



# Penyebaran Larutan Asam Hidroklorik (HCl) Pada Permukaan Logam Tembaga (Cu)

Sarah Rizky Wulaningrum<sup>1</sup>, Fahrudin Nugroho<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada  
Jurusan Fisika Universitas Gadjah Mada Bulaksumur BLS 21, Yogyakarta 55281  
E-mail : sarah.rizky.w@mail.ugm.ac.id<sup>1</sup>, fahrudinugm@gmail.com<sup>2</sup>

## Abstrak

Korosi terjadi karena adanya pengikisan pada logam akibat larutan pengikis. Pada penelitian ini telah dilakukan pengamatan proses korosi awal dengan menggunakan mikroskop optik yang terhubung dengan kamera digital. Larutan pengikis yang digunakan dalam penelitian adalah larutan asam hidroklorik (HCl) dengan variasi konsentrasi 0,07 M; 0,08 M; 0,10 M; dan 0,12 M. Adapun logam yang digunakan adalah logam tembaga (Cu). Metode yang dilakukan yaitu dengan meneteskan larutan asam HCl pada permukaan logam tembaga, lalu diamati proses penyebarannya. Pengamatan dilakukan sejak larutan asam diteteskan hingga penyebaran berhenti. Hasilnya diketahui jangkauan rerata penyebaran larutan asam HCl, kecepatan penyebaran larutan asam HCl, dan pola korosi permukaan logam yang terdiri atas pola seragam, tak seragam, dan *fingering*.

**Kata kunci :** penyebaran, asam HCl, logam tembaga, korosi, pola.

## 1. Pendahuluan

Korosi adalah sebuah proses perusakan logam yang disebabkan oleh reaksi kimia. Peristiwa korosi banyak terjadi di alam [7]. Perubahan iklim yang sekarang terjadi berhubungan erat dengan peningkatan  $CO_2$  di atmosfer. Peningkatan  $CO_2$  di atmosfer akan mempengaruhi terjadinya korosi *steel carbon* melalui pengasaman karena adanya peningkatan konsentrasi  $HCO_3$  dan  $Ca_2O$  di air pada suhu beberapa derajat celsius lebih tinggi dari suhu di tahun 1990 [6]. Bahkan diprediksikan  $CO_2$  akan meningkat sebanyak 50% pada tahun 2030 dibandingkan konsentrasi tahun 2005, yaitu sebesar 359 ppm [9]. Perubahan iklim yang terjadi akan menyebabkan korosi lingkungan dimasa depan menjadi kompleks dan model pengasaman sederhana tidak akan terhindarkan [8].

Peristiwa korosi pun menjadi sesuatu yang menarik untuk dikaji oleh ilmuwan, mereka mempelajari mekanisme proses terjadinya korosi. Secara eksperimental kontrol pertumbuhan lubang pada korosi Aluminium tipis dalam larutan klorida (Cl) telah dilakukan [3]. Dinamika korosi secara eksperimental juga telah dilakukan [1,2]. Keduanya meneliti dinamika korosi melalui perubahan laju korosi dengan cara mengukur perubahan berat spesimen uji. Pemodelan dinamika pengikisan larutan asam pada permukaan zat padat juga telah dilakukan oleh [4,5]. Sehingga pada penelitian ini

dilakukan pengamatan proses korosi awal dari logam tembaga dengan larutan pengikis berupa asam HCl. Citra korosi yang dihasilkan dianalisis untuk memperoleh data yang diperlukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dinamika korosi awal dan fase-fase penyebarannya. Hasilnya dapat diketahui jangkauan penyebaran larutan asam HCl pada permukaan logam tembaga, kecepatan penyebarannya, dan pola korosi permukaannya.

## 2. Pembahasan

### 2.1. Metode Penelitian

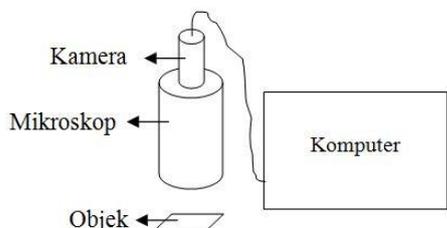
#### 2.1.1. Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas komputer, mikroskop, dan kamera CMOS. Adapun bahan yang digunakan adalah logam tembaga dengan tebal 0,4 mm yang dipotong dengan ukuran (5x3) cm dan larutan asam hidroklorik (HCl) dengan empat variasi konsentrasi, yaitu 0,07 M; 0,08 M; 0,10 M; dan 0,12 M. Larutan dibuat dari asam HCl 37% yang diencerkan dengan *aqua bidestilata steril*.

#### 2.1.2 Rancangan Alat Pengamatan

Alat pengamatan penyebaran larutan asam pada permukaan logam disusun seperti pada gambar 1. Mikroskop diset pada perbesaran lensa objektif 4

kali. Lensa okuler pada penelitian ini adalah kamera CMOS yang juga berfungsi sebagai alat perekam. Kamera CMOS dihubungkan dengan komputer yang sudah diinstal perangkat lunak *ScopeImage* 9.0. Cahaya lampu ditambahkan untuk menerangi logam dari sisi atas agar objek dapat diamati dengan mikroskop.



Gambar 1. Skema rangkaian alat pengamatan.

### 2.1.3 Langkah-langkah Pengamatan

Langkah-langkah dalam mengamati proses penyebaran larutan asam HCl pada permukaan tembaga adalah mikroskop diset pada perbesaran lensa objektif 4 kali. Logam tembaga diletakkan di atas preparat. Selanjutnya atur posisi spesimen uji, jarak lensa objektif dan lampu agar diperoleh tampilan pengamatan yang baik. Selanjutnya logam ditetesi dengan larutan asam HCl. Selama proses penelitian direkam dengan kamera CMOS yang tersambung ke laptop yang sudah diinstal *ScopeImage* 9.0. Data pengamatan berupa video dikonversi menjadi gambar cuplik menggunakan perangkat lunak *ImageJ 1.46r*. Selanjutnya, panjang radius lingkaran pada setiap gambar cuplik dihitung setiap  $\vartheta=2^{\circ}$  dan dianalisis untuk memperoleh hasilnya.

## 2.2. Hasil dan Pembahasan

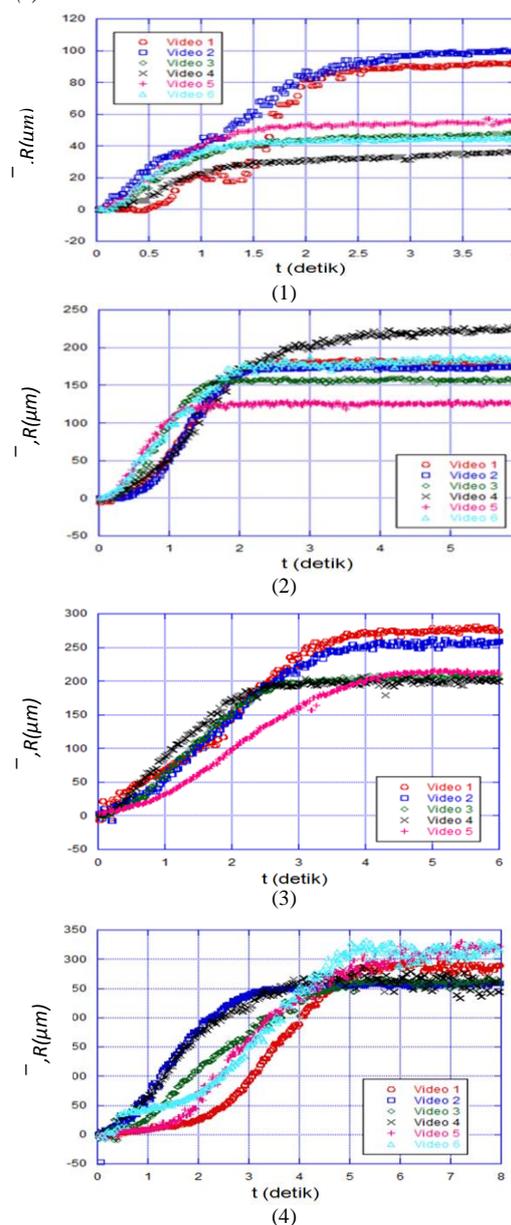
Penelitian mengenai penyebaran larutan asam HCl pada permukaan logam tembaga ini memiliki beberapa hasil yang akan dipaparkan pada bagian ini. Beberapa hasil penelitian yang akan dibahas adalah mengenai proses penyebaran asam pada permukaan logam dan pola korosi permukaan logam yang dihasilkan.

### 2.2.2 Hasil Analisis Proses Penyebaran Larutan Asam

#### 2.2.2.1 Jangkauan Penyebaran Larutan Asam HCl pada Permukaan Logam Tembaga

Tetes larutan asam pada permukaan logam akan menyebar dengan bentuk penyebaran berupa lingkaran. Seberapa jauh larutan HCl dapat

menyebar pada permukaan logam tembaga inilah yang akan dihitung sebagai nilai jangkauan penyebaran larutan asam. Besarnya jangkauan penyebaran larutan asam terjauh yang bisa ditempuh dapat diketahui dengan mengukur keliling lingkaran permukaan logam yang terkorosi, karena berlaku  $A(t) \approx 2\pi R(t)$ , dengan  $A(t)$  adalah bagian permukaan logam yang sudah terkorosi selama waktu  $t$  dan  $2\pi R(t)$  adalah keliling lingkaran permukaan yang terkorosi selama waktu  $t$ . Karena  $A(t)$  sebanding dengan  $R(t)$  yaitu jangkauan maksimum penyebaran asam yang dapat dicapai pada waktu  $t$ , maka  $A(t) \approx R(t)$ .



Gambar 2. Grafik penyebaran larutan asam HCl dengan konsentrasi (1) 0,07 M, (2) 0,08 M, (3) 0,10 M, dan (4) 0,12 M pada permukaan logam tembaga.

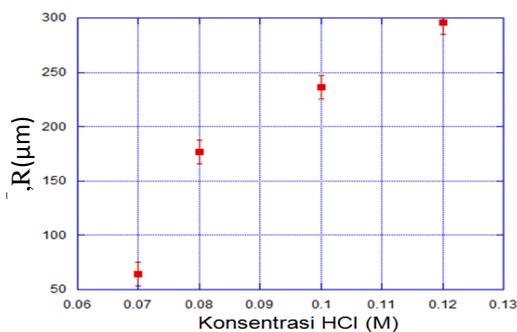
Jangkauan penyebaran larutan asam HCl dari seluruh video yang diperoleh dengan konsentrasi 0,07 M; 0,08 M; 0,10 M; dan 0,12 M pada permukaan logam tembaga bisa dilihat pada gambar 2. Gambar 2 memperlihatkan perubahan jangkauan penyebaran larutan HCl pada permukaan logam yang terkikis pada tiga fase, yaitu fase awal, tengah, dan akhir. Awalnya alur grafik dimulai dari titik awal bernilai nol karena asam belum menyebar. Selanjutnya alur grafik mengalami peningkatan yang menunjukkan adanya perubahan peningkatan jangkauan penyebaran. Sedangkan terakhir berupa alur horizontal yang menunjukkan bahwa jangkauan penyebarannya tidak berubah, hal ini terjadi ketika proses penyebaran larutan asam sudah tidak terjadi (berhenti menyebar) karena asam tidak mampu mengikis permukaan logam lagi.

Adapun jangkauan rerata dari sebaran larutan asam HCl dari setiap konsentrasi yang sama nilainya bisa dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai jangkauan rerata penyebaran larutan asam HCl

HCl (M)	Jangkauan rerata ( $\mu\text{m}$ )
0,07	$64 \pm 11$
0,08	$177 \pm 13$
0,10	$236 \pm 15$
0,12	$296 \pm 12$

Berdasarkan hasil yang terdapat pada tabel 1, maka hubungan nilai konsentrasi asam HCl dengan jangkauan rerata penyebarannya bisa diplotkan dalam grafik, hasilnya bisa dilihat pada gambar 3.

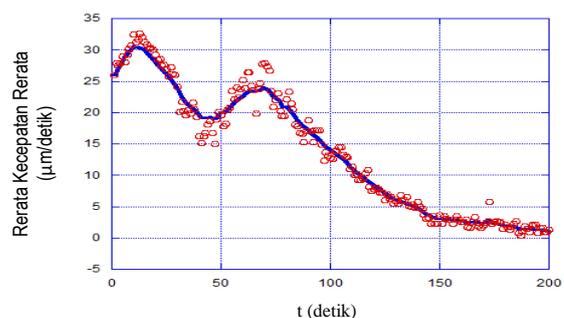


Gambar 3. Grafik hubungan konsentrasi larutan asam HCl dengan jangkauan rerata penyebarannya.

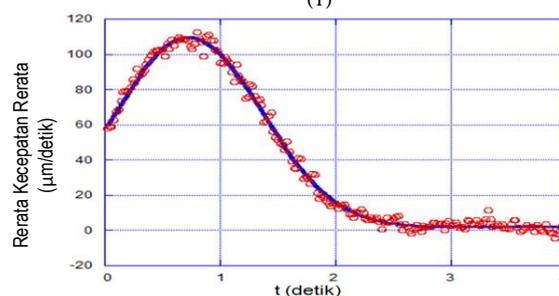
Dari penelitian ini diketahui bahwa jangkauan penyebaran larutan asam HCl pada permukaan logam tembaga dipengaruhi oleh konsentrasi larutannya. Semakin tinggi konsentrasi larutan asam, semakin besar nilai jangkauan penyebarannya.

### 2.2.2.2 Kecepatan Penyebaran Larutan Asam HCl pada Permukaan Logam Tembaga

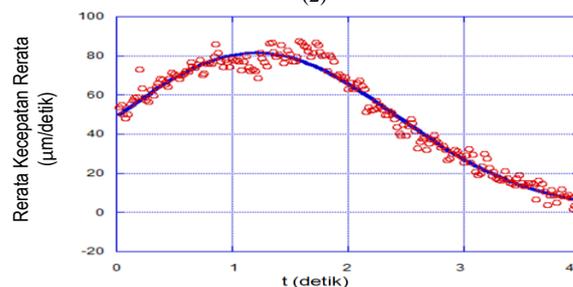
Pada penelitian ini dihitung perubahan jangkauan rerata penyebaran larutan asam HCl setiap 0,6 detik, sehingga diketahui nilai kecepatan reratanya. Adapun nilai rerata kecepatan rerata untuk setiap variasi konsentrasi, bisa dilihat pada gambar 4. Grafik (2), (3), dan (4) pada gambar 4, secara umum menunjukkan profil perubahan rerata kecepatan rerata yang sama, berdasarkan alur grafiknya. Sedangkan pada gambar 4 bagian (1) perubahan rerata kecepatan reratanya memiliki alur yang berbeda. Grafik (1) memiliki dua buah puncak. Artinya pada penyebaran HCl 0,07 M mengalami dua kali peningkatan kecepatan penyebaran. Semula kecepatan penyebaran asam meningkat lalu menurun, tetapi belum sampai berhenti kekecepatannya kembali meningkat, dan kemudian menurun lagi, lalu berhenti. Adapun penyebab mengapa terjadi perubahan kecepatan penyebaran ini diperlukan penelitian lebih lanjut.



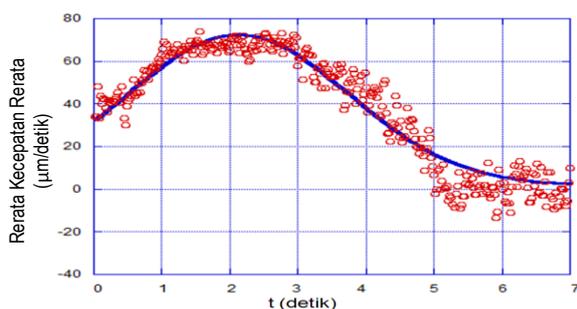
(1)



(2)

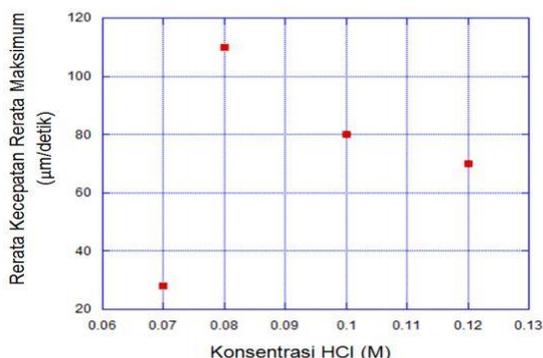


(3)



(4)

Gambar 4. Grafik perubahan rerata kecepatan rerata penyebaran larutan HCl dengan konsentrasi (1) 0,07 M, (2) 0,08 M, (3) 0,10 M, dan (4) 0,12 M setiap 0,6 detik.



Gambar 5. Grafik hubungan konsentrasi larutan asam HCl dengan rerata kecepatan rerata maksimum.

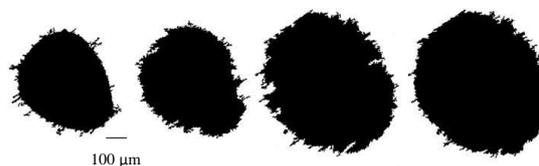
Informasi mengenai hubungan konsentrasi larutan asam HCl dengan rerata kecepatan rerata maksimum penyebarannya bisa dilihat dalam gambar 5. Kecepatan penyebaran dalam penelitian ini dipengaruhi oleh konsentrasi larutan asam yang digunakan. Dari hasil penelitian diketahui untuk konsentrasi optimum, memiliki nilai rerata kecepatan rerata maksimum yang paling tinggi. Konsentrasi HCl optimum dalam penelitian adalah larutan asam HCl dengan konsentrasi 0,08 M. Konsentrasi HCl optimum dalam mengikis permukaan logam dipengaruhi oleh kemampuan larutan dalam mengikis serta viskositasnya.

Pada konsentrasi rendah, kemampuan mengikis dan viskositasnya rendah sehingga kecepatan mengikisnya rendah. Pada konsentrasi tinggi, kemampuan mengikisnya tinggi, tetapi viskositasnya tinggi pula, sehingga kemampuan larutan untuk menyebar pada permukaan logam rendah. Adapun konsentrasi optimum adalah larutan asam HCl yang memiliki kemampuan mengikis tidak terlalu rendah dan viskositasnya tidak terlalu tinggi, sehingga kemampuan larutan untuk mengikis dan menyebar pada logam tinggi.

### 2.2.3 Pola Korosi Permukaan Logam Tembaga

Penyebaran larutan asam pada permukaan logam bentuknya sesuai dengan bentuk tetesan awal larutan asam yaitu berupa lingkaran. Larutan asam yang ditetaskan pada permukaan logam akan menyebabkan logam menjadi terkikis. Pengikisan inilah yang disebut sebagai korosi permukaan logam. Seiring berjalannya waktu ukuran lingkaran yang terbentuk akan tumbuh hingga ukuran tertentu dengan bentuk pola permukaan luar yang beragam. Pertumbuhan radius dan pembentukan pola korosi permukaan yang terkikis oleh larutan asam bisa dilihat pada gambar 6.

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa tetesan awal dengan bentuk lingkaran. Kemudian lingkarannya tumbuh membesar. Pertumbuhan radius lingkaran terus berlangsung hingga step waktu tertentu kemudian berhenti.



Gambar 6. Pola korosi permukaan logam tembaga pada 6,48 s; 7,46 s; 8,46 s; dan 9,46 s.

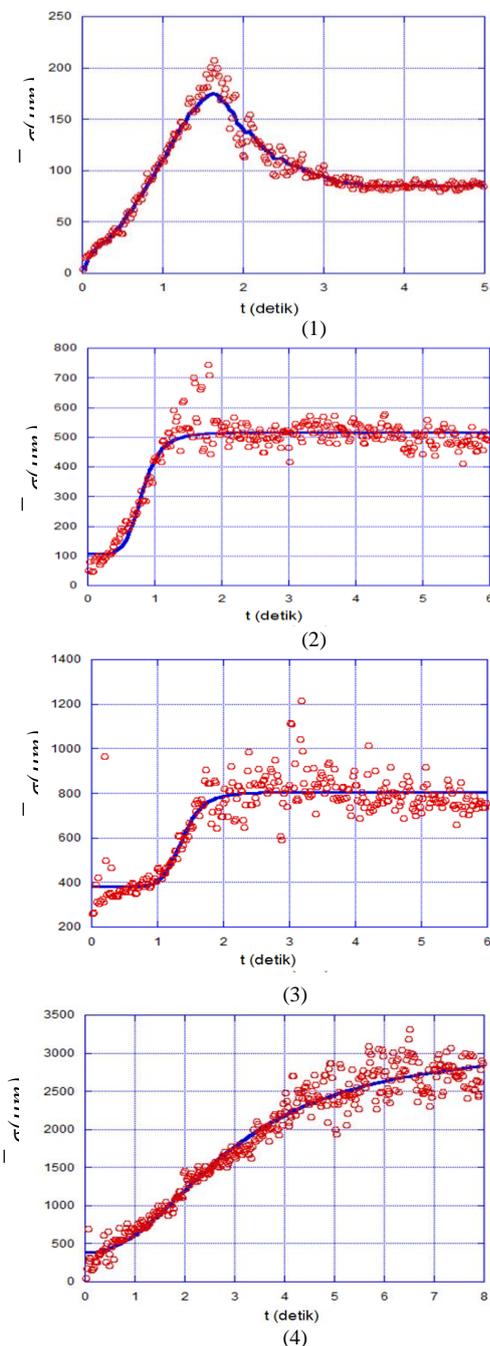
Setiap step waktu, lingkaran yang dihasilkan memiliki pola tertentu. Pola tersebut menyebabkan panjang radius setiap lingkaran pada suatu step waktu juga beragam. Pola korosi permukaan yang seragam menghasilkan panjang radius lingkaran yang seragam. Sedangkan pola korosi permukaan yang tak seragam, panjang radius lingkarannya juga tak seragam. Adapun pola korosi permukaan yang membentuk jari-jari disebut sebagai pola *fingering*. Pada pola *fingering* panjang radius lingkarannya fluktuatif pada range nilai tertentu. Untuk mendapatkan nilai keberagaman panjang radius maka dihitung varian radiusnya ( $\sigma$ ). Perhitungan ini menggunakan rumus varian yaitu,

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^2 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} \right)^2 \quad (1)$$

dengan n adalah jumlah data dan r adalah jangkauan radius penyebaran larutan asam.

Hasil rerata varian radius ( $\bar{\sigma}$ ) dari setiap variasi konsentrasi asam HCl dapat dilihat pada gambar 7. Secara umum nilai rerata varian radius yang dihasilkan terdiri atas tiga fase. Pada fase awal nilai varian radiusnya rendah, kemudian nilai varian meningkat, dan pada fase akhir nilainya fluktuatif pada range nilai tertentu. Hal ini bersesuaian dengan grafik yang terdapat pada gambar 7 bagian (2), (3), dan (4). Sedangkan pada bagian (1) menunjukkan nilai varian yang berbeda. Pada grafik (1) fase awal

memiliki nilai varian radius rendah, kemudian mengalami peningkatan, menurun, dan terakhir nilai varian radiusnya tetap pada suatu nilai tertentu.

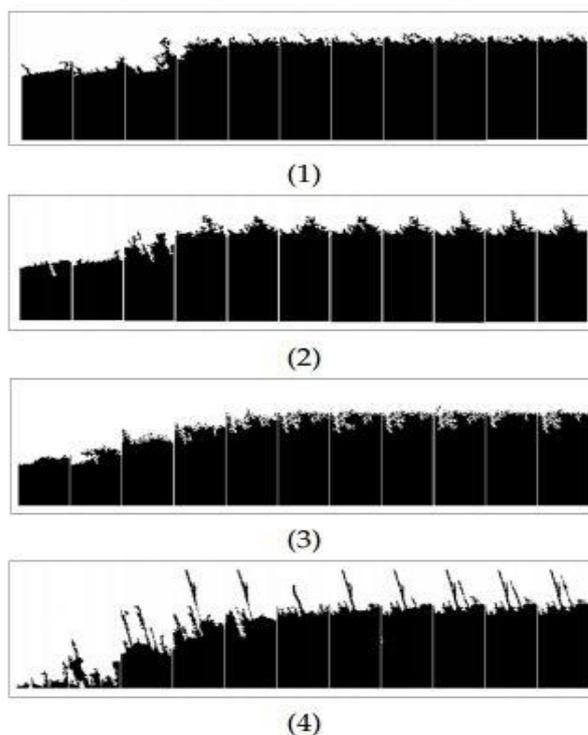


Gambar 7. Grafik rerata varian radius yang dihasilkan dari larutan asam HCl dengan konsentrasi (1) 0,07 M, (2) 0,08 M, (3) 0,10 M, dan (4) 0,12 M.

Berdasarkan nilai varian radius yang diperoleh, hasilnya pada saat nilai varian radiusnya rendah pola korosi permukaan yang dihasilkan adalah pola seragam. Saat nilai varian radiusnya meningkat, polanya berubah dari seragam menjadi tak seragam.

Lalu saat nilai variannya tinggi pola yang dihasilkan adalah pola tak seragam. Sedangkan pada saat nilai variannya fluktuatif pada range nilai tertentu pola yang dihasilkan adalah pola fingering.

Konsentrasi asam HCl yang digunakan untuk mengkorosi permukaan logam berpengaruh terhadap pola fingering yang dihasilkan. Hal ini bisa dilihat pada gambar 7, grafik varian radius bagian terakhir menunjukkan nilai varian yang fluktuatif pada range nilai tertentu, kecuali pada larutan asam HCl dengan konsentrasi 0,07 M memiliki nilai rerata varian radius yang cenderung tidak mengalami fluktuasi. Adapun larutan asam HCl dengan konsentrasi 0,08 M memiliki nilai rerata varian radius yang fluktuatif pada range (400-600)  $\mu\text{m}$ , HCl 0,10 M nilai rerata varian radiusnya fluktuatif pada range (600-1000)  $\mu\text{m}$ , dan HCl 0,12 M nilai rerata varian radiusnya fluktuatif pada range (2000-3000)  $\mu\text{m}$ . Semakin tinggi konsentrasi larutan asam HCl yang digunakan, menghasilkan nilai rerata varian radius yang fluktuatif pada range nilai yang lebih tinggi.



Gambar 8. Pola korosi permukaan logam tembaga akibat pengikisan asam HCl (1) 0,07 M, (2) 0,08 M, (3) 0,10 M, dan (4) 0,12 M

Adapun pola muka korosi permukaan logam tembaga karena pengikisan larutan asam HCl berbagai konsentrasi pada penelitian ini ditampilkan dalam gambar 8. Gambar 8 merupakan gambar biner cuplik bagian muka lingkaran yang disusun berurutan mewakili bagian awal, tengah, dan akhir. Gambar 8 ini untuk mempermudah melihat dan

mengamati pola korosi permukaan yang terbentuk setiap step waktunya.

Hasilnya, nilai varian radius pada gambar 7 bersesuaian dengan pola korosi permukaan yang ditampilkan pada gambar 8. Pola korosi permukaan seragam ketika nilai varian radiusnya rendah. Pola korosi permukaan tak seragam ketika nilai varian radiusnya tinggi. Pola korosi permukaan *fingering* ketika nilai varian radiusnya fluktuatif pada range nilai tertentu. Pola korosi permukaan logam yang terbentuk ini muncul karena adanya perubahan kecepatan penyebaran larutan asam HCl pada permukaan logam tembaga. Pola korosi permukaan relatif seragam saat kecepatan penyebaran larutan asam konstan. Pola berubah menjadi tak seragam saat kecepatan penyebaran larutan asam melambat. Sedangkan pola *fingering* muncul saat larutan asam mulai berhenti menyebar.

### 3. Kesimpulan dan Saran

#### 3.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian penyebaran larutan asam HCl pada permukaan logam tembaga diperoleh beberapa kesimpulan. Pertama, peningkatan konsentrasi larutan asam HCl meningkatkan jangkauan penyebaran larutan asam pada permukaan logam tembaga. Kedua, nilai rerata kecepatan rerata maksimum penyebaran larutan asam HCl pada permukaan logam tembaga memiliki hubungan yang tidak linear terhadap konsentrasi larutannya. Konsentrasi larutan asam optimum menghasilkan nilai rerata kecepatan rerata maksimum yang paling tinggi. Ketiga, pola korosi permukaan logam yang terbentuk menghasilkan nilai varian radius tertentu. Pola korosi permukaannya terdiri atas pola seragam, tak seragam, dan *fingering*. Semakin tinggi konsentrasi asam HCl yang digunakan, menghasilkan nilai varian radius yang fluktuatif pada range nilai yang lebih tinggi.

#### 3.2 Saran

Dilakukan penelitian lebih lanjut pada pola *fingering* yang terbentuk.

#### Daftar Pustaka

- [1] Bobic, B., Mitrovic, S., babic, M., Bobic, I., 2009, *Corrosion of Aluminium and Zinc-Aluminium Alloys Based Metal-Matrix Composite*, Tribology in Industry, Volume 31, No 3 & 4, hal 44-53.
- [2] Datta, J., Bhattacharya, C., Bandyopadhyay, S., 2005, *Influence of Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> Ions on the Corrosion Behaviour of 6061 Al Alloy*, Bull Master Sci, Vol. 28, No. 3, hal 253-258.
- [3] Frankel, G.S., 1990, *The Growth of 2-D Pit in Thin Film Aluminium*, Corrosion Science, Elsevier, Vol. 30, Issue 12, hal 1203-1218.
- [4] Gabrielli, A., Baldassarri, A. dan Sapoval, B., 2000, *Surface Hardening and Self-organized Fractality Through Etching of Random Solids*, Physical Review E, Vol 62, Number 3, hal. 3103-3115.
- [5] Gabrielli, A., Munoz, A. Miguel dan Sapoval, B., 2001, *Field Theory of Self-organized Fractal Etching*, Physical Review E, Vol 64, 016108, hal. 1-8.
- [6] Murata, T., 2011, *Introductory Notes on Climate Change, Life-cycle Design, and Corrosion of Steel*, R. Winston Revie, Uhlig's Corrosion Handbook, Edisi ke-3, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [7] Revie, R. Winston dan Uhlig, Herbert H., 2008, *Corrosion and Corrosion Control An Introduction to Corrosion Science and Engineering*, Edisi ke-4, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [8] Revie, R. Winston, 2011, *Uhlig's Corrosion Handbook*, Edisi ke-3, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [9] Wigley, Tom M.L., 1997, *Implications of Proposed O<sub>2</sub> Emissions Limitations*, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, Technical Paper IV.