

Analisis *Sour Corrosion* pada Baja ASTM A36 Akibat Pengaruh Asam Sulfat dengan Variasi Temperatur dan Waktu Perendaman di Lingkungan Laut

Ray Adam Baihaqi, Herman Pratikno, dan Yoyok Setyo Hadiwidodo
Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: ray.adam15@mhs.oe.its.ac.id, hermanp@oe.its.ac.id, yoyoksetyo@oe.its.ac.id

Abstrak—Pada industri maritim masalah korosi merupakan masalah yang serius yang terjadi pada logam karena bisa mengurangi nilai ekonomis dari logam tersebut. Logam yang paling banyak digunakan pada industri maritim adalah Baja ASTM A36 yang merupakan baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0,25% sampai 0,29%. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui variasi medium perendaman, temperatur dan waktu perendaman terhadap laju korosi Baja ASTM A36. Pada medium perendaman menggunakan dua variasi yaitu medium NaCl 3,5% yang merupakan medium air laut buatan dan medium NaCl 3,5% + H₂SO₄ 0,5 M. Kemudian untuk variasi temperatur adalah 20°, 30°, 40° C. Dan variasi waktu perendaman yang digunakan 24, 72, 120 dan 168 jam. Hasil dari uji *immersion corrosion test* menunjukkan nilai laju korosi tertinggi terjadi pada Baja ASTM A36 yang direndam pada medium NaCl 3,5% + H₂SO₄ 0,5 M dengan temperatur perendaman 40° C yang menunjukkan nilai laju korosi 37,584 mmpy (24 jam), 31,965 mmpy (72 jam), 23,795 mmpy (120 jam), 19,375 mmpy (168 jam), kemudian pada material sampel uji tersebut terjadi korosi seragam dan korosi batas butir. Nilai laju korosi tertinggi pada medium perendaman NaCl 3,5% terjadi pada Baja ASTM A36 yang direndam pada temperatur 40° C yang menunjukkan nilai laju korosi 0,098 mmpy (24 jam), 0,105 mmpy (72 jam), 0,081 mmpy (120 jam), 0,063 mmpy (168 jam), kemudian pada material sampel uji tersebut terjadi korosi seragam dan korosi sumuran. Hasil penelitian ini didapatkan adanya senyawa H₂SO₄ dan temperatur yang tinggi dapat mempercepat laju korosi di lingkungan laut.

Kata Kunci—Korosi, Baja ASTM A36, *Immersion Corrosion Test*, Laju Korosi

I. PENDAHULUAN

Perkembangan Teknologi yang ada pada abad 21 sangat berpengaruh pada sebagian besar industri yang ada di dunia. Teknologi dalam bidang kemaritiman baik itu *onshore* maupun *offshore* sangat sejalan dengan tingginya kebutuhan pemenuhan ketersediaan energi yang diperlukan bagi kelangsungan hidup manusia. Seiring dengan meningkatnya permintaan tersebut maka akan mendorong pada kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam tersebut yang menggunakan fasilitas-fasilitas maritim. Namun fasilitas-fasilitas tersebut seiring dengan waktu dan intensitas penggunaannya pasti akan mengalami penurunan kinerja hingga terjadi kerusakan. Salah satu faktor yang paling besar terjadi adalah timbulnya kerusakan bagian-bagian dari fasilitas tersebut akibat korosi air laut.

Pengertian korosi adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan

lingkungan sekitarnya [1]. Korosi juga dapat diartikan sebagai peristiwa alamiah yang terjadi pada bahan dan merupakan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam [2]. Proses cepat lambatnya suatu material terkorosi erat kaitannya dengan laju korosi sedangkan laju korosi sendiri pada lingkungan netral normalnya adalah sebesar 1 mpy atau kurang. Laju korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: air, kandungan gas dan padatan terlarut, temperatur, seleksi material, PH, bakteri pereduksi atau Sulfat Reducing Bacteria [3].

Di Indonesia permasalahan korosi perlu mendapat perhatian serius mengingat dua pertiga wilayah nusantara terdiri dari lautan dan terletak di daerah tropis dengan curah hujan tinggi dan kandungan senyawa klorida yang tinggi. Kemudian salah satu faktor yang mempengaruhi korosi dalam lingkungan air adalah keberadaan elektrolit [1]. Contohnya adalah asam sulfat dan natrium klorida, kedua senyawa tersebut merupakan elektrolit kuat. Dan jenis logam yang banyak digunakan untuk bahan konstruksi bangunan adalah baja. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara material dengan lingkungannya yang terjadi secara terus-menerus dapat menyebabkan terjadinya penurunan nilai dari material tersebut baik yang berlangsung secara perlahan maupun signifikan. Hal tersebut juga bergantung pada kondisi lingkungan serta material yang digunakan.

Interaksi logam terutama baja A36 yang paling banyak digunakan pada fasilitas – fasilitas pada industri maritim pasti akan sering berkontak langsung dengan air laut yang memiliki kandungan senyawa klorida yang tinggi, namun hal itu ditambah parah lagi dengan masuknya kandungan senyawa lain ke laut seperti senyawa sulfat. Senyawa sulfat ini dapat masuk kandungannya ke dalam laut diakibatkan karena salah satunya adalah dari aktivitas manusia melalui pembuangan limbah pabrik ke laut [4]. Sedikitnya tercatat 150 perusahaan membuang limbah pabrik langsung ke Kali Surabaya yang bermuara ke Selat Madura dan di Situbondo juga sudah lama air lautnya teracuni limbah asam sulfat (H₂SO₄) yang berasal dari pabrik citin yang mengolah kuit dan kepala udang [5].

Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh adanya senyawa asam sulfat (H₂SO₄) ke dalam kandungan air laut yang secara tidak langsung akan mempengaruhi proses korosi pada logam baja yang digunakan pada fasilitas pada lepas pantai. Dalam penelitian ini akan ditambah variabel uji berupa temperatur, waktu perendaman dan konsentrasi kandungan H₂SO₄ yang terlarut

Tabel 1. Kandungan Kimia Baja ASTM A36 [6]

Product	Shapes	Plates				
		To 3/4 [20] Inch	Over 3/4 To 1 1/2 [20 to 40] Inch	Over 1 1/2 To 2 1/2 [40 to 65] Inch	Over 2 1/2 To 4 [65 to 100] Inch	Over 4 [100] Inch
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	0.80- 1.20	0.80- 1.20	0.85- 1.20	0.85- 1.20
Phosphorus, max. %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15- 0.04	0.15- 0.40	0.15- 0.40
Copper, min, % when copper steel is specified	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

dalam medium air laut buatan dengan salinitas 3,5 % untuk menghitung laju korosi pada baja ASTM A36, mengingat implementasi dari penelitian ini adalah pada konstruksi bangunan lepas pantai. Dengan demikian diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai pengaruh adanya senyawa asam sulfat (H₂SO₄) ke dalam kandungan air laut terhadap laju korosi material yang paling banyak digunakan untuk industri maritim.[6]

II. DASAR TEORI DAN METODOLOGI

A. Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan jenis baja karbon rendah (*mild steel*) yang memiliki sifat kekuatan yang baik dan bisa dirubah bentuk serta dilas. Baja ASTM A36 ini biasa digunakan dalam industri perkapalan dan juga sebagai kontruksi anjungan lepas pantai, seperti pembuatan *deck*, kaki *jacket*, dan lain-lain. Kandungan kimia dari baja A36 dapat dilihat pada table dibawah ini :

B. Korosi

Korosi didefinisikan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkunganya [1]. Dalam penelitiannya mengemukakan bahwa korosi adalah proses pengrusakan bahan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan sekelilingnya [7]. Korosi juga merupakan proses elektrokimia, maksudnya adalah proses reaksi kimia yang melibatkan aliran listrik menuju kesetimbangan termodinamika suatu sistem. Perbedaan potensial antara dua kutub yaitu katoda sebagai yang berpotensi lebih tinggi (elektroda positif) dan anoda yang berpotensi rendah (elektroda negatif). Elektron mengalir dari anoda (lebih rendah) ke katoda (lebih tinggi) dan anodanya akan teroksidasi sehingga terjadi proses korosi. Dari beberapa definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa material yang terkorosi akibat kontak langsung dengan lingkungan sekitarnya akan mengalami penurunan mutu dan kualitas.

C. Jenis-jenis Korosi

Jenis-jenis korosi berdasarkan penyebabnya antara lain sebagai berikut :

- Korosi Seragam (*Uniform*)
- Korosi Sumuran (*Pitting*)
- Korosi Galvanik
- Korosi Celah (*crevice*)

- Korosi Batas Butir (*Intergranular*)
- Korosi Erosi
- Korosi Tegangan
- Korosi Biologi
- *Fretting Corrosion*
- Peluluhan Selektif
- *Fatigue Corrosion*

D. Sour Corrosion

Menurut arti kata dari *sour* sendiri adalah asam, yang dimana korosi ini disebabkan oleh kondisi asam. Banyak faktor yang dapat mengakibatkan korosi kondisi asam ini seperti adanya kandungan kimia asam yang ada dilingkungan. Namun dilapangan terlebih lagi di industri maritim korosi jenis ini sering diakibatkan oleh unsur S yaitu sulfur. Di perairan sendiri, sulfur berikatan dengan hidrogen. Beberapa bentuk sulfur diperairan adalah seperti sulfida (S²⁻), hidrogen sulfida (H₂S), besi sulfida (FeS), sulfur dioksida (SO₂), sulfit (SO₃²⁻), dan sulfat (SO₄²⁻). Apabila diperairan tidak terdapat oksigen, maka dalam proses oksidasi dilakukan oleh bakteri anaerob. Pada kondisi ini, ion sulfat direduksi menjadi ion sulfit (SO₃²⁻) yang membentuk kesetimbangan dengan ion hidrogen membentuk hidrogen sulfida (H₂S). Hidrogen sulfida membentuk kesetimbangan dengan ion sulfida (HS⁻) menjadi H₂SO₄ secara berlimpah. Selain itu oksidasi H₂S akan menghasilkan asam kuat yaitu H₂SO₄. [8].

E. Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Untuk mengetahui mutu dan kualitas material terhadap ketahanan korosi maka perlu dilakukan uji laju korosi. Dari hasil pengujian laju korosi maka dapat disimpulkan apakah material masih dalam kondisi bagus atau tidak. Dalam bukunya menjelaskan ketahanan terhadap korosi pada material umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1-200 mpy [9]. Menghitung laju korosi suatu material pada dasarnya ada dua metode yang dapat dipakai, yaitu metode elektrokimia dan metode kehilangan berat (*weigh loss*). Metode kehilangan berat adalah metode perhitungan laju korosi dengan mengukur berat yang hilang akibat terjadi korosi. Metode ini memerlukan rentan waktu penelitian untuk mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat proses korosi. Laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan rumus [10] :

$$\text{Laju korosi} = \frac{K \times W}{D \times A \times T}$$

Dengan keterangan :

W = Kehilangan berat (g)

K = Konstanta (yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini)

D = Kerapatan benda uji / massa jenis baja (g/cm³)

A = Luas permukaan yang terkorosi (cm²)

T = Waktu exposure (jam)

F. Faktor-faktor yang mempengaruhi Laju Korosi

Cepat lambatnya laju korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain faktor temperature, kadar pH, gas terlarut, bakteri pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB), dan faktor padatan terlarut, faktor metalurgi. Berikut akan dijelaskan masing-masing dari faktor yang mempengaruhi laju korosi.

- Kandungan gas dan padatan terlarut, yaitu : Oksigen (O₂), Karbondioksida (CO₂), Sulfat (SO₄), Klorida (Cl⁻), Karbonat (CO₃)
- Temperatur
- Derajat keasaman (pH)
- Bakteri pereduksi
- Faktor metalurgi

G. Prosedur penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Menyiapkan material sampel uji yaitu Baja ASTM A36 yang memiliki ukuran 20x20x10mm [11]. Kemudian material tersebut akan melalui proses *grinding*, *pickling*, *polishing*, *etching*, [12] dan ditimbang berat awal sebelum pengujian setelah itu pemberian label hingga sampel uji siap.
- Menyiapkan larutan media uji, yaitu berupa medium perendaman NaCl 3,5% dan medium perendaman medium perendaman NaCl 3,5% + H₂SO₄ 0,5 M.
- Memasukkan material sampel uji kedalam larutan medium perendaman sesuai yang divariasikan terhadap temperatur 20°, 30°, 40° C.
- Perendaman dilakukan dan kemudian ditimbang selama 24 jam, 72 jam, 120 jam dan 168 jam.
- Kemudian dilakukan pengujian foto makrostruktur dan mikrostruktur.
- Menghitung nilai laju korosi sesuai data hasil penimbangan berat setelah pengujian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Awal

Sebelum memulai penelitian dan pengujian immersion corrosion test kita harus mengetahui data awal percobaan yang berguna sebagai rujukan setelah melakukan penelitian nanti. Dalam data awal ini berisi berbagai informasi mengenai detail dari material sampel uji seperti label, ukuran sampel uji setelah melalui proses preparasi, luas permukaan dan berat awal.

B. Pengujian Foto Makrostruktur

Pengujian makrostruktur menggunakan kamera digital dengan perbesaran 7 x. Hasil dibawah ini merupakan hasil dari pengujian makrostruktur sebelum dan sesudah pengujian immersion corrosion test. Dari foto dibawah ini terlihat bahwa sampel uji sebelum pengujian korosi tidak mengalami korosi karena sudah melalui proses grinding dengan menggunakan gerinda duduk, pickling dengan direndam dalam larutan HCL, polishing dengan menggunakan autosol dan etching dengan menggunakan larutan etsa nital 2% untuk menghilangkan semua kotoran atau sisa bahan coating akibat proses produksi material. Kemudian sesudah pengujian immersion corrosion test sampel uji kembali dilakukan pengujian foto makrostruktur untuk melihat perbedaan struktur yang terjadi pada sampel uji, selain itu juga agar dapat teridentifikasi jenis korosi yang terjadi.



Gambar 1. Pengujian Makrostruktur sebelum pengujian



Gambar 2. Pengujian Makrostruktur sesudah pengujian

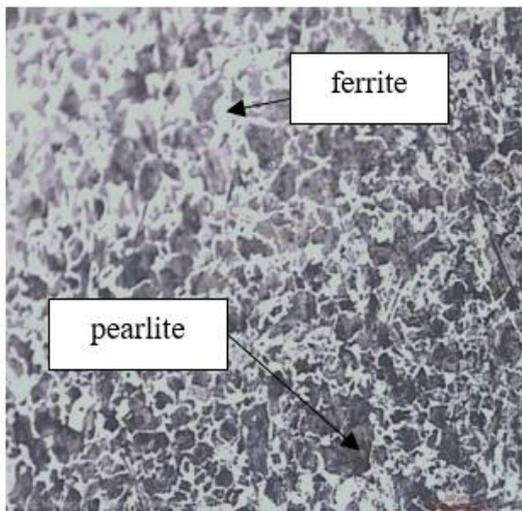
C. Analisa Pengujian Foto Makrostruktur

Dari pengujian foto makrostruktur diatas dapat disimpulkan bahwa dalam pengujian dan pengamatan foto makrostruktur pada semua material sampel uji dengan variasi medium perendaman, serta temperatur terjadi korosi seragam (uniform). Hanya saja karakteristik korosi uniform yang terjadi berbeda tergantung dari variasi yang diujikan. Kemudian dampak dari korosi uniform ini adalah dapat mempengaruhi visual dari material karena jenis korosi ini hanya menyerang pada permukaan logam. Namun untuk mengetahui lebih lanjut apakah benar hanya terjadi korosi uniform pada material logam ini harus dilakukan pengujian dan pengamatan foto mikrostruktur agar dapat terlihat lebih jelas dan lebih dalam jenis korosi yang terjadi.

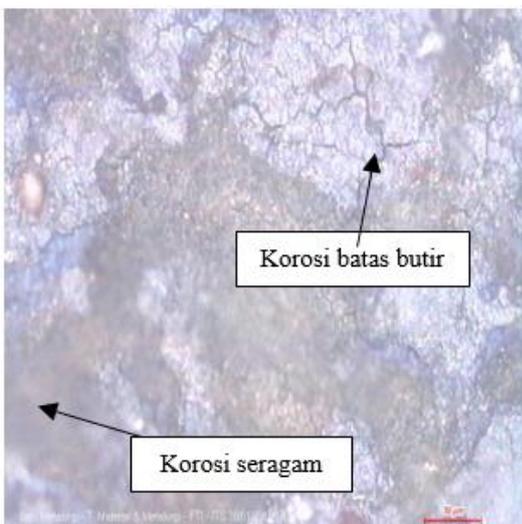
D. Pengujian Foto Mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur menggunakan mikroskop metalurgi dengan perbesaran hingga 500 x. Hasil dibawah ini merupakan hasil dari pengujian mikrostruktur sebelum pengujian immersion corrosion test. Dari foto dibawah ini terlihat jelas unsur mikro yang ada pada material sampel uji karena sudah melalui proses grinding dengan menggunakan gerinda duduk, pickling dengan direndam dalam larutan HCL, polishing dengan menggunakan autosol dan etching dengan menggunakan larutan etsa nital 2%. Pengujian dan pengamatan foto mikrostruktur selain untuk mengetahui perbedaan material sampel uji sebelum dan sesudah dilakukan pengujian immersion corrosion test juga dapat menjadi tahapan untuk mengidentifikasi korosi yang terjadi pada material sampel uji dikarenakan pengamatan ini menggunakan mikroskop metalurgi dengan perbesaran mencapai 500 x sehingga dapat mengetahui struktur mikro dari suatu material dan juga dapat mengidentifikasinya dengan lebih akurat.

Dalam foto mikrostruktur dibawah ini akan terlihat unsur-unsur yang ada pada material seperti *ferrite* dan *pearlite*.



Gambar 3. Pengujian Mikrostruktur sebelum pengujian



Gambar 4. Pengujian Mikrostruktur sesudah pengujian

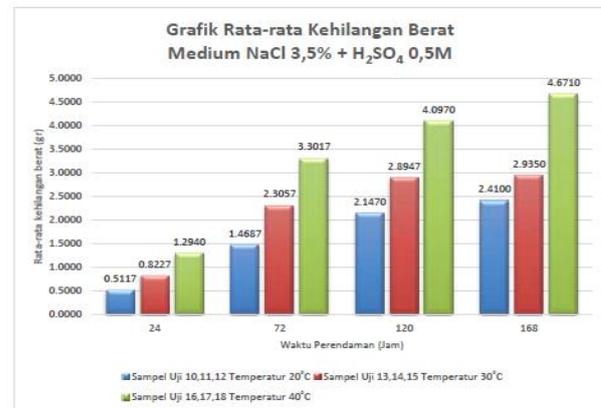
Ferrite (berwarna putih) merupakan larutan padat interstisi dari atom-atom karbon pada besi murni. Kelarutan maksimum karbon dalam ferit adalah 0,025% pada temperature 723°C. Pada temperature kamar kelarutan karbon sekitar 0,008%. *Ferrite* mempunyai sifat lunak dan ulet. Sedangkan *pearlite* (berwarna hitam) adalah campuran khusus terdiri dari dua fasa dan terbentuk sewaktu *austenite* yang akan bertransformasi menjadi *ferrite* dan karbida besi secara bersamaan. *Pearlite* mempunyai sifat kuat dan cukup keras. Kandungan karbon dalam *pearlite* untuk paduan besi karbon adalah 0,8%. Sehingga semakin banyak struktur *pearlite* yang terbentuk maka membuat material semakin mudah patah. Untuk mengetahui struktur mikro dari material sampel uji dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

E. Analisa Pengujian Foto Mikrostruktur

Dari pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa dalam pengujian dan pengamatan foto mikrostruktur pada medium perendaman NaCl 3,5 % + H₂SO₄ 0,5 M setelah dilakukan pengamatan melalui pengujian foto mikrostruktur dengan variasi temperatur yang berbeda-beda menimbulkan korosi seragam (*uniform corrosion*) dan juga korosi batas butir (*intergranular corrosion*). Untuk korosi seagam yang terjadi pada medium perendaman ini berbeda

Tabel 2. Rata-rata *WeightLoss* hasil Pengujian

No.	Rata-rata kehilangan berat (gr)			
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam
Sampel Uji 10,11,12 Temperatur 20°C	0.5117	1.4687	2.1470	2.4100
Sampel Uji 13,14,15 Temperatur 30°C	0.8227	2.3057	2.8947	2.9350
Sampel Uji 16,17,18 Temperatur 40°C	1.2940	3.3017	4.0970	4.6710



Gambar 5. Grafik rata-rata *WeightLoss* hasil Pengujian

dengan medium perendaman NaCl 3,5% yang berwarna kekuningan, hasil korosi seragam pada medium perendaman ini berwarna coklat sedikit kehitaman yang terjadi akibat pembentukan besi (II) sulfat karena reaksi kimia dari asam sulfat yang mengoksidasi material sampel uji sehingga mengakibatkan warna kehitaman ini. Korosi ini terjadi karena adanya produk gas H₂S yang terjadi akibat hasil reaksi kimia yang berada pada permukaan material sampel uji, selain itu temperatur yang tinggi juga akan mempengaruhi penetrasi dari gas ini ke material sampel uji sehingga menyebabkan korosi batas butir. Kemudian faktor lingkungan yang sangat korosif juga menjadi penyebab utama dari korosi batas butir ini. Dimana ketiga faktor diatas yang berpengaruh besar dalam mempengaruhi seberapa besar kerusakan yang terjadi pada material sampel uji. Selain itu telah ditemukan bahwa unsur S yang ada pada H₂SO₄ dapat menyebabkan *Stress corrosion cracking* (SCC) [13][14].

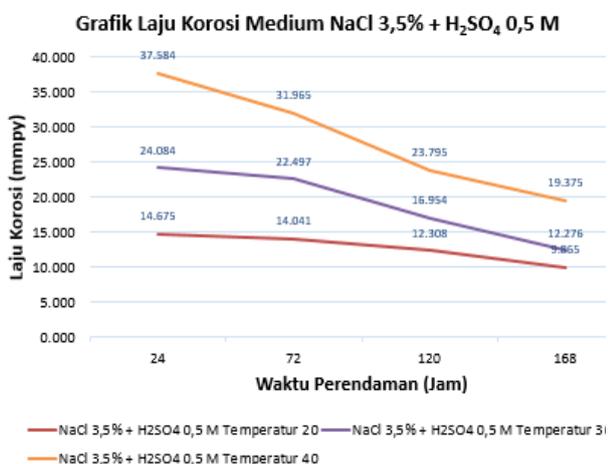
F. Data Hasil Pengujian Immersion Corrosion Test

Setelah kita mendapatkan data awal sebelum dilakukannya pengujian *immersion corrosion test* yang terdapat informasi ukuran dimensi dari material sampel uji, jenis perlakuan dan variasinya, kemudian berat awal dari 18 spesimen sebelum dilakukannya pengujian. Pengujian *immersion corrosion test* dilakukan selama 7 hari waktu perendaman dengan waktu pengamatan berat 1, 3, 5 dan 7 hari. Data hasil pengujian *immersion corrosion test* terhadap material sampel uji Baja ASTM A36 dengan perlakuan dan variasi yang berbeda-beda dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Pada medium perendaman NaCl 3,5 % + H₂SO₄ 0,5 M didapatkan data bahwa semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu perendaman maka kehilangan berat yang terjadi juga semakin tinggi. Kehilangan berat tertinggi terjadi pada material uji dengan variasi temperatur 40°C yang telah direndam selama 7 hari dengan kehilangan berat mencapai 4,6710 gr, sedangkan kehilangan berat paling rendah terjadi pada material uji dengan variasi temperatur 20°C yang telah direndam selama 1 hari dengan kehilangan berat mencapai 0,5117 gr.

Tabel 3. Laju Korosi

LAJU KOROSI (mmpy)					
Medium Perendaman	Suhu (°C)	Waktu Perendaman (Jam)			
		24	72	120	168
NaCl 3,5% + H ₂ SO ₄ 0,5 M	20	14.675	14.041	12.308	9.865
	30	24.084	22.497	16.954	12.276
	40	37.584	31.965	23.795	19.375



Gambar 6. Grafik Laju Korosi

G. Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi ini dihitung dengan mengacu kepada rumus perhitungan diatas dengan berdasarkan waktu perendaman, setelah mendapat hasil nilai dari laju korosi masing-masing material sampel uji kemudian dirata-rata untuk mendapatkan hasil yang lebih valid. Hasil dari setiap variasi kemudian dibuat grafik dan dihubungkan dengan yang lain agar dapat di analisa pengaruh dari waktu perendaman dan variasi yang lainnya. Perhitungan ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Dari tabel dan grafik diatas dapat diketahui nilai laju korosi (mmpy) dari setiap material sampel uji maupun untuk setiap variasi pengujian. Nilai laju korosi (*corrosion rate*) pada medium perendaman pada medium perendaman NaCl 3,5 % + H₂SO₄ 0,5 M didapatkan data bahwa nilai laju korosi memiliki kecenderungan menurun pada setiap waktu perendamannya, seperti pada gambar Grafik Laju Korosi diatas. Hal ini disebabkan karena terbentuknya pasivasi berwarna hitam yang terjadi akibat reaksi dari material sampel uji dengan medium perendamannya, warna hitam ini adalah besi (II) sulfat. Kemudian dari variasi temperatur yang diberikan pada pengujian ini, temperatur 40° C memiliki nilai laju korosi yang tinggi dibanding dengan temperatur 20° dan 30° C. Hal ini dikarenakan temperatur adalah faktor penting dalam proses reaksi kimia dan dalam laju korosi material. Selain itu kenaikan temperatur juga akan meningkatkan laju korosi dikarenakan dengan semakin tinggi temperatur akan mempercepat difusi oksigen melalui lapisan katodik dari oksida yang terbentuk. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi juga laju korosinya

H. Analisa Pengaruh Hubungan Temperatur dan Waktu Perendaman

Untuk pengaruh pada variasi temperatur perendaman (20°, 30° dan 40°C) dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi juga laju korosi yang terjadi.

Hal ini terjadi akibat faktor temperatur yang dapat mempengaruhi laju reaksi dikarenakan temperatur adalah faktor penting dalam proses reaksi kimia dan dalam laju korosi material. Apabila temperatur semakin tinggi maka akan menyebabkan partikel semakin aktif bergerak sehingga tumbukan antar partikel juga sering terjadi dan menyebabkan laju reaksi kimia semakin cepat. Hal ini juga didukung oleh penelitian dimana peningkatan temperatur dapat menyebabkan peningkatan laju korosi dan mengurangi ketahanan korosi terhadap baja dalam larutan yang diuji [15].

Untuk pengaruh pada waktu perendaman (1, 3, 5 dan 7 hari) dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu perendaman maka laju korosi yang terjadi cenderung menurun. Laju korosi semakin kecil atau menurun karena disebabkan terjadinya pasivasi [16]. Pasivasi adalah proses pembentukan senyawa oksida logam dipermukaan logam untuk mencegah proses perkaratan lebih lanjut, lapisan oksida logam tersebut terkadang serupa dengan korosi. Selain itu laju dari reaksi kimia juga akan mengalami penurunan secara perlahan setelah melewati titik optimal sehingga menyebabkan laju korosi pada material juga ikut menurun.

IV. KESIMPULAN DAN RINGKASAN

Laju korosi pada medium perendaman NaCl 3,5% + H₂SO₄ 0,5 M memiliki nilai laju korosi yang paling tinggi yaitu 37.584 mmpy (24 jam), 31.965 mmpy (72 jam), 23.795 mmpy (120 jam) dan 19.375 mmpy (168 jam).

Laju korosi pada temperatur 40°C pada setiap medium perendaman memiliki nilai laju korosi yang paling tinggi dibandingkan dengan temperatur yang lain. Maka semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi juga laju korosi yang terjadi dengan persentase kenaikan nilai laju korosi antara 6%-91%.

Laju korosi yang terjadi untuk setiap variasi medium dan temperatur perendaman cenderung menurun dengan persentase penurunan antara 4%-28% untuk waktu perendaman yang semakin lama.

Hasil makrostruktur pada material sampel uji Baja ASTM A36 yang direndam pada semua variasi medium perendaman dengan semua variasi temperatur dan waktu perendaman terjadi korosi seragam (*uniform corrosion*). Hasil mikrostruktur sampel uji Baja ASTM A36 yang direndam pada medium perendaman NaCl 3,5 % + H₂SO₄ 0,5 M dengan semua variasi temperatur dan waktu perendaman terjadi korosi seragam (*uniform corrosion*) dan korosi batas butir (*intergranular corrosion*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Chamberlain and K. Trethewey, *KOROSI (Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan)*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1991.
- [2] Supriyanto, "Pengaruh Konsentrasi Larutan NaCl 2% dan 3,5% Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah," Surakarta, 2007.
- [3] S. Cramer and B. Covino, "ASM Handbook: Corrosion: fundamentals, testing, and protection. Vol. 13 A," 2003.
- [4] O. Lukito, "Tamparan Konferensi Laut Dunia," *detik news*. [Online]. Available: <https://news.detik.com/opini/d-1123087/tamparan-konferensi-laut-dunia>. [Accessed: 19-Feb-2020].
- [5] BAPPEDA JATIM, "Bappeda Provinsi Jawa Timur – Limbah Industri Rusak Sumberdaya Perikanan," *BAPPEDA JATIM*, 2011. [Online]. Available: <http://bappeda.jatimprov.go.id/2011/10/28/limbah-industri-rusak->

- sumberdaya-perikanan-2/. [Accessed: 19-Feb-2020].
- [6] ASTM, *Standard Specification for Carbon Structural Steel*. 2008.
- [7] R. S.- Tarsito, undefined Bandung, and undefined 1997, "Korosi."
- [8] Y. Song, A. Palencsár, G. Svenningsen, J. Kvarekval, and T. Hemmingsen, "Effect of O₂ and temperature on sour corrosion," *Corrosion*, vol. 68, no. 7, pp. 662–671, Jul. 2012, doi: 10.5006/0341.
- [9] M. G. Fontana, *Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc, 1987.
- [10] A. I.-U. State and undefined 2004, "ASTM G31-72: Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals."
- [11] R. . Compton, "ASTM E3-Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens," in *Microstructural Science*, vol. 25, no. Roll of Characterization in Understanding Environmental Degradation of Materials, NACE International, 1999, pp. 65–70.
- [12] ASTM, *Standard practice for preparing, cleaning and evaluation corrosion test specimens*. West Conshohocken PA: ASTM, 1994.
- [13] L. Smith, B. C.-S. Workshop, undefined October, and undefined 2008, "Corrosion mechanisms and material performance in environments containing hydrogen sulfide and elemental sulfur," *intetech.com*.
- [14] E. García-Ochoa, J. González-Sánchez, N. Acuña, and J. Euan, "Analysis of the dynamics of Intergranular corrosion process of sensitised 304 stainless steel using recurrence plots," *J. Appl. Electrochem.*, vol. 39, no. 5, pp. 637–645, May 2009, doi: 10.1007/s10800-008-9702-4.
- [15] E.-S. M. Sherif and A. H. Seikh, "Effects of immersion time and temperature on the corrosion of API 5L Grade X-65 Steel in 1.0 MH₂so₄ pickling solution," 2015.
- [16] G. A. Ayu, D. Rahmayanti, and N. EM, "Perhitungan Laju Korosi di dalam Larutan Air Laut dan Air Garam 3% pada Paku dan Besi ASTM A36," *Gravity Sci. J. Res. Learn. Phys.*, vol. 1, no. 1, Mar. 2015, doi: 10.30870/GRAVITY.V1I1.2489.