

Studi Perilaku Korosi Tembaga dengan Variasi Konsentrasi Asam Askorbat (Vitamin C) dalam Lingkungan Air yang Mengandung Klorida dan Sulfat

Soejono Tjitro, Juliana Anggono

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Adriana Anteng Anggorowati

Dosen Jurusan Teknik Kimia – Universitas Widya Mandala

Gatut Phengkusaksomo

Alumnus Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Pengujian dengan metode Planned-Interval Test dalam interval waktu (0-5) hari, (0-10) hari, (0-15) hari dan (10-15) hari menunjukkan perubahan kondisi lingkungan dan perilaku korosi tembaga. Perubahan kondisi lingkungan ini ditunjukkan oleh penurunan pH dan peningkatan nilai konduktivitas lingkungan. Penurunan pH dari 7,6 ke 7,1 pada interval waktu (0-5) hari karena reaksi hidrolisis dan dekomposisi asam askorbat (AA). Sedangkan nilai konduktivitas yang semakin tinggi disebabkan oleh semakin banyaknya ion-ion terlarut dalam lingkungan. Kedua perubahan ini menimbulkan peningkatan pada korosivitas lingkungan. Korosivitas tertinggi dijumpai pada interval waktu (10-15) hari, terbukti dengan laju korosi paling besar. Efisiensi AA tertinggi untuk semua variasi lingkungan NaCl dan CaSO₄ terjadi pada 150 ppm. Kurang atau lebih dari 150 ppm, AA tidak akan berfungsi sebagai inhibitor karena selain jumlah AA yang tidak memadai untuk inhibisi juga dipakai bersama ion logam membentuk senyawa kelat yang meningkatkan laju korosi.

Kata kunci: laju korosi, efisiensi inhibisi, asam askorbat

Abstract

Planned Interval Test method conducted in several intervals of times (0-5) days, (0-10) days, (0-15) days, and (10-15) days shows the changes of environment condition and metal corrosion. The changes in the corrosiveness media and the corrosion resistant of the material. The acidity of the media gets lower from 7.6 to 7.1 in the interval of (0-5) days and the conductivity increase during the time interval. The change in acidity is caused by hydrolysis reaction and AA decomposition. During the time interval of (10-15) days a very high corrosion rate was observed due to low pH and high conductivity. The highest efficiency is found in the addition of 150 ppm AA in all different concentration of Cl⁻ and SO₄²⁻ in water. More or less AA concentration, AA has no function as inhibitor. The amount is not enough to form the protective film on the metal surface and some are used to form the chelate compounds with the metal ions.

Keywords: corrosion rate, inhibition efficiency, ascorbic acid

1. Pendahuluan

Asam askorbat (vitamin C) terbukti berkemampuan memerankan fungsi sebagai inhibitor untuk baja dalam media air (aquades) yang mengandung 0,3 % NaCl⁸⁾. Hal ini juga telah dibuktikan pada penurunan laju korosi tembaga⁵⁾. Pada penelitian tersebut efisiensi inhibisi tertinggi untuk tembaga pada media

aquades dengan variasi kandungan NaCl, CaSO₄, dan CaCO₃ dicapai pada konsentrasi asam askorbat yang bervariasi. Pada media yang paling korosif (NaCl), efisiensi inhibisi tertinggi dicapai pada asam askorbat yang paling rendah, yaitu 50 ppm dibanding lingkungan dengan kandungan CaCO₃ maupun CaCO₃, dimana masing-masing dicapai pada 100 ppm dan 50 ppm⁵⁾. Hasil penelitian juga menunjukkan laju korosi tembaga pada lingkungan CaCO₃ sangat kecil sekali dibandingkan lingkungan lainnya.

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2000. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 2 Nomor 2 Oktober 2000.

Selama 10 hari pencelupan spesimen pada penelitian terdahulu⁵⁾, tidak dapat mengetahui pengaruh perubahan lingkungan maupun ketahanan korosi tembaga karena reaksi korosi terjadi dalam interval-interval waktu tertentu. Pengaruh perubahan lingkungan dimungkinkan terjadi akibat penambahan asam askorbat dimana jumlah ppm asam askorbat tertentu tidak berfungsi sebagai inhibitor.

Untuk mencakup peran perubahan lingkungan tiap waktu terhadap efisiensi inhibisi asam askorbat maka dilakukan uji pencelupan dengan metoda Planned - Interval Test, yaitu variasi waktu pencelupan terhadap laju korosi yang dihasilkan. Sehingga pengaruh perubahan lingkungan korosivitas dan tingkat ketahanan tembaga terhadap efisiensi asam askorbat sebagai inhibitor dapat dipelajari.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Persiapan Spesimen Uji

Bahan spesimen uji yang digunakan adalah paduan tembaga, dengan kandungan (% berat) Al = 4,75 %, Zn = 2,95 %, Fe = 2,53 %, dan Cu = *balance*. Bahan uji tersebut dipotong dalam bentuk kupon dengan dimensi panjang 50 mm dan lebar 25 mm. Spesimen yang telah dipotong dilakukan penggosokan dengan kertas amplas, pembersihan, pemberian kode dan penimbangan berat spesimen awal dengan menggunakan timbangan analitik merk Metter Toledo (ketelitian 0,1 mg).

2.2 Persiapan Lingkungan Uji

Lingkungan uji yang digunakan sebanyak 45 jenis kualitas air untuk proses pencelupan spesimen pada temperatur kamar. Volume tiap lingkungan air yang digunakan mengikuti rasio minimum volume larutan terhadap luas permukaan spesimen sebesar 20 ml/cm² sesuai dengan ASTM G 31- 72 (Reapproved 1990) "Standard Practice for Laboratory Immersion Testing of Metals". Setelah melalui proses perhitungan maka jumlah volume untuk setiap kualitas air minimum 7,5 liter. Pembagian tiap jenis kualitas air terhadap konsentrasi NaCl, CaSO₄ dan AA seperti pada tabel di bawah.

Tabel 1. Variasi Konsentrasi Larutan

Konsentrasi Cl ⁻ (mg/L)	Konsentrasi SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Konsentrasi AA tiap variasi lingkungan (ppm)
200	200	0, 50, 100, 150, 200
	300	
	400	
300	200	0, 50, 100, 150, 200
	300	
	400	
400	200	0, 50, 100, 150, 200
	300	
	400	

Pencelupan pertama sebanyak 15 spesimen dengan urutan pengangkatan yaitu 5 spesimen pada hari ke-5, 5 spesimen pada hari ke-10 dan 5 spesimen lainnya pada hari ke-15. Kemudian pencelupan kedua sebanyak 5 spesimen yang masih baru pada hari ke-10 dengan tanpa mengubah kondisi larutan yang ada dan pengangkatan dilakukan pada hari ke-15.

2.3 Pengujian Kehilangan Berat

Cara pembersihan produk korosi dilakukan dengan menggunakan larutan H₂SO₄ sebanyak 100 ml yang dilarutkan sampai menjadi 1000 ml air pada temperatur 20 - 25 ° C selama 1 - 3 menit, sesuai dengan ASTM G1-90 "Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens".

Penimbangan berat akhir spesimen dilakukan setelah pembersihan. Dengan demikian laju korosi dapat ditentukan dengan rumus :

$$mpy = \frac{3,45 \times 10^6 \times W}{A \times T \times D} \quad (1)$$

dimana:

mpy = laju korosi (mils/year)

W = berat yang hilang (gr)

A = luas (cm²)

T = waktu (jam)

D = *density* (gr/cm³)

2.4 Perhitungan Efisiensi Inhibitor

Efisiensi inhibitor menunjukkan persentase penurunan laju korosi dengan adanya inhibitor dibandingkan dengan laju korosi bila tanpa inhibitor. Perhitungan efisiensi inhibisi AA menggunakan persamaan :

$$\text{Efisiensi Inhibitor} = \frac{X_a - X_b}{X_a} \times 100\% \quad (2)$$

dimana:

X_a = laju korosi tanpa AA (mpy)

X_b = laju korosi dengan AA (mpy)

2.5 Pengujian Lingkungan

- Pengujian pH dan konduktivitas lingkungan baik sebelum maupun setelah penambahan konsentrasi NaCl, CaSO₄ dan AA.
- Pengujian jumlah AA dilakukan dengan uji titrasi, yaitu mengetahui jumlah sisa AA yang terpakai untuk inhibisi dalam tiap kualitas lingkungan air.

3. Teori Dasar

3.1 Korosivitas air

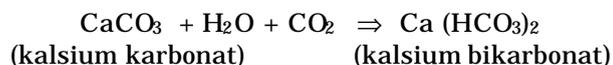
Merupakan kemampuan suatu lingkungan dalam kondisi tertentu menjadi penyebab proses korosi dengan laju tertentu. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosivitas lingkungan air terbagi menjadi 3 karakteristik, yaitu :

- karakteristik fisik meliputi kecepatan aliran dan temperatur air.
- karakteristik kimia meliputi pH, konsentrasi karbon dioksida dan alkalinitas air.
- karakteristik biologi meliputi jumlah mikro-organisme aerob maupun anaerob dalam lingkungan air.

Laju kimia termasuk reaksi korosi akan semakin besar dengan naiknya temperatur sehingga mendorong terjadinya reaksi oksidasi pada logam atau meningkatkan kemampuan lingkungan untuk mengoksidasi logam

Derajat keasaman mempengaruhi proses korosi karena pH menunjukkan konsentrasi ion H^+ dalam air dan menghasilkan pelepasan elektron oleh logam pada reaksi anodik. Pada saat air mempunyai $pH < 5$, tembaga terkorosi cepat dan merata, sedangkan saat $pH > 9$ tembaga terproteksi. Antara $5 < pH < 9$, korosi lubang akan terjadi jika tidak terdapat lapisan film pelindung pada permukaan tembaga⁴⁾.

CO_2 sangat mudah larut dalam air ber-temperatur rendah dan membentuk asam karbonat, dengan pH 5,5 hingga 6. Kelarutan kalsium karbonat dalam rendah, karena itu lapisan kerak mengendap dari bikarbonat yang dihasilkan melalui reaksi dengan CO_2 . Ketika temperatur larutan tinggi atau mengalami kekurangan karbon dioksida dalam larutan maka reaksi akan bergeser ke kiri dan kalsium karbonat akan mengendap.



Seandainya karbon dioksida yang terlarut terlalu sedikit, kerak tidak akan terbentuk. Akan tetapi bila berlebihan, kerak yang sudah terbentuk terlarut kembali dalam asam sehingga logam tidak terlindungi lagi⁵⁾.

3.2 Inhibitor asam askorbat

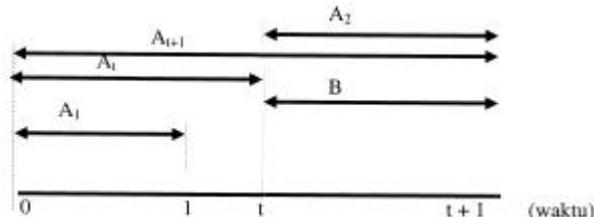
Salah satu contoh inhibitor organik adalah asam askorbat (vitamin C). Kristal asam askorbat ini memiliki sifat stabil di udara, tetapi cepat teroksidasi dalam larutan dan

dengan perlahan-lahan berdekomposisi menjadi dehydro-ascorbic acid (DAA)¹⁾. Selanjutnya secara berurutan akan berdekomposisi lagi menjadi beberapa molekul asam dalam larutan sampai menjadi asam oksalat (oxalic acid) dengan pH di atas 4.

Efisiensi inhibisi menunjukkan persentase penurunan laju korosi logam pada lingkungan yang menggunakan inhibitor dibanding dengan lingkungan tanpa inhibitor. Sedangkan perhitungan laju korosi logam dalam penelitian dilakukan dengan metode kehilangan berat.

3.3 Planned - interval test

Metode ini diperkenalkan oleh Watcher dan Treseder tentang proses korosi melalui tes laboratorium yang digunakan untuk mengevaluasi korosi logam dan korosivitas lingkungan dengan interval waktu tertentu. Dalam hal ini korosi logam dipengaruhi oleh pembentukan lapisan film proteksi dan kerak (scale), sedangkan korosivitas lingkungan dipengaruhi oleh konsentrasi larutan dan adanya inhibisi.



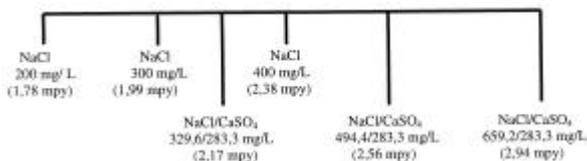
Gambar 1. Metode *Planned-Interval Test*

4. Pembahasan

4.1 Pengaruh konsentrasi klorida (Cl^-) pada laju korosi

Bertambahnya konsentrasi ion Cl^- pada lingkungan yang mengandung ion sulfat akan menyebabkan laju korosi tembaga semakin besar. Karena ion klorida merupakan ion agresif dari golongan asam kuat yang berkemampuan merusak lapisan film oksida logam. Tembaga dan paduannya mempunyai lapisan oksida (CuO) sebagai produk korosi yang melekat pada permukaan logam. Lapisan oksida ini akan hancur oleh adanya konsentrasi ion klorida yang tinggi⁶⁾. Semakin besar konsentrasi ion klorida maka semakin besar kemungkinan ion-ion ini yang teradsorpsi ke permukaan logam dan melakukan sejumlah kerusakan lapisan CuO . Sehingga mengakibatkan terjadinya kontak langsung antara permukaan logam dengan lingkungan.

Ion SO_4^{2-} diperkirakan berkontribusi terhadap laju korosi tembaga. Akan tetapi sejauh mana peran ion-ion sulfat tidak dapat dibahas lebih jauh ketika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya⁶⁾.



Gambar 2. Perbandingan laju korosi untuk konsentrasi NaCl dan campuran NaCl - CaSO₄

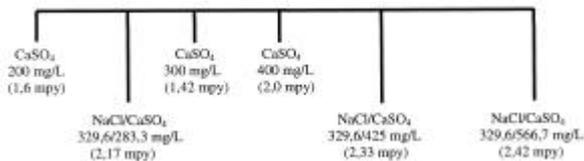
Laju korosi tembaga untuk semua konsentrasi AA meningkat sejalan dengan bertambahnya konsentrasi Cl⁻, sama dengan ketika lingkungan tidak menggunakan AA. Pada lingkungan dengan konsentrasi AA 50 ppm untuk konsentrasi NaCl (329,6 ; 494,4 ; 659,2 mg/L) menghasilkan laju korosi secara berurutan, yaitu 2,36 ; 2,66 ; 3,20 mpy. Tetapi pada penelitian sebelumnya⁶⁾, didapatkan laju korosi lebih kecil (1,36 mpy) untuk konsentrasi NaCl yang lebih besar yaitu 400 mg/L. Hal ini diperkirakan adanya konsentrasi SO_4^{2-} dan ion Cl⁻ secara bersamaan memperkuat serangan korosi pada permukaan logam.

4.2 Pengaruh konsentrasi sulfat (SO_4^{2-}) pada laju korosi

Jika konsentrasi ion sulfat dinaikkan pada lingkungan yang mengandung NaCl menyebabkan laju korosi tembaga semakin meningkat. Namun, kenaikan laju korosi ini tidak sebesar jika ditambahkan konsentrasi ion klorida pada lingkungan yang mengandung konsentrasi ion sulfat. Hal ini diperlihatkan pada tabel 2, bahwa laju korosi untuk lingkungan dengan konsentrasi Cl⁻ 200 mg /L ke 300 mg/L dengan konsentrasi SO_4^{2-} yang sama 200 mg/L adalah meningkat dari 1,2 mpy menjadi 1,56 mpy. Dan sebaliknya untuk lingkungan konsentrasi SO_4^{2-} 200 mg/L ke 300 mg/L pada konsentrasi Cl⁻ yang sama 200 mg/L adalah 1,2 mpy menjadi 1,31 mpy. Hal ini menjadi bukti bahwa ion-ion klorida memang lebih agresif dibandingkan ion-ion sulfat. Karena dengan penambahan konsentrasi NaCl, laju korosinya akan lebih besar dibandingkan dengan penambahan CaSO₄.

Pada penelitian sebelumnya⁶⁾, terjadi penurunan laju korosi dari 1,6 mpy menjadi 1,42 mpy ketika konsentrasi CaSO₄ ditingkatkan dari 200 mg/L menjadi 300 mg/L. Hal disebabkan ion agresif pada konsentrasi CaSO₄ yang rendah akan menyerang lapisan pelindung

logam. Sementara itu pada konsentrasi yang tinggi, CaSO₄ justru berfungsi sebagai inhibitor^{2,18)}. Anion inhibitif diadsorpsi ke bagian-bagian lapisan yang lemah permukaan logam. Kemudian anion ini akan merintang melarutnya anodik logam dan memungkinkan terjadinya pembentukan oksida yang akan memperkuat lapisan tersebut. Walau bagaimanapun peran inhibitif sebagian anion yang sangat lemah dapat dianggap agresif terhadap lapisan pasif⁹⁾.



Gambar 3. Perbandingan laju korosi untuk konsentrasi NaCl dan campuran NaCl- CaSO₄

4.3 Pengaruh perubahan korosivitas lingkungan pada laju korosi

Penurunan pH secara drastis terjadi setelah pencelupan hari pertama. Kemudian cenderung konstan mulai hari ke - 2 sampai hari ke -15. Penurunan pH ini disebabkan terjadi hidrolisis antara ion-ion logam dengan molekul-molekul air yang menghasilkan ion-ion hidrogen yang mengurangi pH²⁾. Selain itu dekomposisi AA menjadi DAA yang menyebabkan penurunan pH. Karena dengan adanya DAA ini memungkinkan terjadinya dekomposisi kembali menjadi beberapa asam lainnya, misalnya asam oksalat.

Pada interval waktu (0-10) hari dimana perubahan pH dapat terlihat pada hari ke - 5 sampai hari ke - 10 dimana cenderung konstan. Ini menunjukkan reaksi hidrolisis mulai berkurang, akibat pembentukan produk korosi pada permukaan tembaga yang menghalangi ion-ion logam untuk bereaksi dengan air. Sehingga pembentukan ion H⁺ juga berkurang dan tidak menimbulkan perubahan yang banyak pada pH lingkungan. Perbedaan laju korosi antara interval waktu (0-10) hari dengan interval waktu (0-5) hari mengalami penurunan yang kecil.

Perubahan korosivitas lingkungan berhubungan dengan perubahan nilai konduktivitas lingkungan. Semakin tinggi nilai konduktivitas lingkungan maka semakin tinggi pula tingkat korosivitasnya. Sehingga perpindahan elektron terjadi lebih mudah. Hal ini mendukung terjadinya proses korosi tembaga.

Sama seperti dengan lingkungan tanpa AA, perubahan pH secara drastis terjadi pada hari

ke-1 untuk berbagai konsentrasi AA. Ini disebabkan disamping karena reaksi hidrolisis yang menyebabkan penurunan pH, juga terjadi dekomposisi AA menjadi DAA. DAA ini selanjutnya menjadi beberapa asam, diantaranya asam oksalat. Asam oksalat akan mempengaruhi keasaman lingkungan sehingga korosivitas lingkungan meningkat.

4.4 Pengaruh perubahan perilaku korosi logam pada laju korosi

Laju korosi tembaga paling besar terjadi pada pencelupan interval waktu (0-5) hari. Hal ini disebabkan permukaan logam yang awalnya bersih, belum terbentuk produk korosi yang melekat kuat di permukaan sebagai lapisan pelindung. Sehingga pada saat pencelupan pertama kali masih efektif untuk mengadakan kontak dan bereaksi secara langsung dengan lingkungan.

Pada pencelupan interval (0-10) hari, terjadi sedikit penurunan perbedaan laju korosi dibanding pencelupan interval waktu (0-5) hari. Hal ini disebabkan adanya produk korosi yang sudah terbentuk sejak awal pada permukaan logam. Produk korosi ini akan mengurangi kemungkinan permukaan logam kontak langsung dengan lingkungan. Demikian juga terjadi pada pencelupan interval (0-15) hari, dimana penurunan perbedaan laju korosi lebih besar lagi dibandingkan interval (0-10) hari.

Namun pada pencelupan interval waktu (10-15) hari terjadi peningkatan laju korosi paling besar dari ketiga interval waktu di atas. Disamping disebabkan adanya perubahan pH lingkungan karena proses hidrolisis, juga yang paling penting adalah logam yang masih bersih (baru) dicelupkan pada lingkungan yang sudah sangat korosif lebih dahulu. Akibatnya reaksi korosi yang terjadi lebih hebat dan efektif.

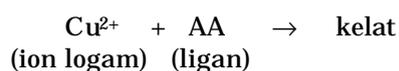
4.5 Pengaruh konsentrasi Asam Askorbat (AA) pada laju korosi

Penambahan 50 ppm dan 100 ppm asam askorbat pada semua lingkungan air yang mengandung klorida dan sulfat menyebabkan laju korosinya semakin besar. Ini berarti konsentrasi asam tersebut belum melakukan inhibisi. Karena dalam jumlah tersebut, AA yang teradsorpsi ke permukaan tembaga masih terlalu sedikit. Sehingga permukaan logam yang belum dilindungi masih banyak dan akibatnya berkontak langsung dengan lingkungan. Bahkan dengan hadirnya AA, justru sifat mudah berdekomposisinya menjadi *dehydro-ascorbic acid* (DAA) akan mem-

pengaruhi kondisi lingkungan semakin asam. Akibatnya laju korosi tembaga akan semakin tinggi. Begitu pula dengan pembentukan senyawa kelat yang berasal dari reaksi antara ion logam dengan ligan AA, yang menyebabkan pelarutan logam juga.

Efisiensi inhibisi maksimum baru terjadi pada saat konsentrasi 150 ppm AA untuk beragam konsentrasi klorida dan sulfat. Karena jumlah konsentrasi AA sudah teradsorpsi pada seluruh permukaan sehingga permukaan logam terlindungi dari kontak langsung dengan lingkungan.

Pada konsentrasi AA sebesar 200 ppm terjadi kenaikan laju korosi sedikit lebih besar daripada 150 ppm, tetapi masih lebih kecil dibandingkan penambahan 50 dan 100 ppm AA. Hal ini disebabkan permukaan logam yang belum dilindungi akan bereaksi dengan AA yang bebas membentuk senyawa kelat. Terbentuknya senyawa ini menyebabkan laju korosi tembaga meningkat kembali.



Efisiensi inhibisi AA juga dipengaruhi oleh waktu. Urutan interval waktu yang menghasilkan inhibisi dari maksimum ke minimum adalah (0-5) hari, (0-10) hari, (0-15) hari. Hal ini disebabkan produk korosi (CuO) yang terbentuk dipermukaan sudah semakin banyak sampai dengan hari ke-15. Adanya produk korosi akan menghalangi adsorpsi AA pada permukaan logam dan akibatnya efisiensi inhibisi berkurang.

5. Kesimpulan

Besar laju korosi tembaga dalam lingkungan air yang mengandung klorida dan sulfat bergantung pada konsentrasi NaCl , konsentrasi CaSO_4 , ppm asam askorbat (AA) yang ditambahkan, serta lamanya interval waktu pencelupan. Kebersamaan NaCl dan CaSO_4 dalam lingkungan air ternyata sangat mempengaruhi laju korosi tembaga. Dan pada umumnya laju korosi tembaga yang diperoleh jauh lebih besar dibandingkan laju korosi tembaga pada lingkungan masing-masing, yaitu lingkungan NaCl saja atau lingkungan CaSO_4 .

Kebersamaan NaCl dan CaSO_4 dalam lingkungan air justru berimbang pada jumlah ppm asam askorbat yang harus ditambahkan agar laju korosi tembaga menurun. Jumlah inhibitor asam askorbat kurang atau lebih dari 150 ppm, akan menyebabkan laju korosi

tembaga semakin besar. Sehingga inhibisi maksimum yang dicapai dalam penelitian ini adalah 150 ppm.

Konduktivitas listrik dan pH mempengaruhi korosivitas lingkungan air. Sehingga semakin besar konduktivitas listrik maka laju korosi tembaga akan semakin tinggi. Dan disamping itu korosivitas lingkungan juga dipengaruhi adanya proses hidrolisis dan dekomposisi AA menjadi DAA.

Perbedaan peningkatan laju korosi tembaga tiap interval waktu pencelupan bervariasi besarnya. Perbedaan peningkatan laju korosi tembaga yang paling besar adalah pencelupan pada interval waktu (0-5) hari. Kemudian perbedaan peningkatan laju korosi semakin mengecil dengan urutan interval waktu pencelupan (0-10) hari, (0-15) hari dan paling kecil adalah (10-15) hari.

Daftar Pustaka

1. Annual Books of ASTM Standards, *Wear and Erosion: Metal Corrosion*, vol 03.20, New York : ASTM International, 1990.
2. Annual Books of ASTM Standards, *Water (II)*, vol 11.02, New York: ASTM International, 1990.
3. ASM Handbook, *Corrosion*, 3rd ed., New York: ASM International, 1992.
4. Bofardi, B.P., *Control of Environmental Variables in Water Recirculating Systems*, New Jersey : Noyes Publications, 1985.
5. Hariyono, H., *Studi Pengaruh Variasi Lingkungan Terhadap Efisiensi Asam Askorbat (vitamin C) Pada Laju Korosi*, Surabaya: Universitas Kristen Petra, 1998.
6. Fontana, M.G., *Corrosion Engineering*, 3rd ed., New York: Mc Graw Hill Company, 1987.
7. Singley, J. E., et al., *Corrosion Prevention and Control in Water Treatment and Supply Systems*, New Jersey : Noyes Publications, 1985.
8. Sekine, I., *Corrosion Inhibition of Steel by Organic Inhibitors*, Japan: Industrial Technology Development Institute Department Of Science and Technology, 1994.
9. Trethewey, K.R., et al., *Korosi: Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa. Alih bahasa oleh Alex Tri Kantjono Widodo*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1991.

Lampiran

Tabel 2. Laju Korosi dalam Berbagai Konsentrasi Cl⁻, SO₄²⁻ (mg/L), AA (ppm) dan Interval Waktu.

Konsentrasi Cl ⁻ / SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Konsentrasi Asam Askorbat														
	0 ppm			50 ppm			100 ppm			150 ppm			200 ppm		
	0-5	10-15	Selisih 10-15	0-5	10-15	Selisih 10-15	0-5	10-15	Selisih 10-15	0-5	10-15	Selisih 10-15	0-5	10-15	Selisih 10-15
200 / 200	1.20	4.15	0.14	2.16	4.22	0.07	2.34	4.62	0.42	2.38	0.47	0.68	3.63	0.38	
200 / 300	1.31	4.25	0.04	2.51	4.50	0.02	2.52	4.97	0.50	2.44	0.67	0.73	3.99	0.18	
200 / 400	1.42	4.41	0.01	2.56	4.67	0.09	2.61	5.00	0.33	2.57	0.91	0.91	4.24	0.18	
300 / 200	1.56	4.62	0.10	2.58	4.73	0.12	2.77	5.44	0.33	2.58	0.96	0.99	4.45	0.02	
300 / 300	1.72	4.83	0.11	2.63	4.82	0.16	2.80	5.48	0.34	2.62	1.05	1.17	4.65	0.11	
300 / 400	1.83	5.02	0.18	2.75	5.17	0.37	2.85	5.80	0.21	2.94	1.11	1.41	4.65	0.15	
400 / 200	1.87	5.22	0.31	2.76	5.30	0.39	3.07	5.87	0.24	3.07	1.19	1.63	4.85	0.11	
400 / 300	1.91	5.45	0.27	2.69	5.48	0.32	2.87	5.84	0.34	3.12	1.48	1.71	4.89	0.07	
400 / 400	2.01	5.73	0.30	2.53	5.33	0.36	2.79	5.75	0.37	3.34	1.51	1.73	4.97	0.16	