

## PENGARUH TEBAL LAPISAN SEALANTS TERHADAP LAJU KOROSI ATMOSFERIK LINGKUNGAN ASAM SULFAT PADA PELAT LOGAM BADAN MOBIL

Dyah Sawitri, Agung Budiono dan Bagus Novan I.

Jurusan Teknik Fisika, FTI - ITS  
Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya 60111

### ABSTRAK

**PENGARUH TEBAL LAPISAN SEALANTS TERHADAP LAJU KOROSI ATMOSFERIK LINGKUNGAN ASAM SULFAT PADA PELAT LOGAM BADAN MOBIL.** Hujan asam merupakan salah satu penyebab korosi yang sangat besar pengaruhnya di kota-kota besar bagi pelat logam badan mobil. Selain itu kandungan garam di atmosfer juga turut mempengaruhi laju korosi di suatu tempat. Pelapisan *sealants* pada logam merupakan cara termudah dan termurah untuk dapat menurunkan laju korosi yang terjadi pada logam badan mobil. Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh tebal lapisan *sealants* terhadap laju korosi atmosferik lingkungan asam sulfat pada pelat logam badan mobil. Untuk mempercepat proses pengkorosian dalam penelitian ini digunakan instrumen berupa *fog chamber* dengan medium pengkorosi asam sulfat. Dari penelitian ini didapatkan bahwa tebal lapisan *sealants* 7 mils dapat menghambat laju korosi yang terjadi dengan kecepatan terkecil sebesar 1,4878 mm/y pada medium pH 3,00 dan laju korosi mencapai puncaknya pada waktu ekpos 20 jam sampai dengan 45 jam pertama. Semakin tebal lapisan *sealants* yang digunakan, semakin kecil laju korosi pada pelat logam badan mobil sesuai dengan persamaan secara umum  $w = 9.8189(s)^{-1.0898}$  untuk medium korosi pH 2,75,  $w = 21.77(s)^{-2.2964}$  untuk medium korosi pH 3,00, dan  $w = 29.159(s)^{-3.6574}$  untuk medium korosi pH 3,25. Dan laju korosi di lingkungan asam mempunyai kecenderungan 30 kali lebih cepat dari laju korosi di lingkungan garam.

**Kata kunci :** *Sealants*, laju korosi, lingkungan asam sulfat, pelat logam badan mobil

### ABSTRACT

**THE EFFECT OF SEALANTS THIN FILM EFFECTING THE SULPHATE ACID ATMOSPHERIC CORROSION ACTIVITY ON A CAR METAL PLATES.** Acid rain is one of the most problems that caused corrosion on car's body in a big city. Otherwise the salt composition in atmosphere can also affect corrosion action in someplace. Using sealant as a coating to protect the metals on a cars body is the easiest and cheapest way to decreasing the corrosion activity. There's research about the effect of sealants thin film affecting the sulphate acid atmospheric corrosion activity on a car metal plates in a salty condition. To increasing the corrosion rate process, in this research using an instrument such as a fog chamber that using sulphate acids as a corrosion medium. From this research are found that the thickness of sealants about 7 mils, can decelerate the corrosion process that occurs with slowest rate about 1.4878 mm/y on 3.00 pH medium and corrosion process got its peak level at the first 20 to 45 hours. Thicker the sealants that used, are smaller the corrosion process on a cars metal plate, with the general equation  $w = 9.8189(s)^{-1.0898}$  for corrosion medium pH 2,75,  $w = 21.77(s)^{-2.2964}$  for corrosion medium pH 3,00, and  $w = 29.159(s)^{-3.6574}$  for corrosion medium pH 3,25. And the corrosion process in the acid condition has an opportunity of 30 times faster than corrosion in salt condition.

**Key words :** Sealants, corrosion rate, sulphate acid atmospheric, car metal plates

### PENDAHULUAN

Peristiwa korosi dapat terjadi dimana saja, baik pada bahan logam maupun non logam. Dari peristiwa korosi yang terjadi, dapat menimbulkan kerusakan yang mengakibatkan kerugian baik secara ekonomi ataupun keamanan. Dalam banyak hal, korosi tidak dapat dihindarkan. Hampir semua material apabila berinteraksi dengan lingkungannya secara perlahan tapi pasti akan mengalami degradasi mutu bahan, pengertian ini

didefinisikan sebagai korosi. Proses korosi merupakan suatu gejala alamiah yang merupakan konsekuensi dari siklus kehidupan [1].

Tidak ada produk konsumtif yang lebih peka terhadap serangan korosi dibandingkan kendaraan bermotor. Benda ini hampir selalu berinteraksi dengan alam dan perubahannya. Mengalami perubahan suhu (panas dan dingin) hujan, hujan asam dan garam bahkan

polusi udara. Kendaraan bermotor ini diharapkan tahan terhadap benturan-benturan kerikil yang terlontar oleh kendaraan lain maupun roda-rodanya sendiri, terhadap polusi udara dari industri, rumah tangga dan pertanian, serta akibat penggunaan sebagai alat pelindung dari benturan. Meskipun demikian, walau telah digunakan bertahun-tahun, kendaraan mobil masih dituntut untuk berpenampilan sama dengan ketika masih berada dalam ruang pameran.

Udara yang mengandung  $\text{SO}_2$  dan  $\text{SO}_3$  jika bereaksi dengan uap air akan menyebabkan terjadinya hujan asam. pH air hujan yang mengandung oksida belerang ini dapat turun menjadi 4-3. Akibatnya timbul korosi pada logam-logam yang terkena air hujan hasil reaksi uap air dan senyawa belerang ( $\text{SO}_x$ ) [2]. Salah satu cara yang sering dilakukan untuk menghambat terjadinya korosi yaitu dengan memberikan lapisan bahan antikarat pada logam badan mobil sebelum proses pengecatan (*sealants*) [1].

Faktor yang berpengaruh pada proses pelapisan bahan antikarat adalah tekanan yang diberikan pada proses pelapisan dan tebal lapisan bahan antikarat yang menempel pada pelat logam badan mobil. Berdasarkan faktor yang berpengaruh tersebut, maka dalam makalah ini permasalahan yang akan dibahas lebih lanjut adalah bagaimana variasi tebal lapisan *sealants* yang digunakan dapat mempengaruhi laju korosi yang terjadi akibat korosi atmosfer lingkungan asam.

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tebal lapisan *sealants* dalam menghambat terjadinya korosi lingkungan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) pada pelat logam badan mobil. Dan untuk dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yaitu korosi di lingkungan garam ( $\text{NaCl}$ ) [3].

Pendekatan sistem yang digunakan untuk penyelesaian pada makalah ini adalah :

- Spesimen uji adalah potongan pelat logam badan mobil (Fe 98,98%) yang digunakan PT. Toyota Motor *Manufacturing* Indonesia dan telah dilapisi dengan bahan anti korosi dengan dimensi (100x50x1)mm dengan komposisi seperti pada Tabel 1 dibawah.

**Tabel 1.** Komposisi spesimen uji logam badan mobil.

Fe	98,98 %	Ni	0,3317 %
Mn	0,1178 %	Al	0,1021 %
P	0,0006 %	Cu	0,0640 %
S	0,0136 %	Ti	0,1158 %
Cr	0,134 %	V	0,0047 %
Mo	0,0177 %	W	0,0240 %

- Lapisan anti korosi yang digunakan adalah *sealants* tipe ZPG Henkel Jerman yang digunakan pada produksi badan mobil.

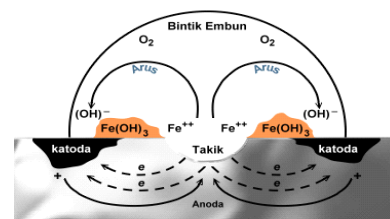
- Pengambilan data laju korosi di lingkungan statis dengan derajat keasaman larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebesar 2,75; 3,00 dan 3,25.
- Penentuan derajat keasaman larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dilakukan dengan pencuplikan air hujan didaerah berpolutan tinggi. (daerah industri dengan proses pembakaran minyak bumi / batubara pada jam kerja dan jam istirahat ).

## TEORI

### Mekanisme Korosi

Korosi adalah proses alamiah yang berlangsung dengan sendirinya secara perlahan-lahan tetapi pasti sehingga tidak ada bahan material logam yang dapat berfungsi secara abadi. Dalam jangka waktu tertentu, akan mengalami kerusakan dan tak berfungsi lagi, sehingga yang dapat dilakukan orang hanyalah mengendalikan proses korosi tersebut atau mengurangi kecepatannya, sehingga umur material bertambah panjang.

Jenis korosi ini terjadi akibat proses elektrokimia antara 2 bagian benda padat khususnya logam besi yang berbeda potensial dan langsung berhubungan dengan udara terbuka. Fakta menunjukkan bahwa hampir tidak ada material, khususnya logam besi yang bebas dari kotoran didalam materialnya, yang umum disebut *impurities*, yang berupa oksida dari metal besi tersebut akibat bereaksi dengan zat asam di udara, perbedaan struktural molekul dari material logam itu sendiri, serta perbedaan tegangan di dalam bagian-bagian logam tersebut. Secara alami hal-hal tersebut menimbulkan perbedaan potensial antara sebagian dari logam bersifat katodis, yakni kotoran oksida dan struktur molekuler yang katodis, serta bagian anodis, yakni bagian logam besi yang murni.



**Gambar 1.** Mekanisme korosi atmosferik

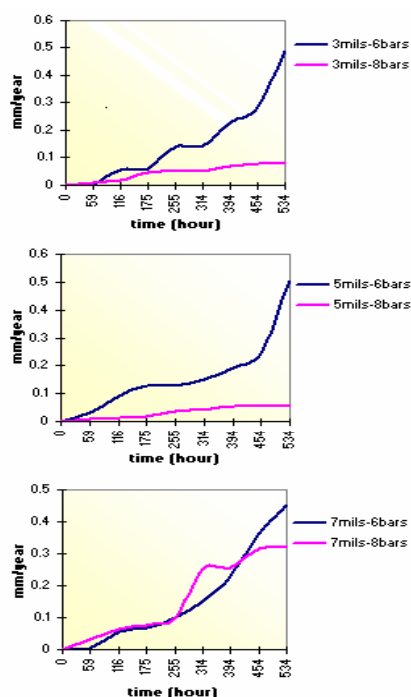
Jika keadaan udara terdapat banyak kotoran, debu sebagai pencemar, yang terkadang menimbulkan larutan yang bersifat asam jika bercampur dengan partikel-partikel air hujan ataupun air embun. Larutan yang pH-nya sangat rendah inilah yang berfungsi sebagai bahan penghantar (*elektrolyte*) yang sangat baik, sehingga terjadilah sel korosi didalam titik embun yang menempel pada permukaan yang memiliki beda potensial tersebut.

## Korosi di Lingkungan Garam

Lingkungan laut selalu kita anggap sebagai lingkungan yang korosif terhadap logam. Hal ini biasanya dikaitkan dengan nilai resistivitas yang rendah karena adanya kandungan klorida yang tinggi dari air laut. Suatu struktur logam di lingkungan laut, akan berada dalam satu kondisi atau lebih dalam zona lingkungan laut yaitu sebagai berikut : zona atmosfer laut, zona percikan air laut, zona pasang, zona terendam air laut, dan zona dasar laut. Karakteristik korosi di setiap zona berbeda-beda, cara penanggulangannya akan berbeda-beda. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi dari tiap zona berbeda, oleh karena itu sifat dan kecepatan korosinya berbeda.

Zona Korosi	Faktor Korosi	Kecepatan Korosi, mm/Y
Atmosfer	NaCl, suhu, kelembaban, hujan, angin	0.05 – 0.20
Percikan	NaCl, oksigen, basah, suhu, ombak	0.20 – 0.40
Pasang	Basah dan lembab, oksigen fouling, resistivitas	0.05 – 0.20
Terendam	Resistivitas, ombak, suhu, arus laut, polusi	0.10 – 0.20
Dasar Laut	Resistivitas tanah (lumpur), Polusi, bakteri	0.03 – 0.07

Dapat dilihat pada Gambar 2, perbandingan laju korosi dari variasi penggunaan lapisan *sealants*, untuk melindungi logam pada lingkungan garam.



Gambar 2. Grafik pertambahan laju korosi spesimen uji ketebalan lapisan 3 mil, 5 mil dan 7 mil [3].

## Korosi di Lingkungan Asam

Pada daerah industri terdapat *impurities* diatmosfer yang ditimbulkan misalnya oleh oksida sulfur sebagai hasil pembakaran minyak bumi dan batubara, disamping itu juga mengandung khlorida. Kombinasi HCL dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diatmosfer merupakan medium yang sangat korosif. Disamping itu *impurities* diatmosfer kebanyakan *hygroskopis* (menyerap air), ini akan menimbulkan korosi. Debu diatmosfer rata-rata dikota kadarnya 2 mg/m<sup>3</sup>, sedangkan diatmosfer yang terpolusi dengan hebat kadarnya bisa mencapai 1 g/m<sup>3</sup>. Debu disini mengandung karbon, metal oksida, partikel-partikel garam mineral dan oksida sulfur.

## Pengendalian Korosi Lingkungan Asam dengan Lapisan Pelindung

Salah satu cara yang umum dilakukan untuk menghindari bahaya korosi atmosferik terhadap struktur logam, ialah dengan melapiskan bahan pelindung anti korosi. Agar dapat memilih suatu jenis dan cara aplikasi bahan pelindung (*sealants*) yang tepat, memerlukan pengetahuan tentang karakteristik lingkungan atmosfer setempat.

Penggunaan bahan pelindung (*sealants*) dalam menghambat laju korosi juga dipengaruhi oleh faktor dari sifat-sifat material penyusun dari bahan pelindung korosi (*sealants*) seperti berat jenis, *pigment*, kemampuan menutupi permukaan (tebal), banyaknya pemakaian dan juga proses pemakaiannya.

*Sealants* berfungsi untuk mengisolasi pelat baja mobil agar tidak terjadi reaksi dengan udara luar (lingkungannya). Sifat dari *sealants* antara lain elastis, tahan abrasi, lentur, dan tidak berpori-pori. Untuk penggunaannya dibutuhkan tekanan tertentu, tekanan ini dibutuhkan agar *sealants* dapat masuk ke lipatan-lipatan pelat logam mobil. Spesifikasi dari *sealants* ZPG yang dipakai pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah :

Tabel 3. Spesifikasi dari sealants ZPG

Warna	: keabuan
Viscositas	: 90 ± 30 sec (ASTMD-1200, ¼"Ford Cup)
Water content	: kurang dari 1%
Drying time	: 3 jam – 4 jam
Full Dried	: 48 jam
High temp resistance	: 475 °F / 246,111 °C
Ukuran partikel primer	: 20 – 70 nanometer
Bentuk partikel	: :beraturan

## Perhitungan Laju Korosi

Dalam menghitung laju korosi yang umum dilakukan dengan metode pengukuran perubahan berat. Dimana pada keadaan awal material uji dianggap tidak mengalami korosi sama sekali. Sehingga perumusan laju

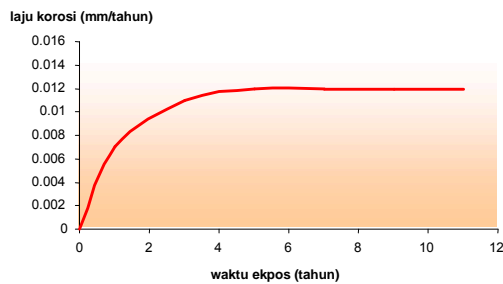
korosi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$corrosion.rate = \frac{K.W}{D.A.T} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan : W = weight loss (mg)  
 D = density (g/cm<sup>3</sup>)  
 A = area (inch<sup>2</sup>)  
 T = time (jam)  
 K = 3,45x10<sup>6</sup> untuk mils per year (mpy) dan  
 8,76x10<sup>4</sup> untuk milimeter per year (mm/y)

### Kondisi Jenuh Laju Korosi

Pada gambar grafik laju korosi terhadap waktu, terlihat kurva laju korosi membentuk kurva polinomial. Tetapi tidak semua kurva polinomial yang terbentuk mendekati kondisi jenuh. Kondisi jenuh disini adalah kondisi dimana laju korosi tidak lagi mengalami pertambahan atau peningkatan.

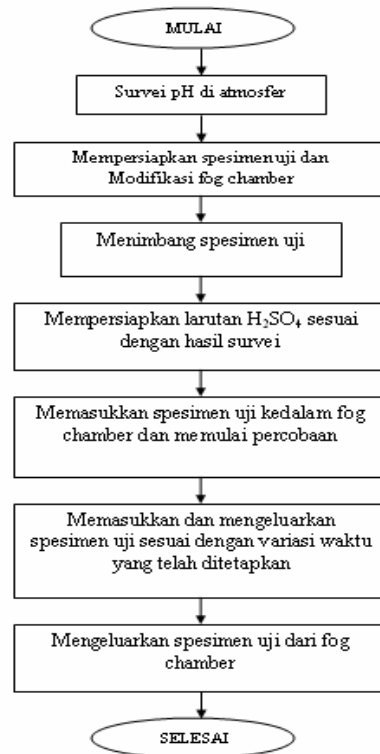


Gambar 3. Laju Korosi dalam keadaan jenuh pada persamaan kurva polinomial [9].

### METODE PERCOBAAN

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4. Tahap pra penelitian terdiri atas survei kondisi asam sulfat dilingkungan industri SIER-Surabaya, studi literatur, menentukan besarnya pH, menentukan spesimen uji, mengumpulkan data pendukung, menentukan alat pengambil data percobaan, mengumpulkan data pendukung serta pemilihan rancangan eksperimental, yaitu *The Static Group Comparison*.

Sedangkan tahap penelitian terdiri dari menimbang spesimen uji, melakukan percobaan



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

sesuai dengan yang diteloh ditentukan, menimbang spesimen uji setelah mencapai waktu ekspos dicapai .

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Penentuan Laju Korosi

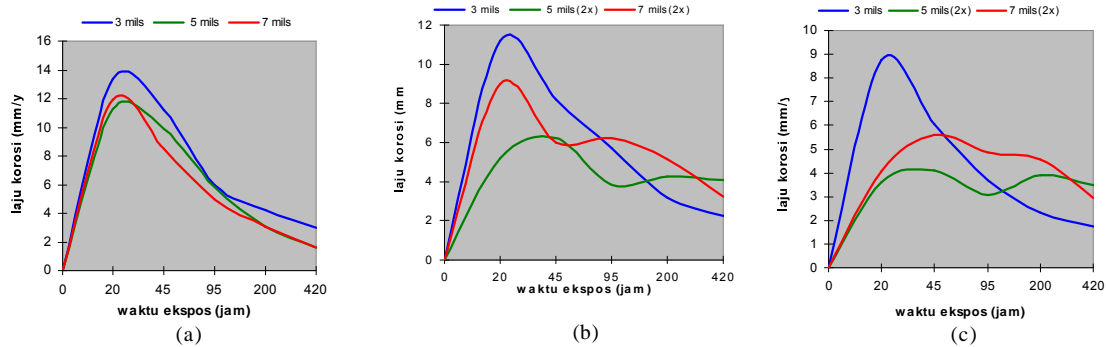
Dari eksperimen didapatkan data perubahan massa, data tersebut kemudian digunakan untuk menentukan laju korosi yang terjadi pada pelat logam badan mobil yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian. Perhitungan laju korosi menggunakan persamaan 1.

#### Analisis Data Laju Korosi

Dari Gambar 5 terlihat bahwa, laju korosi mengalami nilai paling tinggi terjadi pada selang waktu

Tabel 4. Laju korosi pada medium korosi pH 2,75, pH 3,00 dan pH 3,25

Waktu (jam)	Laju Korosi (mm/y)								
	pH 2,75			pH 3,00			pH 3,25		
	3 mils	5 mils	7 mils	3 mils	5 mils	7 mils	3 mils	5 mils	7 mils
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	13.4010	11.2906	11.9134	11.1869	2.5968	4.4956	8.7398	1.8065	2.0230
45	11.1869	9.8856	8.5416	8.1830	3.1112	2.9970	6.0596	2.0574	2.7972
95	5.9369	5.8473	4.9451	5.7161	1.9253	3.1232	3.6799	1.5450	2.4371
200	4.2184	3.0597	3.0907	3.1813	2.1339	2.5737	2.3189	1.9419	2.2815
420	2.9743	1.5968	1.5841	2.2418	2.0484	1.6055	1.7368	1.7366	1.4771



Gambar 5. Grafik pertambahan laju korosi pada medium pengkorosi dengan pH 2,75, pH 3,00 dan pH 3,25

sekitar 20 jam sampai dengan 45 jam pertama, ini terjadi pada setiap spesimen uji. Laju korosi maksimum yang terjadi pada percobaan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Laju maksimum korosi dan waktu ekspos.

Perlakuan							
Variasi (in/out) (jam)	pH 2,75						
	3 mils		5 mils		7 mils		
	LK	t	LK	t	LK	t	
4/20	14.51	28.1	12.41	28.3	11.62	28.2	
8/16	14.12	29.8	11.76	26.7	12.26	28.4	
12/12	13.72	27.3	11.41	27.4	12.04	29.0	
16/8	13.84	28.0	12.61	27.9	12.04	28.7	
20/4	13.72	29.0	12.61	25.6	11.82	28.6	
Perlakuan							
Variasi (in/out) (jam)	pH 3,00						
	3 mils		5 mils		7 mils		
	LK	t	LK	t	LK	t	
4/20	11.24	26.7	2.91	32.2	4.76	23.1	
8/16	11.61	27.1	3.46	28.3	4.43	23.4	
12/12	11.21	27.6	2.74	45.2	4.58	23.2	
16/8	12.10	27.4	3.35	28.1	4.59	23.2	
20/4	11.97	26.8	2.72	27.4	4.64	23.1	
Perlakuan							
Variasi (in/out) (jam)	pH 3,25						
	3 mils		5 mils		7 mils		
	LK	t	LK	t	LK	t	
4/20	9.52	21.3	1.71	45.0	2.98	24.3	
8/16	10.31	20.2	1.60	45.0	2.98	28.3	
12/12	8.91	21.8	1.84	37.3	2.12	45.3	
16/8	9.12	21.6	1.72	43.4	2.87	24.4	
20/4	9.41	21.4	1.03	45.0	2.76	24.3	

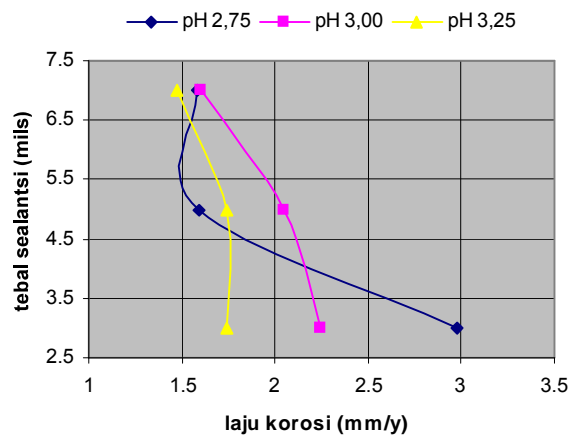
LK = Laju korosi maksimum (mm/y) (in/out) = spesimen uji berada di dalam/ di luar fog chamber (jam)  
 t = Waktu ekspos (jam)

Berdasarkan pengamatan secara visual selama melakukan percobaan, ini dapat disebabkan pada waktu ekspos 0-20 jam belum nampak lapisan oksida hasil korosi yang terbentuk, sehingga menyebabkan laju korosi bertambah, namun setelah 20 jam sudah mulai tampak terbentuknya lapisan oksida hasil korosi pada permukaan spesimen uji. Lapisan oksida ini menutupi sebagian dari permukaan spesimen uji yang menerima pengkabutan dari medium pengkorosi. Ini sesuai dengan teori laju korosi selanjutnya terpengaruh oleh sifat dari film hasil korosi yang berkumpul di permukaan spesimen uji tetapi untuk menentukan sifat dari oksida yang dihasilkan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

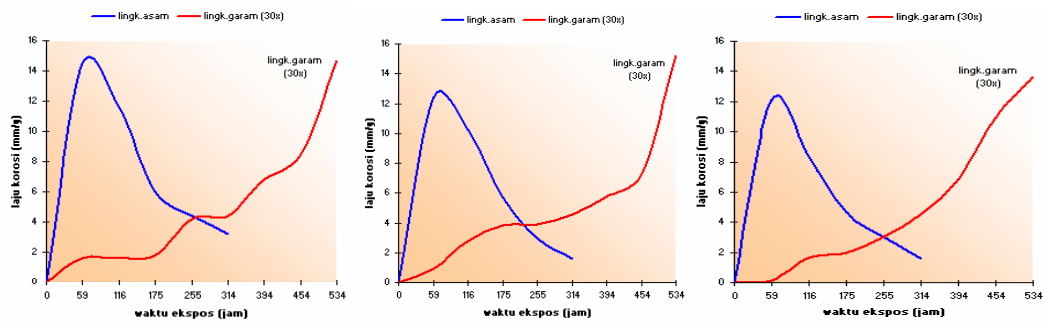
Keadaan laju korosi yang terjadi pada 30 jam pertama mengalami kenaikan, kemudian mengalami kecenderungan menurun setelah 30 jam pertama, kecenderungan ini dialami pada semua spesimen uji pada medium pengkorosi dengan pH 2,75, pH 3,00 dan pH 3,25.

Dalam penelitian ini telah dapat ditentukan pengaruh tebal lapisan sealants terhadap laju korosi dilingkungan asam. Ketebalan sealants yang paling baik dalam melakukan perlindungan terhadap pelat logam badan mobil yaitu pada tebal 7 mil, meskipun dari pengamatan secara visual, pada tebal lapisan 7 mil ketika mencapai waktu ekspos 420 jam sebagian lapisan sealants yang diberikan pada spesimen uji mengalami *blistering*, sedangkan pada lapisan dengan tebal 5 mil belum terlihat terjadinya *blistering* pada lapisan sealants yang diberikan.

Dari Gambar 6 terlihat hubungan dari tebal sealants dengan laju korosi membentuk kurva mendekati linier untuk medium korosi dengan pH 3,00, pH 3,25 dan pH 2,75 kurva secara umum membentuk kurva eksponensial dengan persamaan umum  $w = as^{-b}$  dengan persamaan  $w = 9.8198(s)^{-1.0898}$  untuk medium korosi pH 2,75,  $w = 21.77(s)^{-2.2964}$  untuk medium korosi pH 3,00, dan  $w = 29.159(s)^{-3.6574}$  untuk medium korosi pH 3,25.



Gambar 6. Grafik laju korosi terhadap tebal sealants untuk spesimen uji (12/12).



Gambar 1. Perbandingan Laju korosi dilingkungan asam terhadap lingkungan garam untuk spesimen uji tebal sealants 3 mils, 5 mils dan 7 mils

Lingkungan asam maupun lingkungan garam dianggap sebagai lingkungan yang korosif terhadap material logam, berdasarkan hasil penentuan laju korosi dari percobaan sebelumnya [3], diperoleh hasil seperti pada Gambar 7.

Dari Gambar 7 didapat bahwa laju korosi dilingkungan asam memiliki laju korosi sebesar 30 kali laju korosi dilingkungan garam. Tetapi dari gambar juga terlihat bahwa korosi di lingkungan garam dalam jangka waktu yang lama mengakibatkan kerusakan yang lebih besar dibandingkan dengan korosi di lingkungan asam.

Laju korosi terendah dialami spesimen uji dengan tebal lapisan sealants 7 mil, dengan laju korosi sebesar 0,45389 mm/y dengan waktu ekspos selama 534 jam di media lingkungan garam sedangkan dalam medium lingkungan asam pH 3,00 laju korosi 1,4878 mm/y dengan waktu ekspos selama 420 jam. Ini menunjukkan, semakin tebal lapisan sealants maka laju korosi yang terjadi semakin kecil.

## KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin tebal lapisan sealants yang digunakan semakin kecil laju korosi yang terjadi pada pelat logam badan mobil sesuai dengan persamaan  $w = 9.8198(s)^{-1.0898}$  untuk medium korosi pH 2,75,  $w = 21.77(s)^{-2.2964}$  untuk medium korosi pH 3,00, dan  $w = 29.159(s)^{-3.6574}$  untuk medium korosi pH 3,25.
2. Laju korosi maksimum untuk setiap spesimen uji dicapai pada waktu ekspos 20 jam sampai dengan 45 jam pertama.
3. Laju korosi terkecil terjadi pada perlakuan tebal lapisan sealants 7 mils pada medium pengkorosi pH 3,00 dengan laju korosi sebesar 1,4878 mm/y.
4. Laju korosi dilingkungan asam mempunyai kecenderungan 30 kali lebih cepat dari laju korosi lingkungan garam.

## DAFTARACUAN

- [1] JONES, DENNY A., *Principles and Prevention of Corrosion*, MacMillan Publ. Corp., Singapore, (1992)

- [2] FONTANA, M.G. and GREENE, N.D., *Corrosion Engineering*, Edisi ke-2, McGraw Hill, New York, (1978)
- [3] TRI S.,ARI P., *Optimalisasi Sealants Dengan Metode Anova Klasifikasi Dua Arah Terhadap Korosi Atmosfer Lingkungan asam Pada Pelat Logam Mobil*, Tugas Akhir, Teknik Fisika ITS, Surabaya, (2004)
- [4] SMITH, WILLIAM F., *Principles of Material Science And Engineering*, Edisi ke-3, McGraw Hill, New York, (1996)
- [5] TRETHERWEY, K.R. and CHAMBERLIN, J., *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, (1991)
- [6] NURLAINI, *Korosi dan Penanggulangannya*, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Pusat Riset Dirgantara, Bandung, (1980)
- [7] IDIRIYANI, dkk, *Studi Lingkungan Korosi*, Laporan Penelitian, Lembaga Metalurgi Nasional, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta, (1982)
- [8] RABALD, ERICH., *Corrosion Guide*, Edisi kedua, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, (1983)
- [9] \_\_\_\_\_, *Annual Book of ASTM Standards: Wear and Erosion; Metal Corrosion*, Volume 03.02 , American Society for Testing and Material, Philadelphia, (1994)
- [10] SURYABRATA, SUMADI., *Metodologi Penelitian*, PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta, (2004)