

KETAHANAN LOGAM ALUMINIUM DAN TEMBAGA DI ATMOSFIR DKI JAKARTA

Ronald Nasoetion dan Sundjono

Pusat Penelitian Metalurgi LIPI

Kawasan Puspiptek Serpong Ged 470, Serpong – Tangerang

e-mail : rnasoetion@yahoo.com

Intisari

Pencemaran udara yang diakibatkan oleh tumbuh pesatnya industri dan kendaraan bermotor, akan berpengaruh terhadap tingkat korosifitas lingkungan dan berpengaruh terhadap atmosfer di DKI Jakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan logam aluminium dan tembaga di beberapa lokasi di daerah DKI Jakarta dengan tingkat korosifitas berbeda. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi logam di atmosfer seperti faktor cuaca dan materi pencemaran udara; gas buangan industri dan ion klorida yang berasal dari laut. Laju korosi aluminium dan tembaga untuk keperluan industri seperti struktur serta peralatan proses lainnya diukur secara periodik dengan metoda kehilangan berat. Hasil penelitian di laboratorium menunjukkan kedua logam baik aluminium dan tembaga menurut ISO 9223 mempunyai kategori yang tinggi ($> C_5$). Sedangkan hasil penelitian lapangan menunjukkan baik untuk daerah tepi pantai, industri, perkotaan dan perumahan kategori korosi yang ditunjukkan oleh logam aluminium adalah sedang (C_3) sedangkan logam tembaga kategori korosi yang ditunjukkan oleh logam tembaga adalah tinggi (C_4-C_5).

Kata kunci : Pencemaran udara, ketahanan logam, aluminium, tembaga, tingkat korosifitas, metoda kehilangan berat.

Abstract

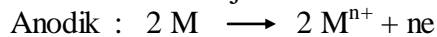
*The contamination of environmental will increase degree of corrosivity due to industrial growing and motor vehicles consuming. The aim of this research is measuring degree of atmospheric corrosivity of aluminum and copper at several locations in DKI Jakarta such as : marine, industries, urban and rural. This study concern to various factors that affect to metal corrosion rate in atmospheric, such as : climated factors, pollutant, waste gas and ion chloride from sea water. Corrosion rate of various metal for structures or process tools of industries is measured periodically by weight loss method. The result at laboratory shown both of metal using ISO 9223 have a high corrosion category ($> C_5$). While at field exposes at several location shown that aluminum using ISO 9223 have medium corrosion category (C_3) and copper have a high corrosion category (C_4-C_5).
Key words : contamination of environmental, resistant of metal, aluminum, copper, degree of corrosivity. weight loss method*

PENDAHULUAN

Struktur dan peralatan proses yang mengalami kerusakan akibat proses korosi banyak disebabkan oleh pengaruh lingkungan udara yang tercemar dan mempengaruhi atmosfer disekelilingnya. Di daerah DKI Jakarta, pencemaran lingkungan ini bertambah agresif dengan adanya materi pencemar yang berasal dari gas buangan industri seperti SO_2 , NO_x , H_2S , ion klorida (Cl), debu dan lain-lain. Bila udara mempunyai kelembaban yang cukup tinggi ($>60\%$), maka akan terjadi lapisan air pada permukaan logam yang bertindak sebagai

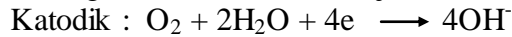
elektrolit. Korosi atmosferik akan terjadi bila ada kesetimbangan antara reaksi anodik dan katodik. ¹⁾

Reaksi anodik terjadi di daerah anoda dimana logam akan terurai menjadi ion :



M adalah logam aluminium dan tembaga.

Sedangkan reaksi katodik terjadi di daerah katoda dimana oksigen akan tereduksi :



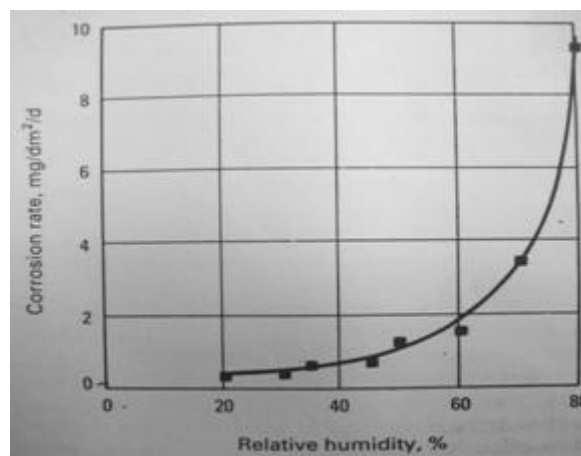
Penelitian ini akan menguji ketahanan logam aluminium dan tembaga di beberapa lokasi yang ada di DKI Jakarta. Selain percobaan lapangan dilakukan juga pengujian skala laboratorium sebagai bahan perbandingan. Untuk mengetahui ketahanan logam tersebut pada tingkat korosifitas di beberapa daerah di DKI Jakarta maka dilakukan penelitian dengan mengekspos logam pada waktu tertentu dan laju korosi dihitung dengan metoda kehilangan berat. Sedangkan untuk pengujian skala laboratorium akan dilakukan *Salt Spray test*, *humidity test* dan *UV test*. Dari hasil perhitungan laju korosi maka dapat diketahui ketahanan logam aluminium dan tembaga pada beberapa daerah di DKI Jakarta.

LATAR BELAKANG TEORI

Faktor yang mempengaruhi laju korosi logam tergantung dari tingkat korosifitas atmosfer sekitarnya. Faktor-faktor spesifik yang mempengaruhi korosifitas atmosfer adalah kelembaban nisbi (% RH), lamanya pembasahan (*time of wetness*) curah hujan, kadar debu, gas udara. Disamping itu, temperatur dan kecepatan dan arah angin, pola aliran udara di atas permukaan logam akan menentukan laju transfer kontaminan pada permukaan logam tersebut. ¹⁾

Oleh karena korosi atmosferik adalah proses elektrokimia maka adanya elektrolit sangat diperlukan. Gambar 1 ini memperlihatkan bahwa laju korosi meningkat dengan meningkatnya kelembaban.

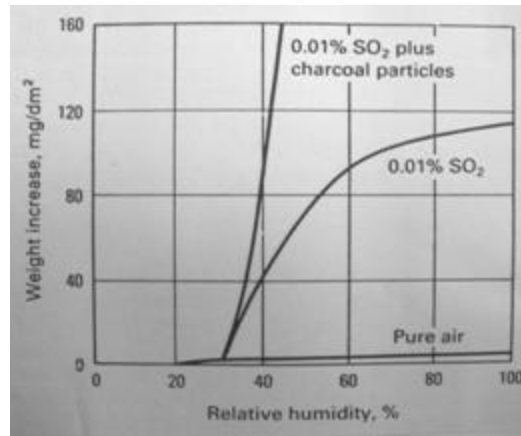
Bagi negara Indonesia yang beriklim tropis, besarnya perbedaan udara antara siang dan malam biasanya cukup besar berkisar antara 5-15°C. Pada siang hari suhu udara biasanya cukup tinggi ($\pm 30^\circ\text{C}$) dibandingkan pada waktu malam hari dimana kelembaban udara cukup untuk membentuk lapisan elektrolit. ²⁾



Gambar 1. Hubungan antara kelembaban udara dan laju korosi ²⁾

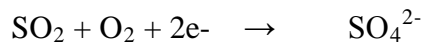
Terlihat pada gambar 1 pada kelembaban udara 40% laju korosi sekitar 1 mdd sedangkan pada kelembaban udara 80% meningkat mendekati 10 mdd.

Selain faktor-faktor tersebut di atas maka polutan hasil gas buangan industri seperti SO₂ cukup signifikan berpengaruh terhadap laju korosi, ini terlihat dari gambar 2 di bawah ini



Gambar 2. Pengaruh SO₂ terhadap laju korosi logam ²⁾

Ion sulfat (SO₄⁻) akan terbentuk pada permukaan yang basah akibat oksidasi dari sulfur dioksida



Adanya ion sulfat akan bereaksi dengan logam M membentuk MSO₄, lalu MSO₄ terhidrolisa



Penambahan tingkat keasaman ini yang menyebabkan laju korosi semakin meningkat. ²⁾

Logam aluminium mempunyai ketahanan korosi yang cukup baik pada lingkungan atmosfer yang netral dan banyak digunakan untuk bingkai jendela serta pintu pada bangunan, akan tetapi harus dihindari adanya air yang tergenang. Air yang tergenang pada logam aluminium dapat merubah pH dimana akan menyebabkan noda dan terkorosi.

Sedangkan untuk logam tembaga juga banyak digunakan pada atap rumah dan saluran pembuangan di atap, pada saat terkorosi akan terbentuk 'green patina' di permukaan logam.

Kategori dari korosi logam diberikan dalam ISO 9223 seperti terlihat pada tabel 1 di bawah ini. ¹⁾

Tabel 1. ISO 9223 Corrosion rates after one year of exposure predicted for different corrosivity classes ¹⁾

Kategori korosi	Baja mdd	Tembaga mdd	Aluminium mdd	Seng mdd
C ₁	≤ 0,2739	≤ 0,0246	negligible	≤ 0,0191
C ₂	0,3013 – 5,4794	0,0246 – 0,1369	≤ 0,016	0,0191 – 0,1369
C ₃	5,5068 – 10,9589	0,1369 – 0,3287	0,016 – 0,0547	0,1369 – 0,4109
C ₄	10,9863 – 17,8082	0,3287 – 0,6849	0,0547 – 0,1369	0,4109 – 0,8219
C ₅	17,8356 – 41,0958	0,6849 – 1,3698	0,1369 – 0,273	0,8219 – 1,6438

Keterangan C₁ = korosi rendah

C₅ =korosi tinggi

METODA PENELITIAN

Logam yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini adalah aluminium dan tembaga.

Penelitian Laboratorium

Pengujian yang dilakukan di laboratorium adalah pengujian kabut garam (*salt spray test*), pengujian kelembaban (*humidity test*) dan pengujian sinar ultra violet (*UV test*). Waktu yang digunakan untuk ketiga pengujian tersebut adalah selama 168, 336 dan 504 jam.

Penelitian Lapangan

Pengujian di lapangan dilakukan pada beberapa daerah di DKI Jakarta. Pemilihan daerah tersebut meliputi daerah tepi pantai yang diwakili di daerah P2O-LIPI Ancol-Jakarta Utara, daerah industri di daerah PT Gateka Pulogadung-Jakarta Timur, daerah perkotaan di PDII-LIPI, Jalan Gatot Subroto-Jakarta Pusat dan daerah perumahan di Pondok Indah Golf Pondok Indah-Jakarta Selatan . Pada penelitian di lapangan sampel pelat aluminium dan tembaga ditempatkan pada rak uji seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

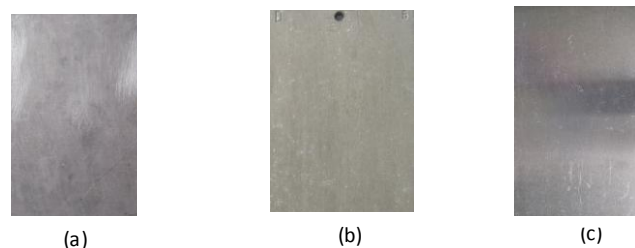


Gambar 3. Rak uji untuk sampel pelat aluminium dan tembaga yang diekspos di beberapa daerah DKI Jakarta

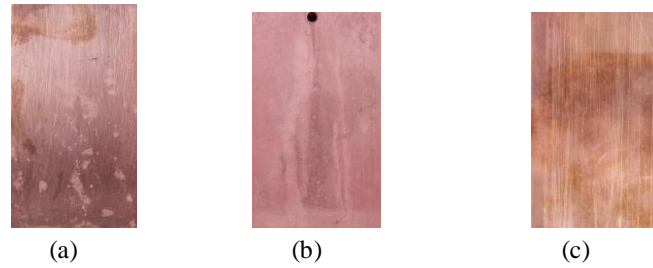
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Visual Laboratorium

Foto sampel pelat aluminium dan tembaga hasil *salt spray test*, *humidity test* dan *UV test* ditunjukkan pada Gambar 4a dan 4b, sedangkan Tabel 2 menunjukkan besarnya kehilangan berat (gram) dan laju korosi (mdd) pada sampel aluminium dan tembaga dengan pengujian *Salt Spray*.



Gambar 4a. Sampel pelat aluminium (a) hasil *salt spray test* (b) hasil *humidity test* (c) hasil *UV test*

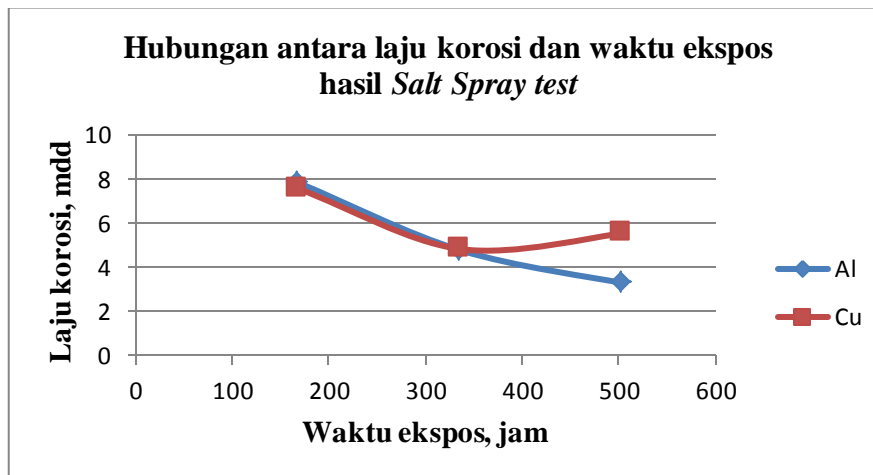


Gambar 4b. Sampel pelat tembaga (a) hasil *salt spray test* (b) hasil *humidity test* (c) hasil *UV test*

Tabel 2. Hasil *salt spray test* pada sampel pelat aluminium dan tembaga di laboratorium

Waktu Ekspos	sampel	Berat (gr)			Luas dm ²	Laju korosi mdd
		Awal	Akhir	Selisih		
168 jam	aluminium	14,8185	14,7506	0,0177	0,3217	7,8581
	tembaga	46,8911	46,8737	0,0174	0,3278	7,5819
336 jam	aluminium	15,3439	15,3218	0,0221	0,3291	4,7955
	tembaga	46,0031	45,9812	0,0219	0,3231	4,8412
504 jam	aluminium	14,9799	14,9571	0,0228	0,3284	3,3065
	tembaga	46,5226	46,4846	0,0380	0,3256	5,5571

Gambar 5 menunjukkan grafik waktu ekspos terhadap laju korosi pelat aluminium dan tembaga setelah pengujian kabut garam (*salt spray test*). Dari grafik tersebut terlihat bahwa untuk tembaga pada waktu ekspos 168 jam sebesar 7,5819 mdd dan pada 336 jam terlihat menurun hingga 4,8412 mdd lalu meningkat pada waktu ekspos 504 jam sebesar 5,5571 mdd. Sedangkan aluminium pada waktu ekspos 168 jam sebesar 7,8581 mdd dan menurun pada 336 jam sebesar 4,7955 mdd setelah itu laju korosi kembali menurun pada 504 jam sebesar 3,3065 mdd. Menurut ISO 9223 baik logam aluminium dan tembaga menunjukkan kategori korosi yang tinggi (> C₅).



Gambar 5. Hubungan antara laju korosi dan waktu ekspos hasil Salt Spray test

Salt spray test merupakan pengujian yang mendekati kondisi tepi pantai menggunakan larutan NaCl \pm 5%. Proses korosi cenderung meningkat di awal dan untuk waktu yang lebih lama akan menurun (Gambar 5). Hal ini disebabkan terbentuknya oksida yang bertindak sebagai *barrier* walaupun produk korosi terbentuk. Untuk logam aluminium terlihat proteksi oleh oksidanya lebih baik dibandingkan dengan tembaga.

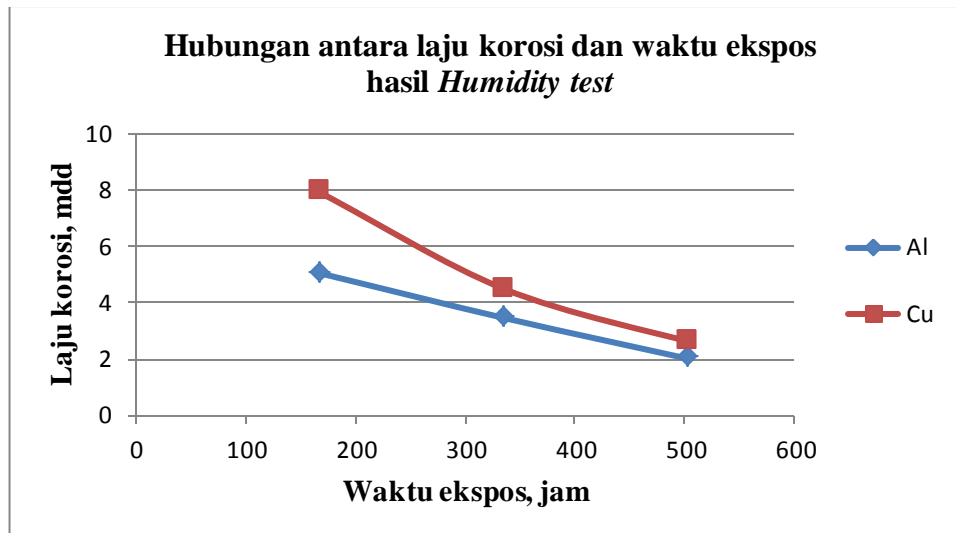
Tabel 3 menunjukkan kehilangan berat (gram) dan laju korosi (mdd) pada sampel pelat aluminium dan tembaga setelah uji kelembaban (*humidity test*) dengan waktu ekspos 168, 336 dan 504 jam. Pengujian ini dilakukan dengan kelembaban yang cukup tinggi yaitu berkisar di atas 90% kelembaban.

Tabel 3. Hasil *humidity test* pada sampel pelat aluminium dan tembaga di laboratorium

Waktu Ekspos	sampel	Berat (gr)			Luas dm ²	Laju korosi mdd
		Awal	Akhir	Selisih		
168 jam	aluminium	15,3098	15,2880	0,0218	0,6164	5,0504
	tembaga	46,6052	46,5714	0,0338	0,6092	7,9256
336 jam	aluminium	15,3357	15,3060	0,0297	0,6129	3,4613
	tembaga	46,6317	46,5936	0,0381	0,6056	4,4932
504 jam	aluminium	15,0531	15,0273	0,0258	0,6104	2,0124
	tembaga	46,3389	46,3051	0,0338	0,6067	2,6526

Gambar 6 menunjukkan penurunan laju korosi dengan *humidity test*. Dari grafik tersebut terlihat dari waktu ekspos selama 168 jam laju korosi tembaga adalah 7,9256 mdd dan mengalami penurunan menjadi 2,6526 mdd pada waktu ekspos 504 jam. Demikian juga dengan aluminium pada waktu ekspos 168 jam sebesar 5,0504 mdd dan laju korosi menurun

pada waktu ekspos 504 jam sebesar 2,0124 mdd. Menurut ISO 9223 baik logam aluminium dan tembaga menunjukkan kategori korosi yang tinggi (> C₅).



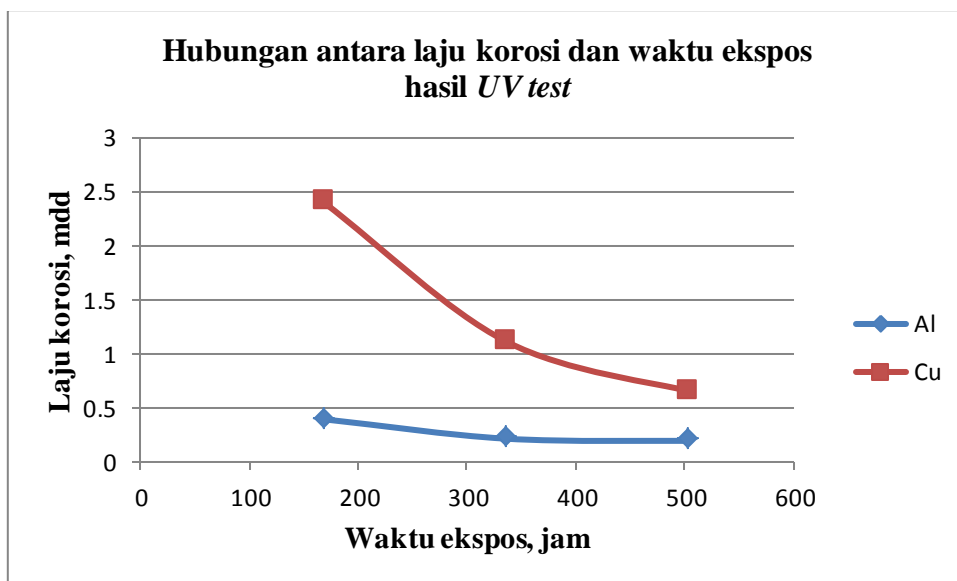
Gambar 6. Hubungan antara laju korosi dan waktu ekspos hasil Humidity test

Hasil *humidity test* seperti ditunjukkan pada Gambar 6 juga menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan laju korosi pada awal pengujian hal ini terjadi karena kelembaban pada pengujian tersebut dapat mencapai 100% , kemudian terjadi penurunan untuk waktu paparan yang lebih lama. Hal ini juga disebabkan adanya *barrier* karena terbentuknya oksida dari logam aluminium dan tembaga.

Tabel 4. Hasil UV test pada sampel pelat baja karbon di laboratorium

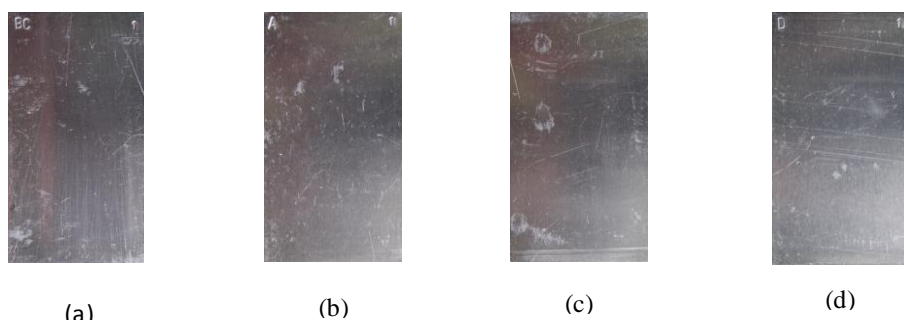
Waktu Ekspos	sampel	Berat (gr)			Luas dm ²	Laju korosi mdd
		Awal	Akhir	Selisih		
168 jam	aluminium	60,5304	60,5285	0,0019	0,5985	0,4058
	tembaga	166,8495	166,8394	0,0101	0,5985	2,4108
336 jam	aluminium	60,6019	60,6004	0,0017	0,5985	0,2267
	tembaga	157,0934	157,0840	0,0094	0,5985	1,1218
504 jam	aluminium	61,1727	61,1701	0,0026	0,5985	0,2069
	tembaga	157,9162	157,9078	0,0084	0,5985	0,6683

Hasil *UV test* pada Tabel 4 serta Gambar 7 menunjukkan grafik laju korosi dengan waktu ekspos. Pada grafik tersebut terlihat tidak ada penurunan yang signifikan untuk aluminium dari waktu ekspos selama 168 jam sebesar 0,4058 mdd dan pada waktu ekspos 504 jam sebesar 0,2069 mdd . Penurunan laju korosi tembaga terlihat cukup signifikan dari waktu ekspos 168 jam sebesar 2,4108 mdd menjadi 0,6683 mdd pada waktu ekspos 504 jam. . Hal ini disebabkan karena daya adhesi lebih rendah dari daya kohesi sehingga lapisan mudah rontok dan kemudian terinisiasi kembali dan ini akan berlangsung terus menerus. Menurut ISO 9223 baik logam aluminium dan tembaga menunjukkan kategori korosi yang tinggi (C₅).

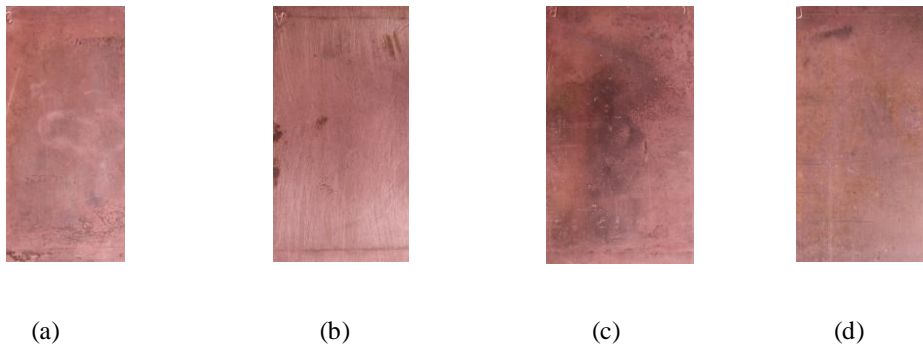


Gambar 7. Hubungan antara laju korosi dan waktu ekspos hasil *UV test*

Gambar 8a dan 8b menunjukkan foto visual sampel pelat aluminium dan tembaga setelah diekspos di beberapa daerah DKI Jakarta.



Gambar 8a. Sampel pelat aluminium setelah diekspos di DKI Jakarta pada berbagai daerah :
 (a) Tepi pantai, (b) Industri, (c) Perkotaan, (d) Perumahan

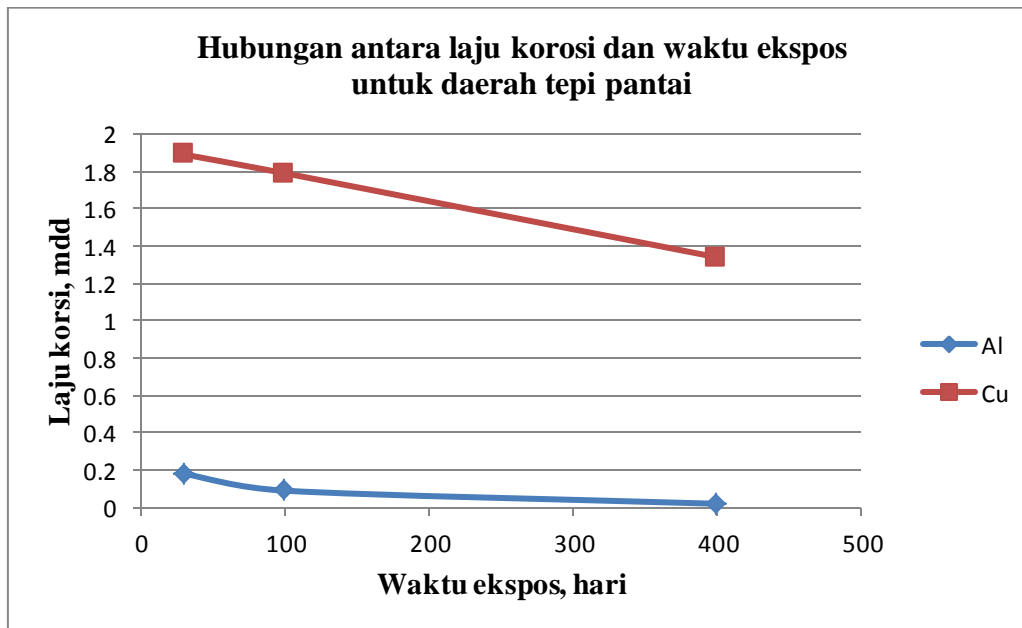


Gambar 8b. Sampel pelat tembaga setelah diekspos di DKI Jakarta pada berbagai daerah :
(a) Tepi pantai, (b) Industri, (c) Perkotaan, (d) Perumahan

Tabel 5. Hasil pengujian lapangan untuk sampel pelat aluminium dan tembaga di daerah P2O-LIPI Ancol Jakarta Utara mewakili daerah tepi pantai

Waktu ekspos	sampel	Berat (gr)			Luas dm ²	Laju korosi mdd
		Awal	Akhir	Selisih		
± 30 hari	aluminium	15,4254	15,4239	0,0015	0,2400	0,1894
	tembaga	46,5178	46,5028	0,0150	0,2400	1,8939
± 100 hari	aluminium	15,1319	15,1293	0,0026	0,2400	0,0926
	tembaga	46,2940	46,2436	0,0504	0,2400	1,7494
± 400 hari	aluminium	15,2586	15,2557	0,0029	0,2400	0,0279
	tembaga	46,9008	46,7614	0,1394	0,2400	1,3414

Gambar 8a (a) dan 8b (a) adalah foto visual sampel pelat aluminium dan tembaga setelah diekspos di daerah tepi pantai , sedangkan Tabel 5 dan Gambar 9 menunjukkan besarnya kehilangan berat dan laju korosi pada sampel pelat aluminium dan tembaga setelah diekspos di daerah tersebut. Terlihat pada grafik tersebut untuk tembaga pada waktu ekspos 30 hari laju korosi sebesar 1,8939 mdd dan laju korosi mengalami penurunan pada waktu ekspos selama 400 hari sebesar 1,3414 mdd. Sedangkan aluminium pada waktu ekspos selama 30 hari laju korosi sebesar 0,1894 dan menurun pada waktu ekspos selama 400 hari sebesar 0,0279 mdd. Dari tabel 1 menurut ISO 9223 maka untuk daerah tepi pantai kategori korosi selama ekspos 400 hari untuk logam aluminium dengan laju korosi sebesar 0,0279 mdd termasuk kategori C₃. Sedangkan untuk logam tembaga dengan laju korosi sebesar 1,3414 mdd termasuk kategori C₅.

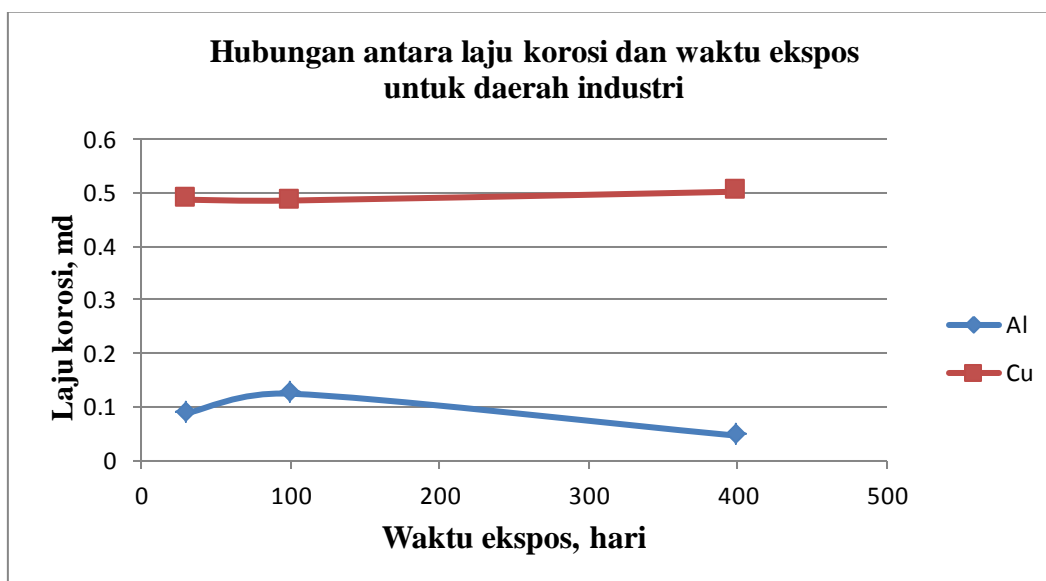


Gambar 9. Hubungan antara laju korosi dan waktu ekspos untuk daerah tepi pantai

Salah satu penyebab terkorosinya logam di daerah tepi pantai adalah adanya ion Cl^- . Kadar klorida akan semakin menurun apabila semakin jauh dari pantai. Laju endapan klorida disekitar pantai berkisar 5-1500 mg $NaCl/m^2$ per hari. Dalam lingkungan urban dan industri, laju endapan klorida, umumnya lebih rendah 10 % dibandingkan dengan SO_2 .

Tabel 6. Hasil pengujian lapangan untuk sampel pelat aluminium dan tembaga di daerah PT Gateka, Pulo Gadung Jakarta Timur mewakili daerah industri

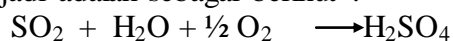
Waktu ekspos	sampel	Berat (gr)			Luas dm^2	Laju korosi mdd
		Awal	Akhir	Selisih		
± 30 hari	aluminium	14,9311	14,9310	0,0010	0,2400	0,0086
	tembaga	46,3683	46,3808	0,0055	0,2400	0,4876
± 100 hari	aluminium	15,0378	15,0349	0,0029	0,2400	0,1246
	tembaga	46,3811	46,3698	0,0113	0,2400	0,4854
± 400 hari	aluminium	15,2739	15,2693	0,0046	0,2400	0,0467
	tembaga	46,4797	46,4303	0,0494	0,2400	0,5020



Gambar 10. Hubungan antara laju korosi dan waktu ekspos untuk daerah industri

Foto visual sampel pelat aluminium dan tembaga hasil diekspos di daerah industri seputaran PT. Gateka Pulo Gadung Jakarta ditunjukkan pada Gambar 8a(b) dan 8b(b), sedangkan Tabel 6 serta Gambar 10 menunjukkan besarnya kehilangan berat dan laju korosi pada sampel pelat aluminium dan tembaga setelah diekspos selama 30, 100 dan 400 hari di daerah industri tersebut. Dari grafik pada Gambar 10 terlihat pada waktu ekspos 30 hari untuk tembaga menunjukkan laju korosi sebesar 0,4876 mdd dan meningkat pada waktu ekspos selama 400 hari menjadi sebesar 0,5020 mdd . Sedangkan untuk aluminium pada waktu ekspos selama 30 hari sebesar 0,09 mdd dan menurun pada waktu ekspos selama 400 hari sebesar 0,0467 mdd. Dari tabel 1 menurut ISO 9223 maka untuk daerah industri kategori korosi selama ekspos 400 hari untuk logam aluminium dengan laju korosi sebesar 0,0467 mdd termasuk kategori C₃. Sedangkan untuk logam tembaga dengan laju korosi sebesar 0,5020 mdd termasuk kategori C₄.

Sama halnya dari Tabel 7 terlihat adanya pengaruh S di daerah industri. Seperti kita ketahui untuk daerah industri adanya polutan dari gas buang seperti SO₂, NO_x dan lain sebagainya. Komposisi kimia dan sifat fisik dari polutan SO₂ berubah selama transportasinya di udara. SO₂ dioksidasi pada partikel-partikel basah atau butiran air menjadi asam sulfat (H₂SO₄). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



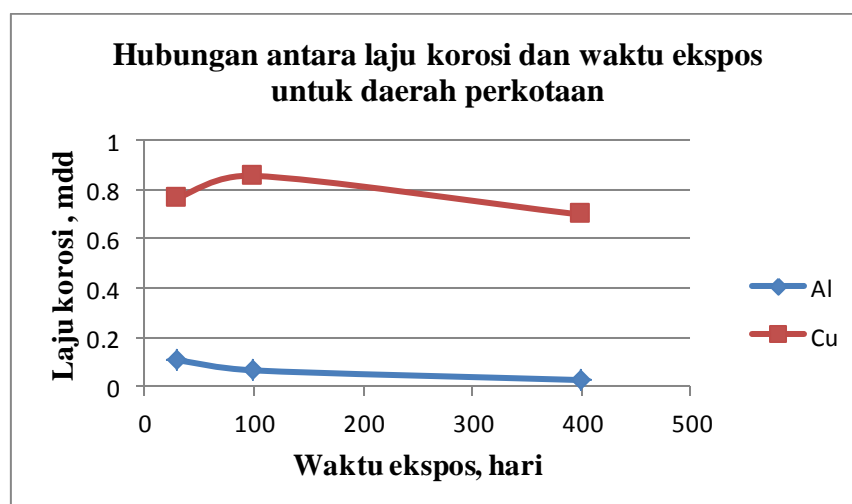
Tabel 7. Laju endapan SO₂ dalam beberapa jenis atmosfer ¹⁾

Lingkungan atmosfer	Laju endapan SO ₂ (mg/m ² hari)
Perumahan (<i>rural</i>)	< 10
Perkotaan (<i>urban</i>)	10 – 100
Industri	sampai 200

Tabel 8. Hasil pengujian lapangan untuk sampel pelat aluminium dan tembaga di daerah PDII-LIPI, Gatot Subroto Jakarta Pusat mewakili daerah perkotaan

Waktu ekspos	sampel	Berat (gr)			Luas dm ²	Laju korosi mdd
		Awal	Akhir	Selisih		
± 30 hari	aluminium	15,2599	15,2591	0,0008	0,2400	0,1075
	tembaga	46,0554	46,0497	0,0057	0,2400	0,7661
± 100 hari	aluminium	15,3492	15,3474	0,0018	0,2400	0,0658
	tembaga	46,4802	46,4568	0,0234	0,2400	0,8553
± 400 hari	aluminium	15,4153	15,4126	0,0027	0,2400	0,0264
	tembaga	46,3777	46,3064	0,0713	0,2400	0,6974

Untuk daerah perkotaan khususnya di Jalan Gatot Subroto Jakarta, foto visual sampel pelat aluminium dan tembaga hasil ekspos ditunjukkan pada Gambar 8a(c) dan 8b(c). Tabel 8 serta Gambar 11 menunjukkan besarnya kehilangan berat pada sampel pelat tembaga yang diekspos selama 30 hari sebesar 0,7661 mdd dan laju korosi meningkat pada waktu ekspos selama 100 hari sebesar 0,8553 mdd lalu kembali menurun setelah diekspos selama 400 hari menjadi sebesar 0,6974 mdd . Untuk aluminium pada waktu ekspos selama 30 hari sebesar 0,1075 mdd dan menurun pada waktu ekspos selama 400 hari menjadi sebesar 0,0264 mdd. Dari tabel 1 menurut ISO 9223 maka untuk daerah perkotaan kategori korosi selama ekspos 400 hari untuk logam aluminium dengan laju korosi sebesar 0,0264 mdd termasuk kategori C₃. Sedangkan untuk logam tembaga dengan laju korosi sebesar 0,6974 mdd termasuk kategori C₄.

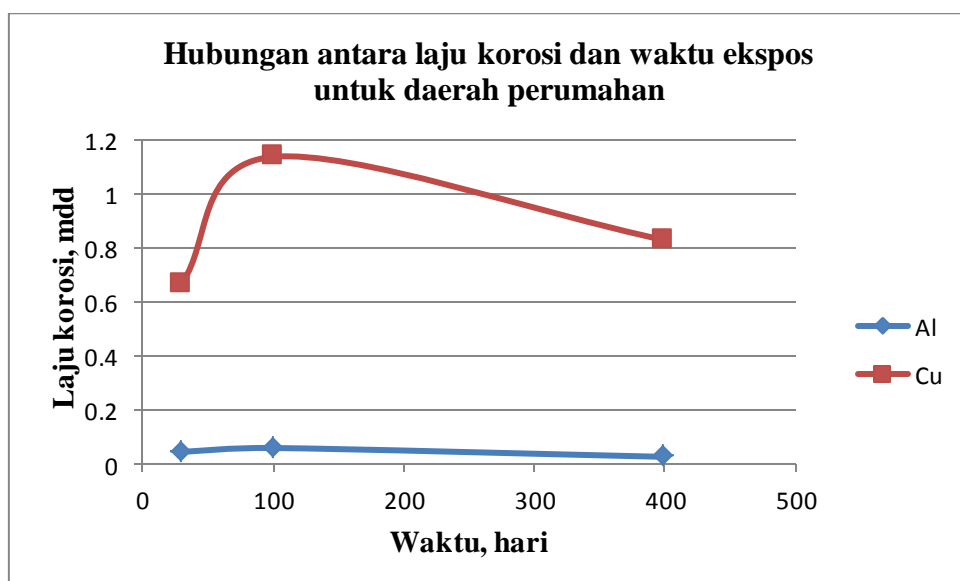


Gambar 11. Hubungan antara laju korosi dan waktu ekspos untuk daerah perkotaan

Tabel 9. Hasil pengujian lapangan untuk sampel pelat aluminium dan tembaga di daerah Pondok Indah Golf, Pondok Indah mewakili daerah perumahan

Waktu ekspos	sampel	Berat (gr)			Luas dm ²	Laju korosi mdd
		Awal	Akhir	Selisih		
± 30 hari	aluminium	15,3597	15,3593	0,0004	0,2400	0,0465
	tembaga	46,6583	46,6517	0,0066	0,2400	0,6707
± 100 hari	aluminium	15,0851	15,0838	0,0013	0,2400	0,0609
	tembaga	45,9777	45,9553	0,0224	0,2400	1,1382
± 400 hari	aluminium	15,2374	15,2348	0,0026	0,2400	0,0282
	tembaga	46,8028	46,7263	0,0765	0,2400	0,8301

Laju korosifitas dan kehilangan berat di daerah Pondok Indah Golf Jakarta ditunjukkan pada Tabel 9. Pada Gambar 12 terlihat grafik laju korosi pada pelat aluminium dan tembaga setelah dipapar selama 30, 100 dan 400 hari di daerah Pondok Indah Golf untuk tembaga mengalami peningkatan secara signifikan sejalan dengan makin bertambahnya waktu paparan. Laju korosi rata-rata seiring dengan meningkatnya waktu ekspos adalah 2,99; 4,87 dan 7,92 mdd untuk waktu ekspos 30, 100 dan 400 hari. Dari tabel 1 menurut ISO 9223 maka untuk daerah perumahan kategori korosi selama ekspos 400 hari untuk logam aluminium dengan laju korosi sebesar 0,0282 mdd termasuk kategori C₃. Sedangkan untuk logam tembaga dengan laju korosi sebesar 0,8301 mdd termasuk kategori C₅.



Gambar 12. Hubungan antara laju korosi dan waktu ekspos untuk daerah perumahan

Cukup menarik bahwa daerah perumahan menunjukkan tingkat korosifitas yang tidak jauh berbeda dengan perkotaan disebabkan adanya polutan baik dari kendaraan bermotor maupun dari partikel yang terbawa. Untuk semua daerah baik tepi pantai, industri, perkotaan dan perumahan sangat tergantung juga akan kondisi adsorpsi lapisan air, embun, curah hujan (Tabel 10). Adsorpsi uap air, yang terjadi di atas kelembaban nisbi tertentu disebut sebagai kelembaban nisbi kritis (*critical relative humidity*). Kelembaban nisbi kritis bervariasi dari 70-85 % tergantung jenis dan kadar kontaminan-kontaminan atmosfer. Pada umumnya *Critical relative Humidity* untuk logam besi, tembaga, nikel dan seng diantara 50 – 70 %. Jumlah dan ketebalan lapisan air pada permukaan logam yang terkorosi sangat berpengaruh terhadap laju/proses korosi selanjutnya. Korosi meningkat secara signifikan, bilamana kelembaban nisbi naik di atas harga dimana garam-garam mulai mengabsorpsi air dan melarutkan garam-garam tersebut.

Tabel 10. Jumlah air pada permukaan logam ³⁾

Kondisi	Jumlah lapisan air (g/m ²)
Kelembaban nisbi kritis	0,01
Kelembaban nisbi (100 %)	1,0
Lapisan Embun	10,0
Lapisan air hujan	100,0

Lapisan fasa air pada permukaan logam disamping disebabkan oleh kelembaban nisbi, juga bisa berasal dari presipitasi air hujan, kabut atau embun yang terbentuk melalui kondensasi uap air pada permukaan logam pada kondisi dingin.

Embun merupakan salah satu penyebab utama terhadap korosi logam, khususnya bilamana struktur logam berada pada tempat tersembunyi, tidak secara langsung terekspos terhadap sinar matahari atau curah air hujan. Jumlah air pada permukaan yang tertutup oleh embun sekitar 10 g/m², yang mana ini lebih besar dari pada permukaan yang tertutup oleh *adsorption layer*. Periode pengembunan dianggap sangat korosif, karena efek pencucian terhadap deposit atau produk korosi sangat sedikit. Salah satu faktor yang menyebabkan embun bersifat sangat korosif adalah kontaminan-kontaminan agresif dari atmosfer, yang terabsorpsi oleh embun tersebut dalam jumlah yang sangat besar. Harga pH bisa mencapai < 3 dalam lingkungan industri dan area laut yang sangat tercemar oleh polutan-polutan agresif, konsentrasinya bisa mencapai masing-masing 0,2 g/l sulfat dan 0,35 g/l Cl. Dimana konsentrasi tersebut sekitar 100 kali lebih besar pada saat adanya curah hujan pada lokasi yang sama. Presipitasi air hujan sangat berpengaruh terhadap laju korosi, dikarenakan lapisan air pada permukaan logam semakin tebal, sehingga polutan-polutan agresif seperti SO₄⁼ dan H⁺ jumlahnya meningkat. Semakin tinggi konsentrasi SO₄⁼ dan H⁺ yang terabsorpsi ke dalam lapisan air, laju korosi logam semakin meningkat secara signifikan. Air hujan juga dapat menghilangkan polutan non agresif (seperti partikel-partikel padatan dan garam-garam atau produk korosi yang bersifat higroskopis) dari permukaan logam, yang terbentuk selama periode sebelumnya pada kondisi kering.

Semakin lama waktu pembasahan permukaan logam oleh lapisan air/elektrolit, semakin signifikan pengaruhnya terhadap korosi atmosferik. Lamanya pembasahan sangat bervariasi

dengan kondisi cuaca setempat, yang mana ini tergantung kelembaban nisbi atmosfer, lamanya dan frekuensi hujan atau penyinaran langsung oleh sinar matahari, pengembunan (*dew*), pengkabutan (*fog*), temperatur udara dan permukaan logam serta arah dan kecepatan angin.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tingkat korosifitas pada material baja karbon dan tembaga di laboratorium dan lapangan maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

Percobaan di laboratorium

1. Untuk *salt spray test* selama 504 jam terlihat laju korosi logam Aluminium 3,3065 mdd lebih kecil dari logam tembaga 5,5571 mdd walaupun keduanya masuk dalam kategori korosi yang tinggi ($> C_5$).
2. Untuk *humidity test* selama 504 jam terlihat laju korosi logam Aluminium 0,2069 mdd lebih kecil dari logam tembaga 0,6683 mdd walaupun keduanya masuk dalam kategori korosi yang tinggi ($> C_5$).
3. Untuk *UV test* selama 504 jam terlihat laju korosi logam Aluminium 2,0124 mdd lebih kecil dari logam tembaga 2,6526 mdd walaupun keduanya masuk dalam kategori korosi yang tinggi (C_5).

Percobaan di lapangan

1. Ketahanan korosi dari logam aluminium di daerah tepi pantai dengan laju korosi sebesar 0,0279 mdd termasuk kategori C_3 , lebih baik dibandingkan dengan logam tembaga dengan laju korosi sebesar 1,3414 mdd termasuk kategori C_5 .
2. Ketahanan korosi dari logam aluminium di daerah industri dengan laju korosi sebesar 0,0467 mdd termasuk kategori C_3 , lebih baik dibandingkan dengan logam tembaga dengan laju korosi sebesar 0,5020 mdd termasuk kategori C_4 .
3. Ketahanan korosi dari logam aluminium di daerah perkotaan dengan laju korosi sebesar 0,0264 mdd termasuk kategori C_3 , lebih baik dibandingkan dengan logam tembaga dengan laju korosi sebesar 0,6974 mdd termasuk kategori C_4 .
4. Ketahanan korosi dari logam aluminium di daerah perkotaan dengan laju korosi sebesar 0,0282 mdd termasuk kategori C_3 , lebih baik dibandingkan dengan logam tembaga dengan laju korosi sebesar 0,8301 mdd termasuk kategori C_5 .

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih atas bantuan yang dilakukan oleh peneliti dan teknisi Bidang Konservasi Bahan – Pusat Penelitian Metalurgi LIPI dalam pelaksanaan penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

1. Roberge, Pierre R, “ *Handbook of Corrosion Engineer* “, McGraw Hill, 2000.
2. Jones, Denny A, “ *Principles and prevention of Corrosion*”, Macmillan Publishing Company, New York, 1992.
3. ASM Handbook, Volume 13, “ *Corrosion* “. 1987
4. Ronald Nasoetion dan Ing Musalam, “ *Pemetaan Korosi untuk mendukung usaha rehabilitasi DAS Citarum*” , Prosiding Simposium Sehari rehabilitasi daerah Aliran Sungai Citarum, LIPI-BPLHD Jawa Barat, Desember 2003
5. Ing Musalam dan Ronald Nasoetion, “ *Penelitian Karakteristik Korosi atmosfer di daerah pantai utara Jakarta*, KOROSI Volume 14 Nomor 1, April 2005.