untuk *Reverse Osmosis* (RO) tidak memenuhi syarat yang ditetapkan perusahaan. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat batas konsentrasi yang baik NaClO di mana efektivitas pengendalian mikroorganisme dapat tetap dicapai tanpa memberikan efek korosif berlebih. Dengan demikian, hasil penelitian ini menguatkan temuan literatur yang menyarankan bahwa penggunaan NaClO harus dikendalikan secara ketat untuk menjaga keseimbangan antara kontrol biologis dan keawetan material. Pemantauan ketebalan pipa menggunakan *Ultrasonic Testing* diperlukan secara berkala guna memastikan bahwa penipisan dinding pipa tetap berada dalam batas aman untuk operasional sistem *fire water*.

5. Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi *Sodium Hypochlorite* (NaClO) berpengaruh langsung terhadap kenaikan laju korosi pada pipa *raw water* menuju *fire water tank*. Konsentrasi 15% menghasilkan laju korosi tertinggi, sedangkan kondisi tanpa NaClO menunjukkan nilai korosi terendah. Hal ini menegaskan bahwa meskipun NaClO efektif sebagai biosida untuk pengendalian mikroorganisme, penggunaannya dalam konsentrasi tinggi justru mempercepat degradasi material pipa. Dengan demikian, diperlukan penentuan konsentrasi NaClO yang optimal agar pengendalian MIC tetap tercapai tanpa meningkatkan risiko percepatan korosi dan penurunan umur layanan pipa.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Lapangan Jambaran Tiung Biru (JTJB) serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

NACE (2015) *Microbiologically Induced Corrosion* (MIC) atau korosi secara umum dari NACE

International (AMPP - Association for Materials Protection and Performance).

- Utomo & Kim (2021) The Effectiveness of Sodium Hypochlorite for Biofilm and MIC Control in Industrial Water Systems (Sodium Hypochlorite (NaClO) untuk sterilisasi air atau pengendalian biofilm/korosi mikroba dalam sistem perpipaan)
- Rahman, A. R. E. A., Abad, M. N. B., & Kamaruddin, S. (2018). Effect of Sodium Hypochlorite on Corrosion Rate of Carbon Steel in Cooling Water System. *Journal of Applied Mechanical Engineering*, 7(1), 1-5.
- Lee, S. W., Kim, J., & Kim, Y. (2015). Investigation of Corrosion Mechanism of Steel Pipe Under Chlorination Conditions in Water Distribution Systems. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 28, 148-154.
- Zhang, X. J., Li, Y., & Wang, L. (2014). Evaluation of Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in the Presence of Sodium Hypochlorite. *Corrosion Science*, 87, 245-251.