PENELITIAN PENGARUH ANTI BEKU ETHYLENE GLYCOL TERHADAP SIFAT KOROSIF PENDINGIN MESIN PADA LOGAM-LOGAM SISTEM PENDINGIN OTOMOTIF

Oleh :
Sri Bimo Pratomo ^{*)} Hafid Abdullah ^{**)}

INTISARI

Korosi adalah proses alami yang terjadi pada material logam dan berinteraksi dengan lingkungan agresif, serta mengakibatkan degradasi kekuatan pada material logam. Proses korosi sangat sulit dihindari, akan tetapi untuk menghambat laju korosi yang terjadi adalah dengan cara melakukan pencegahan. Untuk contoh kasus, digunakan 6 jenis logam, yaitu (1) tembaga, (2) solder, (3) kuningan, (4) baja, (5) besi tuang dan (6) aluminium di dalam sistem pendingin mesin otomotif dalam medium yang mengandung ethylene glycol guna mengetahui penyebab terjadinya korosi. Penambahan ethylene glycol sebagai anti beku ke dalam mesin pendingin dimaksudkan agar kendaraan dapat bekerja sepanjang tahun, terkecuali di musim dingin, namun dapat menyebabkan korosi. Eksperimen yang dilakukan adalah melalui pengujian skala laboratorium memakai tabung gelas, selanjutnya logam-logam dihubungkan secara galvanis di dalam satu bundle dicelup pada temperatur 71 °C selama 336 jam dalam kondisi aerasi. Laju korosi dianalisis dengan metode komposisi kimia, metalografi, uji nilai ph, uji celup dan uji potensial logam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendinginan mesin pada logam baja, besi tuang, aluminium dan solder yang mengandung ethylene glycol mempunyai pengaruh terhadap menghambatnya laju korosi yang besar pada sistem pendingin otomotif, namun kuningan dan baja relatif kecil karena mempunyai sifat tahan korosi yang tinggi.

Kata kunci-kata kunci : korosi, ethylene glycol, sistem pendingin otomotif.

ABSTRACT

Corrosion is a natural process that affects the strength of metal material, caused by interaction between aggressive environments. It is difficult to avoid corrosion process, but to hold the corrosion rate could be used for the corrosion prevention. For example, implementation was applied to 6 metal types, that are (1) copper, (2) solder, (3) brass, (4) steel, (5) cast iron and (6) aluminium in automotive machine coolant system within medium consists of ethylene in order to find out the cause of the corrosion. The addition of ethylene glycol as anti freeze into the coolant machine is intended for the vehicle to run well along the year, except in the winter season. However it still can cause the corrosion. Experiment have been conducted through laboratory scale testing using glass tube, then the metals are connected in galvanic manner within one bundle and immersed at temperature 71 °C for 336 hours in aeration condition. The corrosion rate is analyzed with chemical composition method, metalography, ph test, dye test and metal potential test. Result of research showed that machine coolant on steel metal, cast iron, aluminium and solder which consists of ethylene glycol has a considerable effect to slow the corrosion rate at automotive coolant system, however the brass and steel are relatively smaller because of its high corrosion resistance characteristic.

Keywords : corrosion, ethylene glycol, automotive coolant system.

I. PENDAHULUAN

Korosi dapat didefinisikan sebagai proses penurunan atau kerusakan suatu material logam yang ditimbulkan oleh reaksi logam dengan lingkungan sekitarnya, sehingga untuk menahan laju korosi perlu upaya pencegahannya^(1,2). Lingkungan yang dapat menyebabkan timbulnya kerusakan logam dalam menjalankan fungsinya, ruang lingkupnya sangat luas antara lain udara dan uap air, larutan berair, suhu tinggi, biologi, mekanis dan sebagainya.

Mekanisme korosi pada logam yang disebabkan oleh karena adanya aksi dari lingkungannya dapat berdiri sendiri juga dapat bersifat tumpang tindih antara satu mekanisme dengan mekanisme yang lainnya. Aksi dari lingkungannya yang dapat berdiri sendiri diantaranya adalah lingkungan korosi suhu tinggi dan lingkungan mekanis. Korosi suhu tinggi, misalnya pada lingkungan atmosfer bertemperatur tinggi pada cerobong gas buang dari dapur peleburan di dominasi oleh mekanisme reaksi kimia. Lingkungan mekanis pada komponen mesin yang mengalami keausan, di dominasi oleh mekanisme pengikisan. Aksi dari lingkungannya yang bersifat tumpang tindih contohnya adalah korosi dilingkungan atmosfer, korosi retak tegang, korosi bawah tanah dan lain sebagainya.

Sebagai upaya membantu industri otomotif nasional dalam mengambil keputusan memilih bahan *engineering* yang tepat guna untuk penggunaan komponen (suku cadang) kendaraan bermotor yang dibuatnya sehingga mutunya memberikan kepuasan pada konsumen. Maka dilakukan penelitian pengaruh *ethylene glycol* terhadap penyebab terjadinya korosi pada logam-logam sistem pendingin otomotif dengan tujuan kendaraan dapat digunakan sepanjang tahun, terkecuali pada musim dingin⁽³⁾.

Ethylene glycol sering ditambahkan kedalam pendingin mesin untuk menurunkan titik beku dan meningkatkan titik didih dari air pendingin. Terbukti dengan penambahan 50 % *ethylene glycol* ke dalam campuran air pendingin, pada tekanan 15 psi, air pendingin membeku pada temperatur -34°C dan mendidih pada temperatur 129°C ⁽⁴⁾.

Masalah yang timbul dengan pemakaian campuran anti beku adalah ditemukan terjadinya korosi berlebih pada bagian logam *ferrous* di dalam beberapa bulan pemakaian kendaraan⁽⁵⁾. Sering terjadi *acidification* dari air pendingin yang disebabkan oleh *glycol*⁽⁶⁾.

Pemakaian *ethylene glycol* di daerah yang tidak memiliki musim dingin adalah tidak tepat guna. Karena itu menarik untuk meneliti perbandingan pengaruh pendingin mesin yang memakai dan tidak memakai *ethylene glycol* terhadap sifat korosifnya pada logam-logam sistem pendingin otomotif.

II. LANDASAN TEORI

2.1. Sistem Pendingin Mesin Otomotif

Di dalam mesin *automobile* temperatur ujung pembakaran dapat mencapai 3.300°C dan temperatur rata-rata ruang pembakaran adalah sekitar 800°C . Temperatur untuk mesin diesel dapat lebih tinggi⁽⁴⁾. Mesin hanya merubah sekitar sepertiga dari energi panas yang dihasilkan menjadi energi mekanis. Sisa energi panas yang ada harus dibuang agar mesin dapat beroperasi dengan efisien. Karena itu sistem pendingin sangat penting untuk mengontrol sistem pembakaran.

Pendingin (*coolant*) bersirkulasi di dalam mesin melalui *water jackets* untuk menyerap panas. Pendingin juga bersirkulasi melalui *radiator* yang terletak di luar mesin, agar pendingin dapat berhubungan ke sirkulasi udara terbuka. Dari mesin pendingin menuju *radiator*, udara menyerap panas dari pendingin, kemudian pendingin kembali ke mesin untuk menyerap panas lagi, seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Gambar 1. Sirkulasi pendingin pada mesin dan radiator ⁽⁴⁾.

Pendingin mesin (*engine coolant*) umumnya bukan merupakan air murni, tetapi campuran air, *ethylene glycol*, dan inhibitor korosi ⁽⁴⁾. Air murni adalah pemindah panas yang baik, tetapi menyebabkan karat dan korosi pada *water jackets*. Juga pada musim dingin, air akan membeku yang menyebabkan kerusakan pada mesin dan bagian-bagian sistem pendingin. Larutan *ethylene glycol* bukan sebagai pemindah panas sebaik air, tetapi membeku pada temperatur yang lebih rendah dan mendidih pada temperatur yang lebih tinggi. Sedangkan inhibitor korosi akan melindungi bagian-bagian sistem pendingin dari serangan korosi.

Kebanyakan produsen mobil menyarankan campuran sekitar 50 % air dan 50 % *ethylene glycol* ⁽⁴⁾. Pada campuran tersebut dengan tekanan 103 kPa, akan membeku pada temperatur -34 °C dan mendidih pada temperatur 129 °C. Jika mobil dijalankan pada musim dingin, dapat lebih banyak *ethylene glycol* yang digunakan.

2.2. Anti Beku *Ethylene Glycol*

Ethylene glycol tidak berwarna, tidak berbau, larut dalam air, alkohol dan *acetone*. Sifat-sifat fisik *ethylene glycol* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik *ethylene glycol* ⁽⁷⁾

Boiling point	470.3 K
Solidification/melting point	260.3 K
Density at 293 K	1.1135 g cm ³
Vapor pressure at 293 K	0.0053 kPa
Viscosity at 293 K	0.0210 Ns mm ⁻²
Ignition temperature	683.0 K
Lower explosive limit in air	3.2 percent by volume

Nama sinonim dari *ethylene glycol* diantaranya adalah 1,2-dihydroxyethane, 1,2-ethandiol, *ethylene alcohol*, dan *monoethylene glycol*. Sedangkan rumus kimia *ethylene glycol* adalah C₂H₄O₂ ⁽⁸⁾. Karena titik didihnya relatif tinggi *ethylene glycol* biasa dipakai sebagai *agent* antibeku yang tidak mudah menguap untuk larutan pendingin mesin *automobile*, sistem *refrigeration* dan sebagainya ⁽⁹⁾. Pada tabel 2 adalah sifat-sifat fisik dari campuran *ethylene glycol* dengan air.

Tabel 2. Sifat fisik campuran *ethylene glycol* dengan air

Concentration %	Viscosity at 293 K cP	Boiling Point K	Freezing Point K	Ice Flocking Point K ⁽⁹⁾
10	1.37	374	269(2.0)**	269
20	1.71	375	264(1.1)**	264
30	2.20	377	258(0.6)**	256
40	2.93	379	249(0.45)**	246.9
50	3.60	381	237(0.40)**	234.1
60	5.21	384	221	225

Kelemahan *ethylene glycol* adalah mudah teroksidasi dengan meningkatnya temperatur, dan kemudian mengalami autoksidasi dengan membentuk *asam oxalic* dan *asam formic* yang dapat menyerang material ⁽⁷⁾.

Selain itu *ethylene glycol* dapat menyebabkan korosi karena pembentukan senyawa dengan ion logam, sehingga terjadi pelarutan produk korosi seperti hidroksida pada permukaan logam. Hal ini menyebabkan tidak adanya lapisan pelindung pada permukaan logam sehingga dapat terjadi korosi ⁽⁷⁾. Untuk mencegah korosi di dalam pemakaian sebagai larutan anti beku, maka harus ditambahkan *inhibitor* korosi.

2.3. Pengujian Pendingin Mesin Otomotif

Pengujian untuk menentukan pengaruh sifat korosif pendingin mesin terhadap logam semakin dibutuhkan setelah adanya penambahan campuran antibeku ke sistem pendingin agar kendaraan dapat dijalankan pada musim dingin. *Glycerine* adalah salah satu produk yang pertama digunakan untuk menurunkan titik beku pendingin, ditemukan dapat menyebabkan korosi berlebih pada logam *ferrous* untuk pemakaian beberapa bulan dari kendaraan ⁽¹⁰⁾.

1. Metode pengujian dapat dibagi di dalam 4 kategori pengujian, yaitu : (a) pengujian laboratorium memakai tabung gelas, (b) pengujian menggunakan simulasi mesin, (c) pengujian menggunakan *dynamometer*, (d) pengujian di dalam kondisi operasi ⁽¹¹⁾.
2. Pengujian laboratorium memakai tabung gelas : sederhana, biaya murah, waktu relatif pendek, mudah dikombinasikan memakai parameter pengujian yang luas, dan kemudahan operasi ⁽¹²⁾. Pengujian biasanya terdiri dari pencelupan satu atau beberapa spesimen logam uji di dalam volume kecil dari larutan selama waktu tertentu. Standar pengujian jenis ini diantaranya adalah *JIS K 2234*, yaitu pencelupan gabungan (*bundle*) dari 6 logam yang berbeda, yang dibagi dalam 2 set yang terdiri masing-masing 3 logam di dalam hubungan *galvanic*, di dalam larutan yang

terdiri dari 30 % pendingin dan 70 % larutan korosif (gambar 2 dan gambar 3). Temperatur dijaga konstan (71 °C) selama dua minggu dalam kondisi aerasi.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Berdasarkan sifat masalahnya metode penelitian ini dikategorikan pada penelitian eksperimental yang bertujuan untuk membandingkan pengaruh pendingin mesin yang mengandung *ethylene glycol* dengan yang tidak mengandung *ethylene glycol* terhadap sifat-sifat korosif logam-logam sistem pendingin otomotif. Sifat korosifitas dilihat dari laju korosi yang diperoleh pada kedua kondisi ini.

Metode pengujian yang digunakan adalah skala laboratorium memakai tabung gelas. 6 (enam) jenis logam, yaitu : (1) tembaga, (2) solder, (3) kuningan, (4) baja, (5) besi tuang, dan (6) aluminium tuang dihubungkan secara galvanis di dalam satu *bundle*, di celup dalam media celup yang terdiri dari 70 % larutan korosif dan 30 % pendingin mesin. Pencelupan pada temperatur konstan 71 °C dan dalam kondisi *aerasi*. Standar pengujian yang digunakan adalah *Japanese Industrial Standar (JIS) K 2234-1987* (gambar 2). Adapun urutan tahapan metode penelitian yang dilakukan secara skematis ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4.

Gambar 2. Peralatan pengujian standar JIS K 2234 ⁽¹³⁾.

3.1. Bahan dan Peralatan

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan dan peralatan yang dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No	Bahan
1	Logam uji : (1) tembaga, (2) solder H 30 A, (3) kuningan C 26000, (4) baja SPCC-SD, (5) besi tuang FC 20, (6) aluminium tuang.
2	Mur dan baut kuningan.
3	Pelat penyangga dari kuningan, atasnya dilubangi ϕ 6,5 mm
4	Fiberglass segi empat dengan dimensi (1,5x1,5) cm dan tebal 0,3 cm, pusatnya dilubangi ϕ 6,5 mm
5	Na ₂ SO ₄ , NaCl, NaHCO ₃ , HCl, HNO ₃ , CH ₃ COOH, Sb ₂ O ₃ , SnCl ₂ .
6	Aceton, Alkohol, air destilasi, resin.
7	Amplas : (120, 240, 360, 420, 600, 800, 1000, 1200) mesh.
8	Seal tape, kertas tissue, desiccator.

Gambar 3. Diagram alir penelitian.

Gambar 4. Diagram alir persiapan media uji

Tabel 4. Peralatan yang dipakai penelitian.

No	Peralatan
1	Heater, penampung air panas, pelampung pengontrol ketinggian air, tabung gelas untuk uji celup.
2	Thermometer, condenser, aerator.
3	gas dispersing hole, mesin amplas, timbangan metalurgi.
4	Potensial meter autoranging microvolt DMM, elektroda kalomel, pH meter, mikroskop metalurgi.
5	Jepitan mulut buaya dan kabel, selang karet, beaker glass.
6	Electric hot metal, jangka sorong, hair dryer.
7	Penabang selang karet, sikat nylon berbulu lembut.

3.2. Prosedur eksperimen

1. Persiapan logam uji :

Dimensi dari logam-logam uji adalah (2,5 x 5) cm dan bagian tengahnya dilubangi (ϕ 6,5 mm), kegiatannya terdiri dari :

- Mengamplas setiap permukaan logam uji (enam sisi) dimulai dari amplas kasar hingga amplas halus. Setelah selesai logam disimpan di dalam tempat tertutup bersama dengan *desiccator*.
- Mengamplas dasar dan puncak cincin logam, perlakuannya sama seperti prosedur a.
- Setelah siap untuk uji celup benda uji yang akan terekspos media celup diukur luas permukaannya (tidak tertutup cincin logam atau *fiber glass*). Cincin logam juga dilakukan perlakuan yang sama.

d. Mencuci logam uji dengan *acetone*, dilanjutkan dengan alkohol. Setelah itu dikeringkan memakai *hair dryer*. Logam uji disimpan kembali kedalam tempat tertutup bersama *desiccator* selama lebih dari 1 jam.

e. Menimbang berat awal masing-masing logam uji dan cincin logam.

f. Mempersiapkan mur yang telah dilapisi dengan *seal tape* agar tidak kontak dengan logam uji. Memasukkan logam uji ke dalam mur menjadi sebuah *bundle* dengan urutan sebagai berikut (gambar 2) : (1) pelat pejangga kuningan, (2) *fiber glass*, (3) tembaga, (4) cincin kuningan 1, (5) solder, (6) cincin kuningan 2.

2. Persiapan larutan celup :

Larutan celup yang dipakai ada 3 macam, yaitu : (a) larutan korosif, (b) 70 % volume larutan korosif ditambah 30 % volume pendingin mesin merk *RFA*, (c) 70 % volume larutan korosif ditambah 30 % volume pendingin mesin merk *Prestone*.

Larutan korosif adalah larutan air destilasi yang mengandung masing-masing 100 ppm ion-ion sulfat, khlorida dan bikarbonat, adapun cara pembuatannya adalah sebagai berikut :

- a. Membuat konsentrat larutan korosif :
 - Menimbang zat-zat : 1480 mg sodium sulfat, 1650 mg sodium khlorida, 1380 mg sodium bikarbonat.
 - Mempersiapkan air destilasi sebanyak 1 liter.
 - Melarutkan zat-zat di atas kedalam beaker gelas dengan sebagian air destilasi yang telah dipersiapkan.
 - Memasukkan larutan dalam *beaker* ke dalam sisa air destilasi. Konsentrat larutan korosif telah siap.
- b. Membuat larutan korosif :
Bila akan dipakai dibuat campuran 1 bagian volume konsentrat dengan 9 bagian volume air destilasi.
3. Memasang peralatan dan bahan pengujian celup :
Prosedur pemasangan peralatan dan bahan untuk pengujian celup adalah sebagai berikut (lihat gambar 2) :
 - a. Memasang *condensor*, *thermometer*, gas *dispensing hole* pada tutup tabung gelas yang telah dilubangi. Memakai resin sebagai perekat setelah resin kering, mengoleskan lem besi, meyakinkan bahwa *condensor*, *thermometer*, dan gas *dispensing hole* telah terpasang kuat.
 - b. Memasukkan 750 ml larutan media celup ke dalam tabung gelas.
 - c. Memasukkan *bundle* logam uji ke dalam tabung gelas yang berisi larutan, lalu memasang tutup tabung gelas.
 - d. Meletakkan tabung-tabung gelas yang berisi logam uji ke dalam bak pemanas.
 - e. Memasang dua cabang selang karet kesumber air. Satu cabang dihubungkan ke *condenser-condenser*, satu cabang lagi dihubungkan ke pipa pelampung karet.

- f. Memasang ketinggian pelampung karet pada posisi yang tepat, untuk menjaga agar air yang menguap dapat segera diganti.
- g. Menyalakan *heater*, pasang pada temperatur 71 °C.
- h. Memasang selang karet pada masing-masing gas *dispenser hole*, lalu selang tersebut dihubungkan pada *aerator* sebagai sumber udara. Nyalakan *aerator*.
- i. Pengujian dimulai hingga waktu pengangkatan 336 jam berikutnya.
4. Mengangkat dan menimbang logam hasil uji celup :
Setelah 336 jam *bundle* logam diangkat dan logam-logam ditimbang dengan prosedur sebagai berikut :
 - a. Mengangkat *bundle* logam, lalu lepaskan masing-masing logam dan cincin logam.
 - b. Mencuci logam-logam uji dengan air dan memakai sikat *nylon* berbulu lembut untuk menghilangkan produk korosi yang tidak menempel kuat.
 - c. Mencilup tiap logam uji ke dalam larutan *pikling* yang telah dipersiapkan. Larutan *pikling* untuk setiap logam sebagai berikut :
 - Tembaga dan kuningan : 50 % HCL di dalam air, *pikling* pada temperatur kamar selama 1 hingga 3 menit.
 - Solder : asam asetat 10 % di dalam air, *pikling* pada temperatur didih selama 5 menit.
 - Baja dan besi tuang : memakai larutan *Clarke's* yaitu HCL 1 liter, Sb_2O_3 20 gr, SnCl_2 50 gr. *Pikling* pada temperatur kamar selama paling lama 25 menit.
 - Aluminium : memakai HNO_3 , *pikling* pada temperatur kamar selama 15 menit atau sampai bersih.
 - d. Setelah *pikling* mencuci logam dengan air destilasi, lalu dengan alkohol.
 - e. Mengeringkan logam uji dengan hair drier lalu simpan di dalam wadah bersama *desiccator* selama 1 jam.
 - f. Menimbang setiap logam uji. Dari selisih berat awal dan berat akhir dapat dihitung laju korosi setiap logam.

5. Mengamatan struktur makro dan mikro logam :

Untuk melihat bentuk korosi yang terjadi digunakan mikroskop metalurgi. Pengamatan struktur mikro zat etsa yang dipakai adalah : (a) Nital 2 % untuk besi, baja dan solder, (2) HF 0,5 % untuk aluminium, (c) FeCl₃ 2 % untuk tembaga dan kuningan.

6. Pengukuran nilai pH larutan :

Larutan media celup diukur sebelum dan sesudah uji celup. Pengukuran memakai pH meter.

7. Pengukuran nilai potensial logam :

Pengukuran memakai potensial meter *Autoranging microvolt DMM*, dan logam diukur di dalam setiap larutan uji. Elektroda yang digunakan adalah elektroda kalomel.

8. Pengujian komposisi larutan :

Metode pengujian yang dipakai secara spektrometri memakai alat *Inductively Couple Plasma Spectrofotometer*, dan metode khromatografi memakai alat gas *chromatografi* dan ion *chromatografi*.

9. Pengujian temperatur didih :

Temperatur didih yang diukur adalah temperatur didih setiap larutan uji. Sebagai bahan perbandingan juga diukur temperatur didih setiap *engine coolant*. Pemanasan larutan memakai *electric hot mantel*.

10. Pengujian komposisi logam :

Dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Metalurgi Puspitek Serpong. Metode yang dipakai adalah analisis basah.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji : (1) nilai pH larutan, (2) nilai laju korosi, (dapat lihat pada tabel 15 – 18 terlampir) sedangkan hasil uji : (3) potensial logam, (4) komposisi pendingin otomotif yang dilakukan dilaboratorium dapat dilihat pada tabel 5 – 9. Laju korosi di dapatkan setelah menghitung selisih berat awal dengan berat setelah pencelupan, serta luas permukaan. Laju korosi dihitung memakai rumus mdd ⁽¹⁴⁾, yaitu kehilangan massa (mg) per-luas permukaan (dm²) per hari.

$$Mdd = \frac{2,40 \times 10^6 \times W}{A \times T} \quad (1)$$

Dimana :
W = kehilangan berat (gram)
A = luas (cm²)
T = Waktu (jam)

Tabel 5. Potensial logam di dalam larutan korosif

Nama logam	Nilai Potensial SCE (Mili volt)
Tembaga	+ 2,6
Solder	- 313,4
Kuningan	- 37,6
Baja	- 510
Besi tuang	- 480
Aluminum tuang	- 736,7
Cincin kuningan	- 44,1
Cincin baja	- 490

Tabel 6. Potensial logam di dalam larutan korosif dan 30 % RFA

Nama logam	Nilai Potensial SCE (Mili volt)
Tembaga	+ 47
Solder	- 36
Kuningan	- 34
Baja	- 131
Besi tuang	- 116,5
Aluminum tuang	- 493,6
Cincin kuningan	- 34
Cincin baja	- 148,9

Tabel 7. Potensial logam di dalam larutan korosif dan 30% Prestone

Nama logam	Nilai Potensial SCE (Mili volt)
Tembaga	+ 39
Solder	- 33,4
Kuningan	- 24,6
Baja	- 108,7
Besi tuang	- 99,7
Aluminum tuang	- 208,6
Cincin kuningan	- 30,5
Cincin baja	- 137,5

Tabel 8. Komposisi pendingin mesin RFA

Ethylene glycol	0 % (V/V)
Nitrit	1,6866 ppm
Khromat	0,2606 ppm
Phospat	10.880,26 ppm
Molybdate	453,65 ppm
Silikat	72,63 ppm
Borax	1.868,73 ppm
Seng	0,276 ppm

Tabel 9 Komposisi pendingin mesin Prestone

Ethylene Glycol	35,42 % (V/V)
Nitrit	0 ppm
Khromat	0 ppm
Phospat	2.905,16 ppm
Molybdate	19,27 ppm
Silikat	545,74 ppm
Borax	10.510,62 ppm
Seng	0,0256ppm

Hasil foto penampang melintang logam uji hasil uji celup selama 336 jam di dalam larutan korosif memakai tiga media celup yang berbeda setelah proses *pikling* dapat dilihat pada gambar 5 – 10.

Gambar 5. Foto struktur mikro tembaga, perbesaran 500 x

Gambar 6. Foto struktur mikro solder dengan penambahan 30 % RFA, perbesaran 500 x

Gambar 7. Foto struktur mikro kuningan, perbesaran 500 x

Gambar 8. Foto struktur mikro baja, perbesaran 500 x.

Gambar 9. Foto struktur mikro besi tuang, perbesaran 500 x

Gambar 10. Foto struktur mikro aluminium, perbesaran 500 x

Hasil pengujian : (1) titik didih dan (2) komposisi logam dapat dilihat pada tabel 10 - 16.

Tabel 10. Nilai titik didih larutan celup dan engine coolant

No.	Jenis Larutan	Titik didih (°C)
1	Water corrosive	100
2	RFA	94
3	RFA + 70 % water corrosive	97
4	Prestone	155
5	Prestone + 70 % water corrosive	120

Tabel 11. Komposisi tembaga

No.	Nama Unsur	Komposisi (% Berat)
1	Zn	0,1688
2	Sn	0,0173
3	Cu	remainder

Tabel 12. Komposisi paduan solder

No.	Nama Unsur	Komposisi (% Berat)
1	Pb	-70,305
2	Sn	29,695

Tabel 13. Komposisi paduan kuningan

No.	Nama Unsur	Komposisi (% Berat)
1	Cu	-68,106
2	Sn	31,894

Tabel 14. Komposisi baja

No.	Nama Unsur	Komposisi (% Berat)
1	C	0,22517
2	Si	0,4908
3	S	0,00197
4	P	0,0000
5	Mn	0,00799
6	Ni	0,01037
7	Cr	0,00338
8	Mo	0,0000
9	Fe	remainder

Tabel 15. Komposisi besi tuang

No.	Nama Unsur	Komposisi (% Berat)
1	C	3,35
2	Si	1,95
3	Mn	0,62
4	P	0,03
5	S	0,03
6	Fe	remainder
9	Fe	remainder

Tabel 16 Komposisi Aluminium

No.	Nama Unsur	Komposisi (% Berat)
1	Cu	0,3811
2	Mn	0,3735
3	Si	0,3861
4	Mg	0,2180
5	Al	remainder

Larutan korosif yang dipakai mengandung ion-ion Cl^- , SO_4^{2-} dan HCO_3^{2-} . Adanya ion-ion ini meningkatkan konduktivitas larutan dan meningkatkan efek galvanis.

Ion HCO_3^{2-} dapat mencegah korosi, tetapi ion Cl^- , SO_4^{2-} menyebabkan korosi. Pencegahan korosi ion HCO_3^{2-} terjadi bila ada ion Ca^{2+} , untuk membentuk lapisan CaCO_3 ⁽¹⁵⁾. Air yang digunakan dalam pengujian adalah air destilasi yang tidak mengandung ion Ca^{2+} sehingga dapat disimpulkan tidak adanya pembentukan lapisan pelindung tersebut.

Ion *khlorida* menyebabkan korosi karena kemampuannya menembus permukaan logam dan mengganggu pembentukan lapisan pelindung. Daerah yang tidak memiliki lapisan pelindung ini menjadi anodik yang dikelilingi daerah yang luas dengan lapisan pasif oksida, yang menjadi katoda. Kemungkinan korosi *pitting* dapat terjadi dengan adanya ion *khlorida* tersebut. Ion sulfat juga memiliki pengaruh yang hampir sama dengan ion Cl^- tetapi tidak terlalu besar ⁽¹⁵⁾.

Adanya aerasi pada pengujian ini juga mempercepat korosi, karena oksigen yang dibutuhkan untuk proses reduksi menjadi berlebih.

Sedangkan temperatur tinggi yang digunakan akan menyebabkan peningkatan laju difusi oksigen kepermukaan logam sehingga meningkatkan laju korosi.

Secara umum laju korosi semua logam menurun drastis setelah penambahan pendingin mesin *RFA* ataupun *Prestone* hal ini karena adanya pengaruh *inhibitor* korosi di dalam masing-masing pendingin mesin. Laju korosi diantaranya logam-logam hasil pencelupan memakai pendingin mesin *RFA* dan *Prestone* relatif tidak berbeda jauh, dengan laju korosi hasil uji celup memakai *RFA* sedikit lebih besar.

4.1. Laju Korosi Triple Galvanik Tembaga, Solder, dan Kuningan.

4.2.1. Laju Korosi pada larutan korosif.

Tembaga dan kuningan di dalam larutan korosif hanya mengalami sedikit korosi (gambar 11). Korosi terbesar terjadi pada solder (laju korosi 208,591 mdd) dan yang terkecil pada tembaga (2,829 mdd). Kuningan memiliki laju korosi 4,977 mdd. Ini sesuai dengan urutan kereaktifan logam berdasarkan nilai potensial di dalam larutan korosif, yaitu solder, kuningan dan tembaga (-313,4 mV, -37,6 mV, +2,6 mV ; SCE). Grafik potensial seluruh logam di dalam larutan korosif dapat dilihat pada gambar 12.

Gambar 11. Laju korosi *triple* galvanik tembaga, solder dan kuningan pada larutan korosif.

Gambar 12. Grafik potensial seluruh logam di dalam larutan korosif.

Tembaga adalah logam yang memiliki ketahanan korosi yang baik karena membentuk lapisan pasif yang tahan korosi. Di dalam lingkungan basah, terjadi produk korosi dari tembaga yaitu Cu_2O (kupro oksida) yang justru sebagai pelindung terhadap korosi selanjutnya (3).

Selain memiliki ketahanan korosi yang baik, di dalam *triple* logam uji memakai larutan korosif, tembaga memiliki potensial yang paling mulia sehingga laju korosi tembaga paling rendah.

Laju korosi solder paling tinggi di dalam larutan korosif. Ini dapat diramalkan sebelumnya karena solder memiliki potensial yang sangat negatif, dibandingkan tembaga dan kuningan.

Kuningan adalah paduan tembaga dan seng. Ketahanan korosi dari kuningan tidak berbeda jauh dari tembaga bila kadar seng tidak melebihi 15 %. Bila melebihi 15 % dapat terjadi *dezincification*, yaitu pelarutan selektif logam seng dari paduan kuningan. Larutan garam yang tidak bergerak atau bergerak dengan perlahan dapat menyebabkan proses *dezincification* (2).

Dari struktur mikro tidak terlihat bentuk korosi *dezincification*, sehingga penyebab utama peningkatan laju korosi kuningan (kadar seng 31,9 %) relatif terhadap tembaga disebabkan oleh pengaruh galvanik.

4.2.2. Laju Korosi Pada Larutan Korosif Memakai Pendingin Mesin

Dengan penambahan pendingin mesin baik *RFA* maupun *Preston* terjadi penurunan laju korosi seluruh logam bila dibanding tanpa penambahan. Penurunan laju korosi yang sangat drastis terlihat pada solder.

Pada larutan yang memakai *RFA* laju korosi tertinggi terjadi pada solder (6,206 mdd) yang memiliki potensial -36 mV. Sedangkan laju korosi terendah (1,723 mdd) terjadi pada tembaga dengan nilai potensial paling mulia (+47 mV). Kuningan memiliki laju korosi 4,404 mdd. Grafik potensial seluruh logam di dalam larutan korosif yang memakai *RFA* dapat dilihat pada gambar 13.

Gambar 13. Grafik potensial seluruh logam di dalam larutan korosif dengan penambahan 30 % RFA.

Penambahan pendingin mesin *Prestone* juga menyebabkan penurunan laju korosi, dengan kecenderungan yang mirip pada RFA, yaitu terbesar pada solder (3,721 mdd) dan terkecil pada tembaga (1,249 mdd). Sedangkan kuningan memiliki laju korosi 2,786 mdd. Penurunan laju korosi juga sesuai dengan peningkatan potensial ke arah nilai positif (lebih mulia). Grafik potensial seluruh logam di dalam larutan yang mengandung *Prestone* dapat dilihat pada gambar 14.

Gambar 14. Grafik potensial seluruh logam di dalam larutan korosif dengan penambahan 30 % *Prestone*.

Garam logam *bivalen*, seperti garam seng memiliki sifat perlindungan korosi terhadap tembaga dan paduannya⁽¹⁶⁾. Dengan adanya garam seng pada kedua pendingin mesin, korosi pada tembaga dan kuningan ditekan.

Logam tembaga di dalam sistem dapat dilindungi dari serangan korosi dengan adanya campuran *inhibitor khromat* dan *silikat*⁽⁶⁾. Penambahan *khromat*, *phospat*, dan *nitrit*, di dalam air laut, akan menurunkan laju korosi tembaga dengan *phospat* yang memiliki keefektifan terbaik⁽¹⁶⁾. *Khromat* memperlihatkan pengaruh yang baik terhadap perlindungan korosi sistem *triple* baja, solder, dan tembaga⁽⁶⁾.

Inhibitor khromat, *silikat*, *phospat*, *nitrit* didalam kedua pendingin mesin, terbukti menurunkan laju korosi tembaga, kuningan dan solder. Laju korosi tembaga, solder, dan kuningan hasil pencelupan memakai RFA sedikit lebih besar dari hasil pencelupan memakai *Prestone*.

4.2. Laju Korosi Triple Galvanik Baja, Besi Tuang dan Aluminium

4.2.1. Laju Korosi Pada Larutan Korosif

Korosi hebat terjadi pada *triple galvanik* ini. Korosi tertinggi pada Al (292,980 mdd) dengan nilai potensial paling reaktif (-736,7 mV) dan terendah pada besi tuang (123,110 mdd) yang memiliki potensial terendah (-480 mV). Baja memiliki laju korosi 138,344 mdd (gambar 15).

Gambar 15. Laju korosi triple galvanik baja, besi tuang, dan aluminium pada larutan korosif.

Ketika baja berada di dalam larutan korosif terjadi reaksi elektrokimia karena ketidak homogenan permukaan baja dan karena adanya hubungan dengan logam lain. Reaksi anodik yang terjadi adalah sebagai berikut⁽¹⁶⁾ :

Sedang reaksi *katodik* yang terjadi dapat disebabkan oleh ketidak homogenan permukaan dan pasangan galvanik yang terjadi adalah sebagai berikut :

Ion-ion Fe^{2+} dari korosi logam besi akan beraksi dengan ion-ion hidroksida hasil dari reduksi oksigen ⁽¹⁴⁾ :

Kemudian *ferro hidroksida* lebih lanjut teroksidasi membentuk *feri hidroksida* :

Feri hidroksida tidak stabil dan akan bertransformasi menjadi *feri oksida* terhidrasi (Fe_2O_3), yang disebut karat merah yang terlihat menumpuk pada logam uji baja dan besi.

Bentuk korosi yang terlihat pada logam uji besi tuang adalah *graphite corrosion*. Bentuk ini adalah serangan korosi berupa pelarutan selektif, dimana grafit menjadi katoda dan matrik menjadi anoda.

Di dalam larutan korosif yang menggunakan air destilasi, pembentukan kerak CaCO_3 sebagai lapisan pelindung tidak terjadi sehingga korosi dapat terjadi. Larutan korosif memiliki ion Cl^- sehingga dapat membantu proses pelarutan korosi grafit. Ion Cl^- menyebabkan terbukanya permukaan logam sehingga serangan korosi dapat terjadi. Efek *galvanik* dari logam lain tidak terjadi pada logam uji besi tuang karena memiliki potensial yang mulia.

Di dalam hubungan *galvanik* aluminium adalah logam yang reaktif. Ion-ion khlorida dapat menyebabkan korosi *pitting* pada aluminium ⁽¹⁵⁾. Dengan adanya ion Cl^- yang merupakan penyebab korosi *pitting* ditambah dengan adanya perbedaan potensial yang cukup besar antara aluminium dan besi tuang, yang menyebabkan peningkatan arus korosi, akan menyebabkan laju korosi aluminium menjadi besar.

4.2.2. Laju Korosi Pada Larutan Korosif Memakai Pendingin Mesin

Terlihat penurunan drastis laju korosi semua logam *triple galvanik* dengan adanya penambahan pendingin mesin. Pada penambahan *RFA* korosi terbesar terjadi pada aluminium (9,251 mdd) dan terkecil pada besi tuang (4,479 mdd).

Aluminium memiliki potensial paling aktif di dalam larutan yang memakai penambahan *RFA*, yaitu - 493,6 mV, diikuti oleh baja (-131 mV) dan terakhir besi tuang (-116,5 mV). Peningkatan laju korosi sesuai dengan penurunan potensial menuju negatif (paling reaktif).

Pada penambahan *Prestone* laju korosi seluruh logam menurun drastis relatif pada larutan korosif tanpa penambahan *Prestone*. Aluminium memiliki laju korosi terbesar (7,158 mdd), diikuti baja dan besi tuang (5,355 dan 3,589 mdd).

Khromat terdapat pada *RFA*, sedangkan *Prestone* tidak mengandung khromat. *Khromat* memiliki efektifitas tinggi menginhibisi korosi logam *ferrous*. *Khromat* juga terbukti dapat melindungi aluminium di dalam sistem pendingin ⁽⁶⁾. *Khromat* pada *RFA* melindungi besi, baja dan aluminium dari serangan korosi.

Nitrit adalah *inhibitor* untuk menahan korosi pada baja. Sodium nitrit adalah agent pengoksidasi untuk menghasilkan lapisan keras *ferric* oksida pada daerah anodik ⁽¹⁶⁾. Kadar nitrit tergantung pada keberadaan ion-ion agresif di dalam larutan. Ion-ion sulfat memiliki pengaruh yang lebih buruk dibandingkan ion khlorida. Konsentrasi normal adalah 500 hingga 750 ppm pada pH di atas

7,5. Nitrit dapat membantu proses *pitting* pada baja jika kadarnya di bawah konsentrasi normal ⁽¹⁵⁾. Kadar nitrit pada *RFA* hanya 1,6866 ppm, sehingga kontribusinya sebagai inhibitor tidak ada bahkan dapat menyebabkan *pitting*. Sedangkan *Prestone* tidak mengandung nitrit.

Molybdate melindungi logam *ferrous* dengan cara ion MoO_4^{2-} membentuk sebuah lapisan dengan ion Fe^{2+} yang tidak bersifat melindungi permukaan logam dari serangan korosi. Karena oksigen atau pengoksida lain yang terlarut dalam air, maka *ferrous molybdate* akan bertransformasi menjadi *ferric molybdate* yang tak larut dan melindungi permukaan logam ⁽¹⁵⁾. *Molybdate* pada kedua *engine coolant* memberikan efek inhibisi pada besi dan baja.

Phospat dan garam seng terbukti memberikan efek perlindungan pada baja karbon ⁽¹⁶⁾. Adanya *phospat* dan garam seng pada kedua pendingin mesin membantu perlindungan pada baja dari serangan korosi.

Laju korosi, besi tuang dan aluminium hasil pencelupan memakai *RFA*, sedikit lebih tinggi dari hasil pencelupan memakai *Prestone*. Sedangkan pada baja relatif sama.

4.3. Pengaruh Ethylene Glycol Pada Laju Korosi

Penambahan *ethylene glycol* pada air pendingin akan menurunkan titik beku dan meningkatkan titik didih. 50 % air dan 50 % *ethylene glycol* akan menyebabkan air pendingin membeku pada temperatur -34°C dan mendidih pada temperatur 129°C ⁽⁴⁾.

Hasil pengujian titik didih larutan *water corrosive* memakai penambahan *Prestone* diperoleh nilai titik didih 120°C . Ini memperlihatkan indikasi bahwa *Prestone* memakai *ethylene glycol* sebagai anti beku. Dari pengujian komposisi pendingin mesin, juga diperoleh hasil bahwa *Prestone* memiliki kandungan *ethylene glycol* sebesar 35,42 % (v/v).

Dengan meningkatnya temperatur, *ethylene glycol* dapat teroksidasi dan membentuk asam oksalat dan asam format yang mana kemudian menyerang material ⁽¹⁸⁾.

Mekanisme *ethylene glycol* menyebabkan korosi adalah dengan adanya pembentukan asam sehingga menyebabkan pelarutan produk korosi, seperti hidroksida, pada permukaan logam. Akibatnya permukaan logam terbuka sehingga korosi dapat berlangsung ⁽¹⁸⁾.

Laju korosi semua logam di dalam larutan yang mengandung *RFA* tanpa *ethylene glycol* terlihat justru lebih tinggi dibandingkan pada larutan yang mengandung *Prestone* dengan 35,42 % (v/v) *ethylene glycol*. Pengaruh *ethylene glycol* terhadap peningkatan laju korosi tidak terlihat.

Berdasarkan pengukuran nilai pH larutan diperoleh nilai pH awal untuk kedua larutan adalah 9,05 untuk larutan korosif dengan 30 % *RFA* dan 9,67 untuk larutan korosif dengan 30 % *Prestone*. Peningkatan nilai pH terjadi karena adanya reaksi reduksi oksigen pada logam yang menghasilkan ion OH^- . Pada larutan yang memakai *Prestone*, tidak terjadi penurunan nilai pH sebagai indikasi adanya proses oksidasi *ethylene glycol* menjadi asam oksalat dan asam format. Hal ini disebabkan karena adanya *Borax* sebagai *buffer* pada *Prestone* dengan kadar yang cukup besar yaitu 10.510,62 ppm.

4.4. Pengamatan Struktur Mikro

Dari pengamatan foto penampang melintang logam, seperti ditunjukkan pada struktur mikro gambar 9 s/d gambar 14 terlihat jelas bahwa korosi terjadi pada semua logam, kecuali tembaga dan kuningan setelah uji celup memakai larutan korosif. Sedangkan pada uji celup memakai larutan korosif ditambah pendingin mesin *Prestone* dan *RFA* tidak terlihat jelas korosi pada semua logam.

Bentuk-bentuk korosi yang terlihat pada logam-logam hasil uji celup memakai larutan korosif adalah sebagai berikut :

Struktur mikro dari permukaan tembaga dan kuningan tidak memperlihatkan korosi yang berarti.

Permukaan solder memperlihatkan korosi yang hebat. Solder memiliki potensial sangat reaktif bila dibandingkan kuningan dan tembaga sehingga korosi disebabkan oleh pengaruh galvanik.

Pada struktur mikro baja terlihat hanya terdiri dari *ferrite* (struktur feritik). Pengaruh struktur mikro terhadap laju korosi relatif kecil, karena struktur seragam. Korosi yang terlihat adalah korosi merata yang disebabkan oleh efek galvanik.

Permukaan besi tuang memperlihatkan *graphite corrosion*. Grafit yang berbentuk *flake* dari besi tuang kelabu terlihat tidak korosif, sedangkan matrik *pearlit* terkorosi. Terjadi serangan pelarutan selektif terhadap besi, dan meninggalkan jaringan grafit. Pelarutan selektif dapat terjadi karena grafit menjadi katoda terhadap besi dan struktur besi tuang kelabu membentuk sebuah sel galvanik yang sempurna, dimana grafit tersebar merata.

Struktur mikro melintang dari aluminium menunjukkan korosi yang terjadi adalah korosi merata.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Laju korosi *triple galvanik* tembaga, solder, kuningan dan *triple galvanik* baja, besi tuang, aluminium, hasil uji celup di dalam larutan korosif memakai penambahan 30 % pendingin mesin (*Prestone* maupun *RFA*), terlihat menurun bila dibandingkan hanya memakai larutan korosif.
2. Di dalam setiap pengujian celup, logam yang memiliki potensial lebih reaktif (memiliki nilai lebih negatif) dibandingkan potensial logam pasangan galvaniknya, akan mengalami laju korosi yang lebih besar.
3. Pemakaian *ethylene glycol* pada pendingin mesin *Prestone* tidak terbukti menyebabkan peningkatan laju korosi semua logam uji, bila dibandingkan dengan pendingin mesin *RFA* yang tidak memakai *ethylene glycol*.
4. Tidak terlihat adanya penurunan nilai pH setelah uji celup memakai pendingin mesin *Prestone* (mengandung *ethylene glycol*), sebagai indikasi adanya proses oksidasi *ethylene glycol* menjadi asam.

DAFTAR PUSTAKA

1. Harsito, "*Mekanisme Korosi Pada Struktur Mikro*", Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI, Kawasan Puspitek serpong, Prosiding Seminar Indonesian Microstructure Competition & Exhibition, Bandung 2003.
2. Lilis Yulisetiawati, "*Pengenalan korosi*", Diklat Dalam Negeri welding Technology For Managers and Engineers, Kerjasama MIDC-JICA Jepang, Bandung, 2000.
3. WH. Ailor, "*Handbook on Corrosion Testing and Evaluation*", John Wiley and Sons, New York, 1971.
4. Layne ken, "*Automotive Engine Performance : Tune up, testing and Service*", John Wiley & Sons, New York, 1986.
5. H.R. Wolf, "*Effect of Antifreeze Solutions On Engine Parts*", Report No. 234393, Research Laboratories, General Motors Corporation, 1926.
6. Rozenfel'd, I.L., "*Corrosion Inhibitors*", Mc. Graw Hill International Book Company, 1981.
7. Dechema Corrosion Handbook Vol.4, "*Corrosion Agent and Their Interaction With Materials*", Weinheim, 1989.
8. *Hazardous Chemicals Information Annual* No.1, Van Nostrand Reinhold Information Services, New York, 1986.
9. *Osha Regulated Hazardous Substances, Health, Toxicity, Economic and Technological Data*, Noyes Data Corporation, New Jersey, 1990.
10. H.R. Wolf, "*Effect of Antifreeze Solutions on Engine Parts*", Report No. 234393, Research Laboratories, General Motors Corporation, 1926.
11. A.T.P.B. Squires, "*Corrosion Inhibitors for Ethylene Glycol Water for Piston Engines*", SCI Monograph No. 4, The Protection of Motor Vehicles from Corrosion, Soc.Chem. Ind., Belgrave Square, London, 1958.
12. D.H. Green, J.C. Kratzer, and P.I. Emch, "*Requirements of an Engine Antifreeze and Methods of Evaluation*", ASTM Bull, 154, 1948.

13. Japanese Industrial Standard, "Engine Antifreeze Coolants JIS K 2234", Japanese Standards Association.
14. Widodo A, "Korosi ; Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan", Gramedia, Jakarta, 1988.
15. ASM Handbook Vol. 13, "Corrosion", ASM International, 1987.
16. "Kurita Handbook of Water Treatment", Kurita Water Industries Ltd.

17. Makalah, "Seminar Korosi Lingkungan Laut", 4-6 April 1979, Lembaga Metalurgi Nasional, Bandung, 1979.
18. B.G. Clublely, "Chemical Inhibitor for Corrosion Control", Ciba-Geigy Industrial Chemicals, Manchester, 1990.

^{*}) dan ^{**}) Peneliti pada Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM/MIDC) Depperindag. Bandung.

Lampiran

Tabel 15. Hasil pengukuran nilai pH media celup sebelum dan sesudah uji celup

Pengujian	Jenis Larutan	Nilai pH				Perubahan Nilai (pH2-pH1)
		Sebelum Celup	Sebelum Celup Rata-Rata (pH1)	Sesudah Celup	Sesudah Celup Rata-Rata	
I	Water Corrosive	8,25	8,245	7,79	7,795	(0,45)
II		8,24		7,80		
I	Water Corrosive Dengan 30 % RFA	9,03	9,05	9,22	9,205	0,155
II		9,07		9,19		
I	Water Corrosive Dengan 30 % Prestone	9,18	9,67	9,41	9,855	0,185
II		10,16		10,30		

Tabel 16. Laju korosi logam dalam larutan korosif

Pengujian	Jenis Material	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Luas Permukaan (cm ²)	Laju Korosi (mdd)	Laju Korosi Rata-Rata (mdd)
I	Tembaga	24,3238	24,3125	24,5058	3,294	2,829
II	Tembaga	24,4207	24,4126	24,4621	2,365	
I	Cincin					
	Kuningan I	1,1441	1,1428	1,6202	5,645	6,256
II	Cincin					
	Kuningan I	1,1890	1,1874	1,6907	6,868	
I	Solder	25,5340	24,8003	24,9932	209,686	208,591
II	Solder	31,2461	30,5039	25,5467	207,495	
I	Cincin					
	Kuningan II	1,1112	1,1112	1,5072	0	0
II	Cincin					
	Kuningan II	1,2091	1,2091	1,7477	0	
I	Kuningan	8,0851	8,0851	23,5785	4,521	4,977
II	Kuningan	7,5318	7,5128	24,9799	5,433	
I	Baja	9,1897	8,7528	22,1055	141,174	138,344
II	Baja	10,6962	10,2628	22,8419	135,515	
I	Cincin					
	Baja I	1,9054	1,18198	1,5947	383,406	377,204
II	Cincin					
	Baja I	1,8368	1,7549	1,5767	370,642	
I	Besi tuang	21,8934	21,4665	24,0189	126,952	123,110
II	Besi tuang	26,7469	26,3702	22,5607	119,268	
I	Cincin					
	Baja II	1,7200	1,16628	1,4573	280,367	273,900
II	Cincin					
	Baja II	1,9827	1,9194	1,6907	267,433	
I	Aluminium	15,8935	14,6728	29,0143	300,519	292,980
II	Aluminium	15,6425	14,6669	24,4129	285,422	

Tabel 17. Laju korosi logam dalam larutan korosif dengan 30 % *RFA*

Pengujian	Jenis Material	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Luas Permukaan (cm ²)	Laju Korosi (mdd)	Laju Korosi Rata-Rata (mdd)
I	Tembaga	26,6448	26,6393	24,3075	1,613	1,723
II	Tembaga	25,2652	25,2591	23,7652	1,833	
I	Cincin					
	Kuningan I	1,0997	1,0952	1,4946	4,506	4,236
II	Cincin					
	Kuningan I	1,2089	1,2079	1,7144	3,966	
I	Solder	34,2256	34,2029	28,2619	5,731	6,206
II	Solder	18,3150	18,2919	24,6398	6,681	
I	Cincin					
	Kuningan II	1,1415		1,5702	0	0
II	Cincin					
	Kuningan II	1,2091	1,2091	1,7477	0	
I	Kuningan	7,7559	7,7436	20,1686	4,366	4,404
II	Kuningan	8,7503	8,7349	24,7582	4,443	
I	Baja	9,2981	9,2830	21,8829	4,928	5,295
II	Baja	13,3465	13,3278	23,6092	5,662	
I	Cincin					
	Baja I	1,9378	1,9236	1,6579	61,320	68,796
II	Cincin					
	Baja I	1,8653	1,8482	1,6014	76,272	
I	Besi tuang	26,9992	26,9853	25,6359	3,864	4,479
II	Besi tuang	28,8193	28,8012	25,3801	5,094	
I	Cincin					
	Baja II	1,9370	1,9215	1,6648	66,538	69,003
II	Cincin					
	Baja II	1,8671	1,8507	1,6391	71,468	
I	Aluminium	14,9991	14,9607	28,7398	9,552	9,251
II	Aluminium	14,5062	14,4709	28,1709	8,950	

Tabel 18. Laju korosi logam dalam larutan korosif dengan 30 % *Prestone*

Pengujian	Jenis Material	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Luas Permukaan (cm ²)	Laju Korosi (mdd)	Laju Korosi Rata-Rata (mdd)
I	Tembaga	24,0378	24,0362	24,5408	0,465	1,249
II	Tembaga	23,9320	23,9251	23,2381	2,033	
I	Cincin					
	Kuningan I	0,9779	0,9775	1,3565	2,212	2,650
II	Cincin					
	Kuningan I	1,1169	1,1162	1,6081	3,088	
I	Solder	28,9642	28,9493	25,2662	4,199	3,721
II	Solder	23,9970	23,9852	25,9865	3,243	
I	Cincin					
	Kuningan II	1,1222	1,1222	1,4884	0	0
II	Cincin					
	Kuningan II	1,1418	1,1418	1,6837	0	
I	Kuningan	7,2506	7,2408	23,3506	2,997	2,786
II	Kuningan	7,3361	7,3279	22,7344	2,576	
I	Baja	10,6439	10,6286	22,3546	4,888	5,355
II	Baja	9,7687	9,7687	22,6955	5,822	
I	Cincin					
	Baja I	1,9742	1,9576	1,6837	70,225	79,161
II	Cincin					
	Baja I	1,8655	1,8452	1,6459	88,098	
I	Besi tuang	19,6686	19,6547	26,0757	3,807	3,589
II	Besi tuang	25,2572	25,2453	25,2040	3,372	
I	Cincin					
	Baja II	1,8912	1,8823	1,6835	37,654	38,124
II	Cincin					
	Baja II	1,9773	1,9681	1,7027	38,594	
I	Aluminium	16,8835	16,8556	29,1070	6,852	7,158
II	Aluminium	14,8891	14,8591	28,6871	7,465	