

# PEMETAAN TINGKAT KOROSIFITAS DI DAERAH DKI JAKARTA

**Ronald Nasoetion**

Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI

Kawasan Puspiptek Serpong, Gedung 470, Tangerang 15314

E-mail : rnasoetion@yahoo.com

*Masuk tanggal : 19-06-2012, revisi tanggal : 09-07-2012, diterima untuk diterbitkan tanggal : 20-07-2012*

## Intisari

**PEMETAAN TINGKAT KOROSIFITAS DI DAERAH DKI JAKARTA.** *Global warming* dan pencemaran udara yang diakibatkan oleh tumbuh pesatnya industri dan kendaraan bermotor akhir-akhir ini, serta bertambahnya populasi jumlah penduduk, akan meningkatkan tingkat korosifitas lingkungan. Akan tetapi seberapa besar tingkat korosifitas ini belum diketahui secara pasti. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur tingkat korosifitas lingkungan udara beberapa lokasi di daerah DKI Jakarta untuk kondisi lingkungan antara lain : tepi pantai, industri, perkotaan dan pemukiman. Studi penelitian ini lebih terfokus pada faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi logam di udara, seperti faktor cuaca dan materi pencemaran udara; gas buangan industri dan ion klorida yang berasal dari laut. Laju korosi logam baja karbon untuk keperluan industri seperti struktur serta keperluan umum lainnya diukur secara periodik dengan metoda kehilangan berat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat korosifitas tertinggi adalah tepi pantai dengan laju korosi rata-rata 20,02 mdd. Untuk daerah industri, laju korosi rata-rata adalah 11,04 mdd, daerah perkotaan rata-rata 4,79 mdd dan daerah pemukiman rata-rata 5,35 mdd. Dari hasil ini dapat dipetakan kondisi lingkungan dari beberapa lokasi di daerah DKI Jakarta.

*Kata kunci : Global warning, Laju korosi, Metoda kehilangan berat, Korosifitas, Pemetaan korosi*

## Abstract

**CORROSION MAPPING OF CORROSIVITY LEVEL IN DKI JAKARTA.** *Global warming and contamination of enviromental will increase degree of corrosivity due to industrial growing, motor vehicles consuming and urban populating. On the other hand, degree of corrosivity due to those conditions is still unmeasurable. The aim of this research is measuring degree of athmospheric corrosivity of several locations in DKI Jakarta at various area such as : marine, industrial, urban and rural. This study concern to various factors that affect to metal corrosion rate in atmospheric, such as : climated factors, polutant, 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 of this research shown that the high corrosivity is at marine area with the average of corrosion rate around 20.02 mdd. The average corrosion rate at industries environment, cities and urbans are around 11.04 mdd, 4.79 mdd and 5.35 mdd, respectively. From this research, degree of corrosivity could be mapped at several locations in DKI Jakarta.*

*Keywords : Global warming, Corrosion rate, Weight loss method, Corrosivity, Corrosion mapping*

## PENDAHULUAN

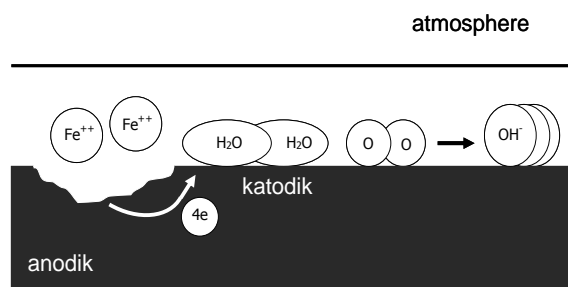
Masalah kerusakan logam karena proses korosi disebabkan oleh pengaruh lingkungan udara banyak dijumpai di sekitar kita. Keadaan seperti ini selain mengurangi daya dukung lingkungan juga akan merugikan dari segi ekonomi dan

membahayakan ditinjau dari segi keselamatan.

Khusus di daerah Jakarta, lingkungan ini bertambah agresif dengan adanya materi pencemar yang berasal dari gas buangan industri seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S, ion klorida (Cl<sup>-</sup>), debu dan lain-lain.

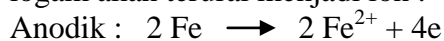
Korosi merupakan proses elektrokimia dimana proses ini terjadi apabila adanya

daerah anoda, katoda, elektrolit dan hubungan tertutup seperti terlihat pada Gambar 1<sup>[1]</sup>.

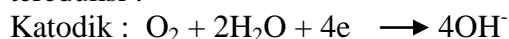


**Gambar 1.** Proses korosi atmosferik pada baja<sup>[1]</sup>

Bila udara mempunyai kelembaban yang cukup tinggi (>60%), maka akan terjadi lapisan air pada permukaan logam yang bertindak sebagai elektrolit. Korosi atmosferik terjadi bila ada kesetimbangan antara reaksi anodik dan katodik<sup>[1]</sup>. Reaksi anodik terjadi di daerah anoda dimana logam akan terurai menjadi ion :



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



Pemetaan korosi yang akan dilakukan adalah dalam upaya untuk mengetahui tingkat korosifitas yang ada di suatu wilayah tertentu. Dalam penelitian kali ini akan dilakukan pengamatan korosi pada beberapa lokasi yang ada di Jakarta dan juga pengujian skala laboratorium sebagai bahan perbandingan. Untuk mengetahui tingkat korosifitas dari suatu daerah dilakukan penelitian dengan mengekspos logam dengan waktu tertentu dan laju korosi dihitung dengan metoda kehilangan berat. Sedangkan untuk pengujian skala laboratorium akan dilakukan uji kabut garam, kelembaban dan pengujian sinar ultra violet (UV). Hasil dari logam yang diekspos udara luar dikarakterisasi dengan menggunakan SEM-EDS (*scanning electron microscope-energy dispersive spectrometry*). Dari hasil perhitungan laju korosi, kategori tingkat korosifitas di beberapa daerah di Jakarta dapat ditentukan.

## LATAR BELAKANG TEORI

### Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosifitas Atmosfir

Faktor yang mempengaruhi laju korosi dapat ditinjau dari logamnya dan korosifitas atmosfer sekitarnya. Faktor-faktor spesifik yang mempengaruhi korosifitas atmosfer adalah kelembaban nisbi (% RH), lamanya pembasahan (*time of wetness*) curah hujan, kadar debu, gas di udara. Disamping itu, temperatur, kecepatan dan arah angin, pola aliran udara di atas permukaan logam menentukan laju transfer kontaminan pada permukaan logam tersebut<sup>[2]</sup>.

### Kandungan Debu (*Dust Content*)

Atmosfir industri dan urban mengandung bermacam-macam polutan-polutan dari partikel debu yang tersuspensi seperti karbon (C), senyawa karbon, metal oksida, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl dan garam-garam lainnya. Sedangkan dalam atmosfer marine mengandung partikel-partikel garam NaCl dari percikan air laut. Partikel-partikel NaCl bisa terbawa oleh angin sampai jarak tertentu, tergantung dari besar dan arah anginnya<sup>[2]</sup>.

### Gas-Gas di Atmosfir

Disamping oksigen dan nitrogen, lingkungan atmosfer mengandung gas-gas lainnya. Pada umumnya atmosfer pedesaan pengaruhnya relatif kecil terhadap korosi, karena tidak tercemar oleh polutan-polutan agresif. Sedangkan atmosfer perkotaan, industri dan laut tercemar dengan polutan-polutan korosif seperti CO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NO<sub>x</sub>, NaCl dan sebagainya<sup>[1]</sup>.

### Kelembaban Nisbi (*Relative Humidity % RH*)

Konsentrasi uap air di udara dinyatakan dengan kelembaban nisbi (% RH) atau titik embun (*dew point*). Kelembaban nisbi adalah perbandingan antara tekanan uap air sebenarnya pada temperatur ambien

dengan tekanan uap jenuh dari air pada temperatur tertentu<sup>[2]</sup>.

#### **Adsorpsi Lapisan Air (*adsorption layer*)**

Jumlah dan ketebalan lapisan air/elektrolit yang teradsorpsi pada permukaan logam tergantung pada kelembaban nisbi dari atmosfer, sifat-sifat fisik dan kimia dari produk korosi dan partikel-partikel debu<sup>[3]</sup>.

#### **Embun (*Dew*)**

Pengembunan terjadi bilamana temperatur permukaan logam di bawah temperatur atmosfer/*dew point* (titik embun). Pembentukan embun terjadi di *outdoor* pada malam hari, bilamana temperatur permukaan logam menurun melalui pemancaran *heat transfer* dari permukaan logam ke udara atau terjadi pada pagi hari dimana temperatur udara meningkat dengan cepat dari pada temperatur permukaan logam<sup>[3]</sup>.

#### **Curah Hujan (*Rain*)**

Adanya curah hujan menyebabkan lapisan air/elektrolit lebih tebal pada permukaan logam dibandingkan dengan pengembunan. Ketebalan lapisan air yang tertinggal pada permukaan logam setelah curah hujan sekitar 100 g/m<sup>2</sup><sup>[3]</sup>.

#### **Lamanya Waktu Pembasahan (*Time of Wetness*)**

Efek korosi secara keseluruhan selama periode waktu pengeksposan ditentukan oleh lamanya waktu pembasahan permukaan logam dan komposisi elektrolit<sup>[1]</sup>.

#### **Kandungan Polutan-polutan dalam Lapisan Air**

Lapisan air/elektrolit pada permukaan logam selain dapat mengadsorpsi partikel padatan, juga dapat mengabsorpsi dan melarutkan gas-gas dari udara. Sehingga lapisan air tersebut bisa mengandung bermacam-macam spesies deposit, ion-ion logam dari hasil proses korosi dan gas dari

udara. Ditinjau dari kinetika dan termodinamika, komposisi elektrolit mempunyai peran yang sangat penting pada proses korosi<sup>[2]</sup>.

#### **Oksigen (O<sub>2</sub>)**

Oksigen dari udara mudah terabsorpsi oleh lapisan air/elektrolit, sehingga pada bagian luar dari lapisan tersebut dijenuhkan dengan oksigen.

#### **Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>)**

Jenis polutan di udara tergantung pada aktivitas di daerah tersebut. Di lingkungan industri, urban dan daerah-daerah yang banyak/padat dilalui oleh kendaraan bermotor, pada umumnya jenis polutan yang dominan adalah gas SO<sub>2</sub>, yang merupakan gas buangan hasil dari pembakaran bahan bakar yang mengandung unsur sulfur seperti minyak, gas alam, batu bara dan lain-lain<sup>[4]</sup>.

#### **Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)**

Emisi NO<sub>x</sub> sebagian besar berasal dari sisa gas buang hasil pembakaran bahan bakar minyak kendaraan bermotor dan generator (*electric discharge*)<sup>[4]</sup>.

#### **Klorida (Cl)**

Endapan klorida dalam jumlah besar pada permukaan logam terjadi di lingkungan atmosfer marine sebagai droplet atau kristal-kristal NaCl, yang terbentuk melalui evaporasi dari percikan air laut yang terbawa oleh angin dari laut<sup>[4]</sup>.

#### **Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)**

Kadar CO<sub>2</sub> di udara antara 0,3 – 0,5 % volume, dan sedikit bervariasi kadarnya dari hari kehari, dikarenakan siklus dari sifat gas tersebut. Pada kesetimbangan, persentasinya sebanding dengan konsentrasi dari orde 10<sup>-5</sup> mol/l dalam lapisan air/elektrolit, bilamana harga pH di bawah 6<sup>[4]</sup>.

## PROSEDUR PERCOBAAN

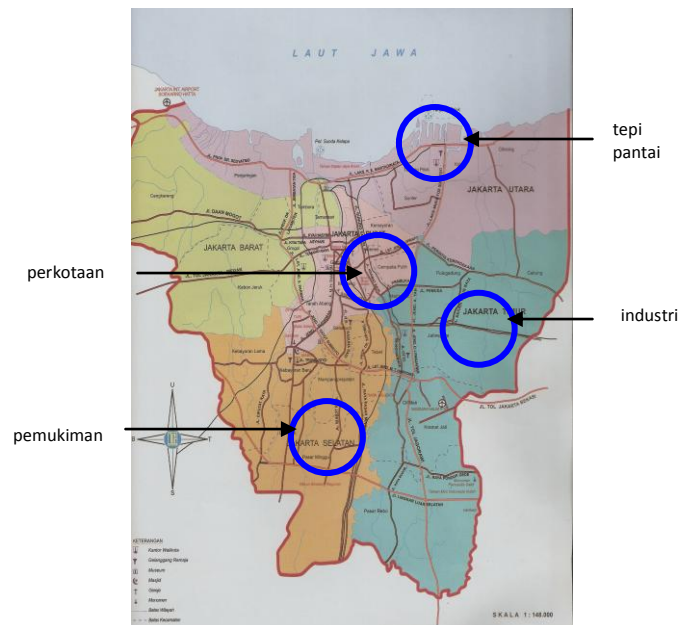
Logam yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini sebagian besar adalah baja karbon. Hal ini dikarenakan sebagian besar struktur yang ada di atmosfer adalah Fe. Sampel hasil uji korosi di lapangan dan laboratorium kemudian dikarakterisasi dengan SEM-EDS (*scanning electron microscope-energy dispersive spectrometry*) untuk mengetahui unsur-unsur korosif yang ada di permukaan sampel.

### Penelitian Laboratorium

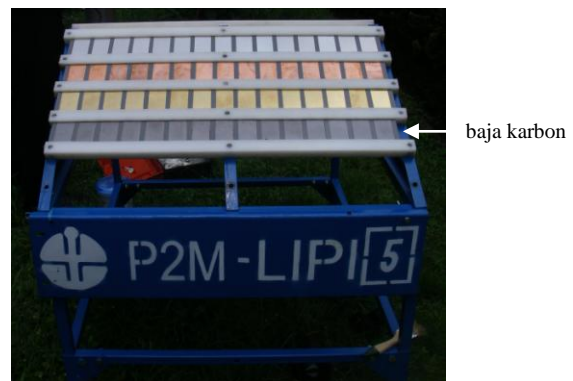
Pengujian yang dilakukan di laboratorium adalah pengujian kabut garam (*salt spray test*), pengujian kelembaban (*humidity test*) dan pengujian sinar ultra violet (*UV test*). Waktu yang digunakan untuk ketiga pengujian tersebut adalah selama 168, 336 dan 504 jam.

### Penelitian Lapangan

Untuk mengetahui tingkat korosifitas di lapangan, beberapa area di Jakarta yang dipilih adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Pemilihan area tersebut adalah daerah tepi pantai yang diwakili di daerah P2O-LIPI Ancol, daerah industri di daerah PT. Gateka, Pulogadung, daerah perkotaan di PDII-LIPI, Jalan Gatot Subroto dan daerah pemukiman di Mal Pondok Indah (Gambar 3). Pada penelitian di lapangan, sampel pelat baja karbon ditempatkan pada rak uji seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan diekspos di beberapa tempat di daerah Jakarta.

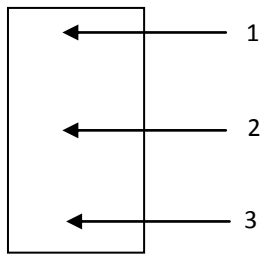


**Gambar 2.** Posisi penyimpanan rak uji korosifitas di beberapa daerah DKI Jakarta



**Gambar 3.** Rak uji korosifitas untuk penyimpanan sampel pelat baja karbon yang akan diekspos di beberapa daerah DKI Jakarta

Sampel pelat baja hasil uji korosifitas setelah diekspos di beberapa daerah Jakarta kemudian dikarakterisasi dengan SEM-EDS merk JEOL JSM 6390 A. Posisi pengujian SEM-EDS dilakukan pada permukaan sampel yang telah diekspos pada tiga posisi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

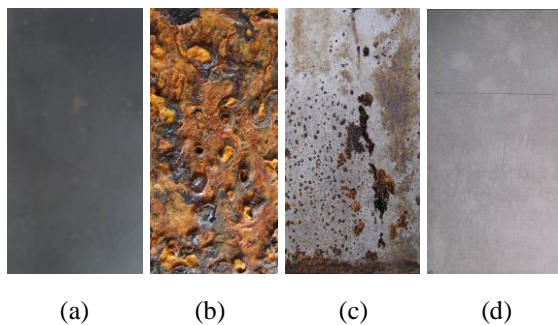


**Gambar 4.** Posisi pengujian SEM-EDS pada permukaan sampel pelat baja hasil ekspos di beberapa daerah DKI Jakarta

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Visual Laboratorium

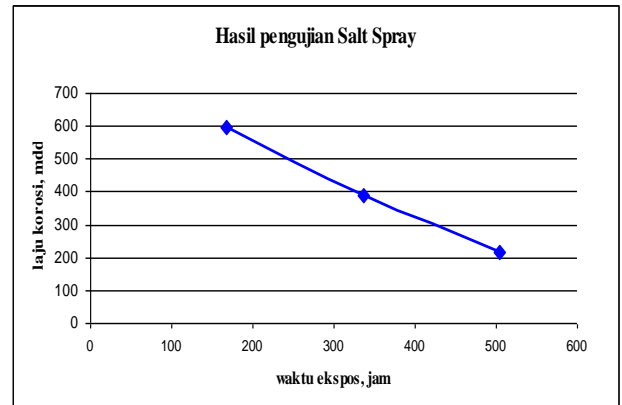
Foto sampel pelat baja karbon sebelum dan sesudah hasil uji kabut garam, kelembaban dan UV ditunjukkan pada Gambar 5. Tampak produk korosi lebih banyak terbentuk pada permukaan pelat baja hasil uji kabut garam selama 504 jam (Gambar 5b), sedangkan Tabel 1 menunjukkan besarnya kehilangan berat (gram) dan laju korosi (mdd) pada sampel pelat baja karbon.



**Gambar 5.** Sampel pelat baja karbon : (a) awal, (b) uji kabut garam selama 504 jam, (c) uji kelembaban selama 306 jam, (d) uji sinar ultra violet (UV) selama 504 jam

Gambar 6 menunjukkan grafik waktu ekspos terhadap laju korosi pelat baja karbon setelah pengujian kabut garam (*salt spray test*). Dari grafik tersebut terlihat bahwa laju korosi cukup tinggi rata-rata 596,35 mdd pada waktu ekspos 168 jam, sedangkan pada penambahan waktu ekspos

menjadi 504 jam, laju korosi menurun hingga rata-rata 216,85 mdd.



**Gambar 6.** Hasil pengujian kabut garam (*salt spray test*) pada pelat baja karbon

Pengujian dengan uji kabut garam merupakan hasil pengujian simulasi mendekati kondisi tepi pantai menggunakan larutan  $\text{NaCl} \pm 5\%$ . Proses korosi cenderung meningkat di awal dan untuk waktu yang lebih lama akan menurun (Gambar 6). Hal ini disebabkan setelah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  terbentuk akan bertindak sebagai *barrier* walaupun produk korosi terbentuk.

Gambar 5c menunjukkan visual pelat baja hasil pengujian kelembaban selama 336 jam. Produk korosi akibat uji kelembaban teramat lebih sedikit dibandingkan akibat pengkorosian dengan pengujian laboratorium lainnya. Tabel 2 menunjukkan kehilangan berat (gram) dan laju korosi (mdd) pada sampel pelat baja 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 1.** Hasil pengujian kabut garam pada sampel pelat baja karbon di laboratorium

Waktu Ekspos (jam)	Sampel	Berat ( gr)			Luas (dm <sup>2</sup> )	Laju korosi (mdd)
		Awal	Akhir	Selisih		
168	1	43,8185	42,7209	1,6095	0,3262	704,8267
	2	43,2190	42,1092	1,1098	0,3249	487,8992
336	1	41,5250	39,7563	1,7687	0,3299	382,9283
	2	42,9890	41,2073	1,7817	0,3225	394,5935
504	1	43,0321	41,5461	1,4860	0,3233	218,9000
	2	43,0290	41,5679	1,4611	0,3238	214,8500

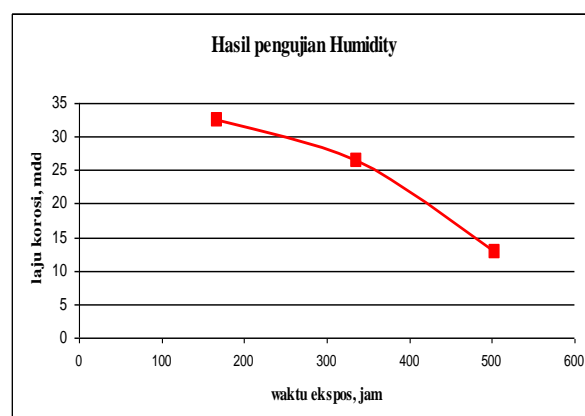
**Tabel 2.** Hasil pengujian kelembaban pada sampel pelat baja karbon di laboratorium

Waktu Ekspos (jam)	Sampel	Berat ( gr)			Luas (dm <sup>2</sup> )	Laju korosi (mdd)
		Awal	Akhir	Selisih		
168	1	43,7263	43,6061	0,1202	0,6085	28,2160
	2	43,1178	42,9627	0,1551	0,6034	36,7204
336	1	42,8850	42,6583	0,2267	0,6073	26,6610
	2	43,5348	43,3133	0,2215	0,6112	25,9117
504	1	42,9656	42,7770	0,1886	0,6038	14,8730
	2	43,9682	43,9682	0,1354	0,6160	10,4660

**Tabel 3.** Hasil pengujian sinar UV pada sampel pelat baja karbon di laboratorium

Waktu Ekspos (jam)	Sampel	Berat ( gr)			Luas (dm <sup>2</sup> )	Laju korosi (mdd)
		Awal	Akhir	Selisih		
168	1	166,8085	166,7954	0,0131	0,5985	3,1269
	2	167,8516	167,8361	0,0015	0,5985	3,6997
336	1	175,6332	175,6169	0,0163	0,5985	1,9453
	2	174,7554	174,7554	0,0172	0,5985	2,0527
504	1	176,9722	176,9273	0,0449	0,5985	3,5724
	2	175,5811	175,5811	0,0394	0,5985	3,1384

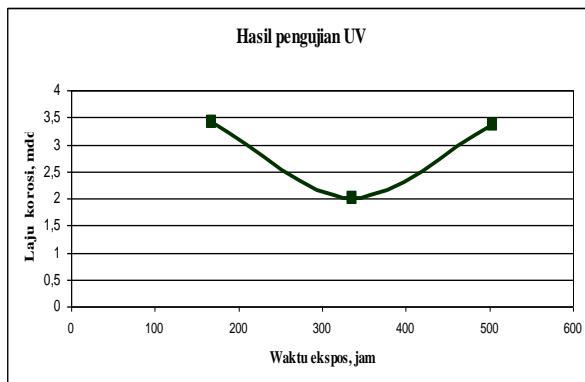
Gambar 7 menunjukkan grafik laju korosi dengan uji kelembaban. Dari grafik tersebut terlihat laju korosi mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya waktu ekspos. Laju korosi rata-rata adalah 32,45 mdd pada waktu ekspos 168 jam dan menurun menjadi 12,66 mdd pada waktu ekspos 504 jam.



**Gambar 7.** Hasil pengujian kelembaban (*humidity test*) pada sampel pelat baja karbon di laboratorium

Grafik hasil uji kelembaban seperti ditunjukkan pada Gambar 7 juga menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan laju korosi pada awal pengujian, kemudian terjadi penurunan untuk waktu paparan yang lebih lama. Hal ini juga disebabkan adanya *barrier* karena terbentuknya  $Fe_2O_3$  pada material baja karbon.

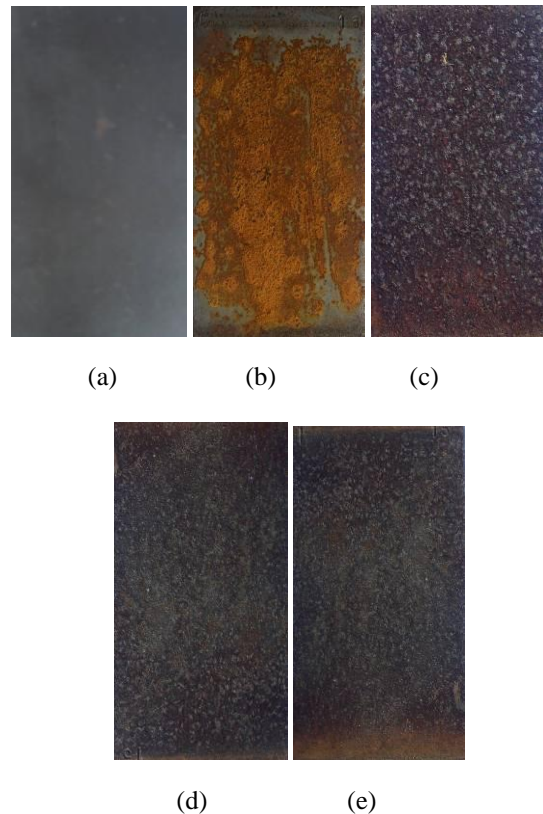
Hasil pengujian ultra violet (UV) ditunjukkan pada Tabel 3 dengan nilai laju korosi rata-rata lebih kecil dibandingkan nilai laju korosi dengan jenis pengujian yang lain. Secara visual teramati pada Gambar 5d, permukaan pelat baja karbon memiliki produk korosi berwarna putih dan tipis. Gambar 8 menunjukkan grafik laju korosi dengan pengujian UV. Grafik menunjukkan tidak ada penurunan yang signifikan dari waktu ekspos selama 168 jam dan 504 jam dengan laju korosi rata-rata yang dihasilkan berturut-turut adalah 3,405 mdd dan 3,351 mdd (Gambar 8). 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.



**Gambar 8.** Hasil pengujian UV pada sampel pelat baja karbon di laboratorium

### Hasil Visual di Lapangan

Gambar 9 menunjukkan foto visual sampel pelat baja karbon sebelum dan setelah diekspos di beberapa daerah di Jakarta.



**Gambar 9.** Sampel pelat baja karbon sebelum dan setelah diekspos di Jakarta pada berbagai daerah : (a) Awal, (b) Tepi pantai, (c) Industri, (d) Perkotaan, (e) Pemukiman

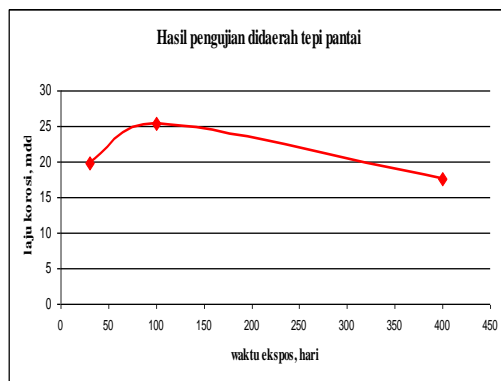
Gambar 9b adalah foto visual sampel pelat baja setelah diekspos di daerah Pantai Ancol Jakarta. Produk korosi pada permukaan pelat baja karbon terlihat sangat signifikan tersebar merata diseluruh permukaan sampel dengan produk korosi berwarna kuning. Tabel 4 dan Gambar 10 menunjukkan besarnya kehilangan berat dan laju korosi pada sampel pelat baja setelah diekspos di daerah tersebut. Terlihat pada grafik dengan meningkatnya waktu ekspos, laju korosi tidak mengalami penurunan yang signifikan. Laju korosi rata-rata 19,85 mdd pada waktu ekspos 30 hari, sedangkan dengan meningkatnya waktu ekspos menjadi 400 hari laju korosi rata-rata hanya berkisar 17,52 mdd.

**Tabel 4.** Hasil pengujian korosifitas pada sampel pelat baja karbon di daerah pantai Ancol Jakarta

Waktu Ekspos (hari)	Sampel	Berat ( gr)			Luas (dm <sup>2</sup> )	Laju korosi (mdd)
		Awal	Akhir	Selisih		
30	1	42,4910	42,3465	0,1445	0,2400	18,2449
	2	43,9910	43,8210	0,1700	0,2400	21,4646
100	1	43,1882	42,3341	0,8541	0,2400	25,3427
	2	-	-	-	-	-
400	1	43,6816	41,8271	1,8545	0,2400	17,8455
	2	43,5399	41,7513	1,7886	0,2400	17,2113

**Tabel 5.** Hasil pengujian korosifitas pada sampel baja karbon di daerah PT. Gateka Pulo Gadung Jakarta

Waktu Ekspos (hari)	Sampel	Berat ( gr)			Luas (dm <sup>2</sup> )	Laju korosi (mdd)
		Awal	Akhir	Selisih		
30	1	43,6778	43,5860	0,0918	0,2400	8,1383
	2	41,5534	41,4460	0,1074	0,2400	9,5213
100	1	42,9536	42,6802	0,2734	0,2400	9,6526
	2	-	-	-	-	-
400	1	43,1597	41,8730	1,2867	0,2400	13,0762
	2	43,0290	41,5712	1,4578	0,2400	14,8150

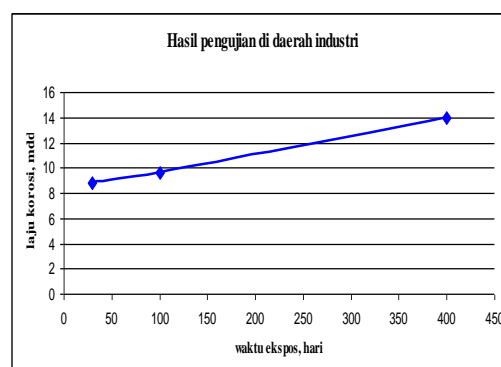


**Gambar 10.** Hasil pengujian korosifitas sampel pelat baja setelah diekspos di tepi Pantai Ancol Jakarta

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

Foto visual sampel pelat baja hasil ekspos di daerah industri seputar PT. Gateka Pulo Gadung Jakarta ditunjukkan pada Gambar 9c. Pada permukaan pelat

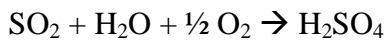
baja tampak produk korosi berwarna kehitaman dan tersebar merata diseluruh permukaan sampel (Gambar 9c), sedangkan Tabel 5 serta Gambar 11 menunjukkan besarnya kehilangan berat dan laju korosi pada sampel pelat baja setelah diekspos selama 30, 100 dan 400 hari di daerah industri tersebut. Dari grafik pada Gambar 11 terlihat pada waktu ekspos 30 hari menunjukkan laju korosi rata-rata sebesar 8,82 mdd, sedangkan pada waktu ekspos 400 hari terjadi peningkatan laju korosi rata-rata sebesar 13,94 mdd.



**Gambar 11.** Hasil pengujian korosifitas pada sampel pelat baja karbon di daerah industri seputar PT. Gateka Pulo Gadung Jakarta



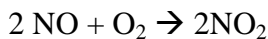
Sama halnya dari Tabel 6 terlihat adanya pengaruh S di daerah industri. Seperti kita ketahui untuk daerah industri adanya polutan dari gas buang seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan lain sebagainya. Komposisi kimia dan sifat fisik dari polutan SO<sub>2</sub> berubah selama transportasinya di udara. SO<sub>2</sub> dioksidasi pada partikel-partikel basah atau butiran air menjadi asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



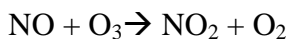
**Tabel 6.** Laju endapan SO<sub>2</sub> dalam beberapa jenis atmosfer<sup>[1]</sup>

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

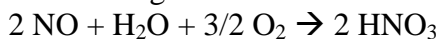
Sedangkan untuk NO<sub>x</sub> dalam proses produksi energi, NO<sub>x</sub> yang diemisikan dioksidasi secara berantai di udara menjadi NO<sub>2</sub>.



Pada jarak yang lebih jauh dari sumbernya dioksidasi oleh ozon (O<sub>3</sub>)



Polutan NO<sub>2</sub> sebagian besar terjadi di dekat sumber emisinya. Rasio NO<sub>2</sub>/NO di udara bervariasi dengan waktu dan jarak dari sumbernya, umumnya diantara 10 dan 100. Nitrogen oksida dapat dioksidasi menjadi asam nitrat ( HNO<sub>3</sub> ) dengan reaksi sebagai berikut :

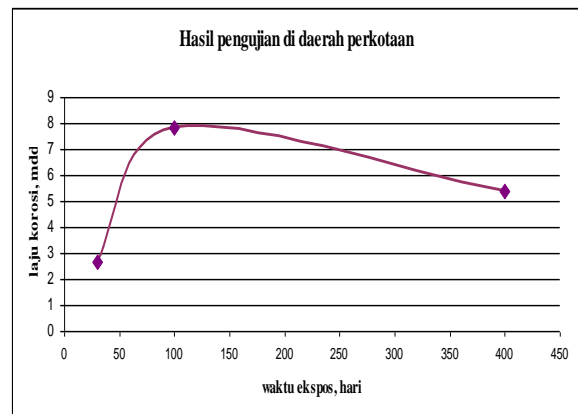


**Tabel 7.** Hasil pengujian korosifitas pada sampel pelat baja karbon di daerah Jalan Gatot Subroto Jakarta

Waktu Ekspos	Sampel	Berat ( gr)			Luas dm <sup>2</sup>	Laju korosi mdd
		Awal	Akhir	Selisih		
30 hari	1	41,6560	41,6364	0,0196	0,2400	2,6344
	2	42,6238	42,6034	0,0204	0,2400	2,7419

Laju oksidasinya sangat rendah, oleh karenanya kadar HNO<sub>3</sub> dan NO<sub>3</sub> sangat rendah di dekat sumber emisi. Pada jarak yang lebih jauh dari sumber emisi, *wet deposition* dari NO<sub>3</sub> lebih dominan dibandingkan dengan *dry deposition*. Sebaliknya di dekat sumber emisi, *wet deposition* lebih rendah daripada *dry deposition*, karena kelarutan NO dan NO<sub>2</sub> dalam air relatif rendah.

Untuk daerah perkotaan khususnya di Jalan Gatot Subroto Jakarta, foto visual sampel pelat baja karbon hasil ekspos ditunjukkan pada Gambar 9 (d). Tabel 7 serta Gambar 12 menunjukkan besarnya kehilangan berat pada sampel pelat baja dan laju korosi setelah diekspos di daerah tersebut dengan waktu ekspos 30, 100 dan 400 hari. Dari grafik pada Gambar 12 terlihat bahwa laju korosi meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya waktu ekspos. Laju korosi rata-rata setelah 30, 100 dan 400 hari berturut-turut adalah 2,68; 7,8 dan 5,38 mdd.



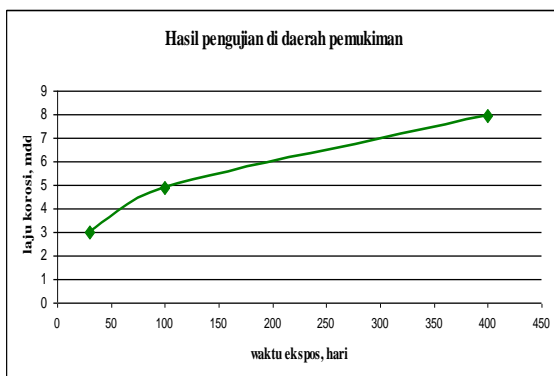
**Gambar 12.** Hasil pengujian korosifitas sampel pelat baja karbon setelah diekspos di daerah Jalan Gatot Subroto Jakarta

100 hari	1	43,0465	42,8318	0,2147	0,2400	7,8432
	2	-	-	-	-	-
400 hari	1	43,0916	42,5783	0,5133	0,2400	5,0205
	2	43,0456	42,4576	0,5880	0,2400	5,7512

**Tabel 8.** Hasil pengujian korosifitas pada sampel pelat baja karbon di daerah pemukiman Pondok Indah Jakarta

Waktu Ekspos	Sampel	Berat ( gr)			Luas $dm^2$	Laju korosi mdd
		Awal	Akhir	Selisih		
30 hari	1	42,7427	42,7126	0,0301	0,2400	3,0589
	2	42,3693	42,3404	0,0289	0,2400	2,9370
100 hari	1	42,6384	42,5420	0,0960	0,2400	4,8780
	2	-	-	-	-	-
400 hari	1	44,3768	43,6371	0,7397	0,2400	8,0263
	2	43,0644	43,0644	0,7220	0,2400	7,8342

Untuk mengetahui laju korosifitas dan kehilangan berat di daerah Pemukiman Pondok Indah Jakarta ditunjukkan pada Tabel 8. Pada Gambar 13 terlihat grafik laju korosi pada sampel baja karbon setelah dipapar selama 30, 100 dan 400 hari di daerah Pondok Indah Jakarta 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.



**Gambar 13.** Hasil pengujian korosifitas sampel pelat baja karbon setelah diekspos di daerah Pemukiman Pondok Indah Jakarta

Cukup menarik bahwa daerah pemukiman 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 pemukiman sangat tergantung juga akan kondisi adsorpsi lapisan air, embun, curah hujan (Tabel 9). 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 diatas harga dimana garam-garam mulai mengabsorpsi air dan melarutkan garam-garam tersebut.

**Tabel 9.** Jumlah air pada permukaan logam<sup>[4]</sup>

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 di sebabkan oleh kelembabaan nisbi, juga bisa berasal dari presipitasi air

hujan, kabut atau embun yang terbentuk melalui kondensasi uap air pada permukaan logam pada kondisi dingin.

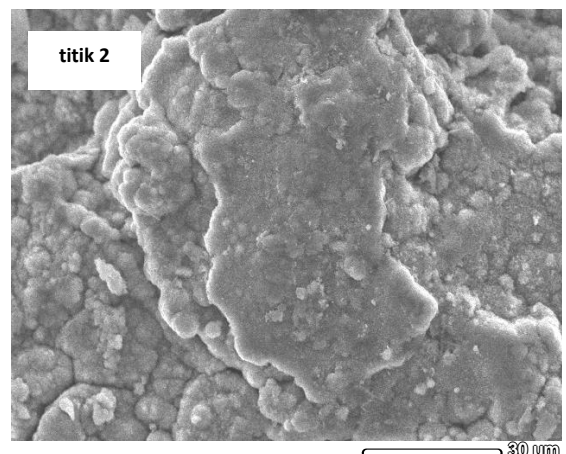
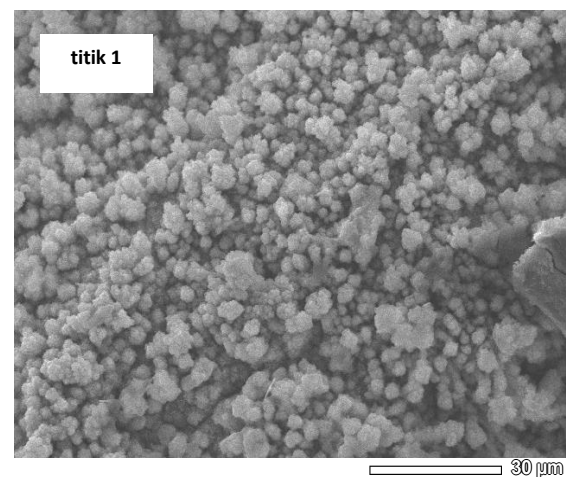
Embun merupakan salah satu penyebab utama terhadap korosi logam, khususnya bilamana struktur logam berada pada tempat tersembunyi, tidak secara langsung terekspos terhadap sinar matahari atau curah air hujan. Jumlah air pada permukaan yang tertutup oleh embun sekitar  $10 \text{ g/m}^2$ , yang mana ini lebih besar dari pada permukaan yang tertutup oleh *adsorption layer*. Periode pengembunan di anggap 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  $0,2 \text{ g/l}$  sulfat dan  $0,35 \text{ g/l}$  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  $\text{SO}_4^-$  dan  $\text{H}^+$  jumlahnya meningkat. Semakin tinggi konsentrasi  $\text{SO}_4^-$  dan  $\text{H}^+$  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.

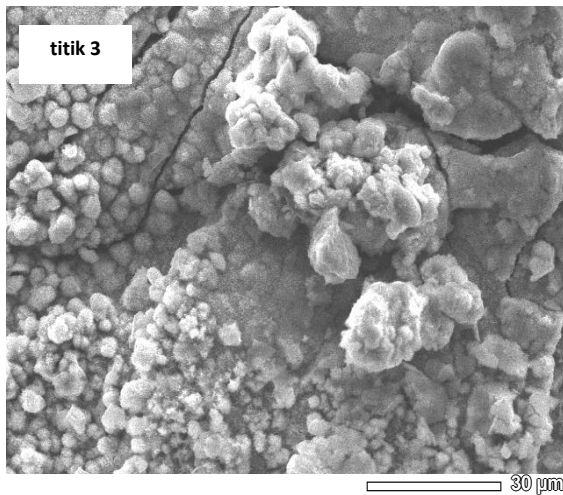
Semakin lama waktu pembasahan permukaan logam oleh lapisan air/elektrolit, semakin signifikan pengaruhnya terhadap korosi atmosferik. Lamanya pembasahan sangat bervariasi dengan kondisi cuaca setempat, yang mana ini tergantung kelembaban nisbi atmosfer,

lamanya dan frekuensi hujan atau penyinaran langsung oleh sinar matahari, pengembunan (*dew*), pengkabutan (*fog*), temperatur udara dan permukaan logam serta arah dan kecepatan angin.

### Hasil SEM-EDS

Foto hasil SEM-EDS pada permukaan sampel pelat baja karbon di daerah tepi pantai Ancol Jakarta ditunjukkan pada Gambar 14. Tampak permukaan pelat tersebut dipenuhi dengan produk-produk korosi setelah terekspos selama 30, 100 dan 400 hari.





**Gambar 14.** Foto hasil SEM-EDS pada permukaan pelat baja karbon yang diekspos di tepi Pantai Ancol Jakarta

Tabel 10 menunjukkan kandungan unsur-unsur yang terdapat pada permukaan pelat baja karbon setelah diekspos di daerah tepi Pantai Ancol Jakarta.

**Tabel 10.** Kandungan unsur-unsur hasil SEM-EDS pada pelat baja karbon yang diekspos di tepi Pantai Ancol Jakarta

Sampel	Unsur (% massa)		
	Fe	O	C
Tepi pantai	71,61	28,39	-
	72,40	27,60	-
	70,09	29,91	-

Tabel 11 menunjukkan kandungan unsur-unsur hasil SEM-EDS yang terdapat pada permukaan pelat baja karbon setelah diekspos di beberapa daerah DKI Jakarta yaitu daerah industri, perkotaan dan pemukiman.

**Tabel 11.** Hasil SEM-EDS pada sampel pelat baja karbon setelah diekspos di beberapa daerah DKI Jakarta

Sampel	Unsur (% massa)		
	Fe	O	C
Seputar PT. Gateka Pulo Gadung	85,85	14,15	-
	70,90	29,10	-
	76,60	23,40	-
Seputar PDII-LIPI Jalan Gatot Subroto	57,79	29,50	12,71
	65,84	24,00	10,16
	64,01	24,68	11,31

Pemukiman	71,80	28,20	-
Seputar Pondok Indah	75,57	24,43	-
	68,34	31,66	-

Dari hasil SEM-EDS yang dilakukan pada pelat baja karbon di beberapa daerah DKI Jakarta (Tabel 10 dan 11) tidak terlihat adanya kandungan ion Cl<sup>-</sup>. Hal ini dimungkinkan karena produk korosi yang terbentuk pada baja karbon adalah garam yang mudah larut yang timbul akibat adanya hujan. Adanya unsur C pada permukaan pelat baja karbon berasal dari polutan yang ada dan cukup mempengaruhi terbentuknya produk korosi.

## KESIMPULAN

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

1. Tingkat korosifitas di daerah DKI Jakarta dapat dibuatkan pemetaannya. Dari hasil pemetaan tersebut, tingkat korosifitas tertinggi di empat lokasi di DKI Jakarta adalah tepi pantai dengan laju korosi rata-rata 20,02 mdd. Sedangkan untuk daerah industri, daerah perkotaan dan pemukiman laju korosi rata-rata adalah 11,04; 4,79; dan 5,45.
2. Hasil penelitian di laboratorium menunjukkan material baja karbon terkorosi cukup signifikan dengan pengujian kabut garam. Hal ini menunjukkan hasil yang serupa dengan uji korosifitas di lapangan yang menunjukkan daerah pantai menghasilkan tingkat korosifitas yang lebih tinggi dibandingkan daerah industri, perkotaan dan pemukiman di Jakarta. Akan tetapi masih sulit untuk menentukan waktu ekspos di laboratorium setara dengan waktu ekspos di lapangan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih atas bantuan Drs. Sundjono untuk diskusi yang dilakukan serta peneliti dan teknisi Bidang Konservasi Bahan – Pusat Penelitian Metalurgi LIPI dalam pelaksanaan penelitian ini

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Roberge, Pierre R. 2000. *Handbook of Corrosion Enginee*, McGraw Hill.
- [2] Jones, A Denny. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*, Macmillan Publishing Company.
- [3] Shreir, L.L. 2000. *Corrosion volume 1 Metal/Environment Reactions*, Butterworth-Heinemann.
- [4] ASM Handbook. 1992. *Corrosion*. Volume 13, ASM International.
- [5] Ronald Nasoetion dan Iing Musalam. 2003. „Pemetaan Korosi untuk

mendukung usaha rehabilitasi DAS Citarum” . *Prosiding Simposium Sehari Rehabilitasi Daerah Aliran Sungai Citarum*, LIPI-BPLHD Jawa Barat.

- [6] Iing Musalam dan Ronald Nasoetion. 2005. „Penelitian Karakteristik Korosi Atmosfer di Daerah Pantai Utara Jakarta”. *Majalah KOROSI*. : 14, 1.
- [7] Roberge, Pierre R. 2007. *Corrosion Inspection and Monitoring*, A John Wiley & Sons, Inc.

## RIWAYAT PENULIS

**Ronald Nasoetion**, Alumni Akademi Geologi dan Pertambangan jurusan Metalurgi lulus tahun 1977. Melanjutkan pendidikan S1 di Institut Teknologi Bandung jurusan Metalurgi, lulus S1 tahun 1984 dan lulus S2 jurusan Rekayasa Korosi tahun 1994. Sejak tahun 1977 sampai dengan sekarang bekerja di Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI, Serpong.