

## LAJU KOROSI BAJA KARBON HASIL *POWDER COATING* DAN PENGECATAN CAIR

Muhammad Arifullah<sup>1</sup>, Ike Widyastuti<sup>2</sup>, Mardjuki<sup>3</sup>

### Abstraksi

*Powder coating* merupakan salah satu jenis pelapisan menggunakan bahan serbuk dan mulai banyak digunakan sebagai pengganti pelapisan menggunakan pengecatan cair. Pada penelitian ini dilakukan pengujian korosi dari produk dengan pelapisan menggunakan *powder coating* dan pengecatan cair untuk mendapatkan data ketahanan korosi hasil pelapisan. Media korosi yang digunakan adalah HCl dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> selama 144 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil *powder coating* menunjukkan ketahanan korosi yang lebih tinggi sekitar 6 kali lipat dibandingkan hasil pengecatan cair baik menggunakan media korosi HCl maupun H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Sementara pada pengujian menggunakan beda media korosi menunjukkan bahwa H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> merupakan media korosif yang lebih kuat terhadap hasil pelapisan baik pada hasil *powder coating* maupun pengecatan cair dibandingkan HCl pada kondisi konsentrasi yang sama.

**Kata Kunci :** *Powder Coating*, Cat Cair, Laju Korosi

### PENDAHULUAN

Proses pelapisan logam merupakan proses *finishing* dari suatu proses produksi yang banyak diaplikasikan dalam bidang industri. Pelapisan merupakan proses pengendapan partikel pelapis pada permukaan logam baik secara elektrolisis maupun non elektrolisis. Keuntungan dari proses pelapisan antara lain adalah melindungi permukaan logam dari pengaruh lingkungan yang mengakibatkan terjadinya korosi pada logam. Selain itu pelapisan juga dapat meningkatkan nilai jual sebagai fungsi dari nilai dekoratif. Salah satu proses pelapisan logam yang dapat dilakukan adalah pelapisan menggunakan cara pengecatan. Cara pengecatan dapat dilakukan antara lain dengan cara pelapisan serbuk (*powder coating*) dan pengecatan cair (*spraying*). Keuntungan dari proses *powder coating* adalah bahan pelapis yang digunakan tahan terhadap lingkungan dan apabila terkena langsung sinar matahari warna dan

kualitasnya tidak cepat menurun. Berdasarkan pemikiran tersebut, maka proses *powder coating* ini digunakan untuk lain yang mudah dan sering dilakukan adalah dengan pengecatan cair (menggunakan semprot). Tujuan dari kedua cara ini terutama adalah untuk menghindari terjadinya korosi pada permukaan logam. Hal ini yang menjadi dasar dilakukan penelitian tentang laju korosi pada hasil pelapisan *powder coating* dan pengecatan cair .

Permasalahan yang dirumuskan adalah bagaimana perbedaan laju korosi pada logam hasil *powder coating* dan pengecatan cair/organik. Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian ini untuk mengetahui kualitas hasil pelapisan yang didapat melalui laju korosi hasil dari *powder coating* dan pengecatan cair/organik.

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Parameter pelapisan :

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

<sup>3</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

- Temperatur pengecatan menggunakan temperatur ruang
  - Jarak pengecatan 0,5– 1 meter
  - Penyemprotan benda kerja 3 – 4 kali
  - Panas tungku untuk *powder coating* adalah 160°C - 200°C
2. Logam dasar yang digunakan adalah baja
  3. Bahan pelapis yang digunakan adalah cat serbuk (*powder*) dan cat cair
  4. Pengujian laju korosi
    - Larutan pengkorosi yang digunakan adalah HCl (asam klorida) dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (asam sulfat)
    - Waktu pengkorosian 6 hari (144 jam)

## KAJIAN PUSTAKA

*Powder coating* merupakan salah satu sistem pengecatan yang tidak mempergunakan bahan cair/pengencer yang biasa dilakukan pada cat konvensional. *Powder coating* umumnya dipakai untuk melapisi permukaan logam seperti besi dan aluminium. Daya rekat bahan pelapis dapat diperoleh yang maksimal dapat diperoleh dengan proses *pretreatment* yang benar. Proses *pretreatment* dilakukan sebelum pengecatan yaitu bahan yang akan dicat dibersihkan baik secara mekanik maupun kimia. Selanjutnya dilakukan proses pemansan (*sintering*) dalam *oven* dengan suhu 186°C - 220°C dengan tujuan serbuk (*powder*) dapat melekat dengan sempurna (terjadi difusi antara logam dasar dengan bahan pelapis).

*Powder coating* sepenuhnya adalah proses *finishing* kering yang terdiri dari partikel-partikel yang dihaluskan seperti

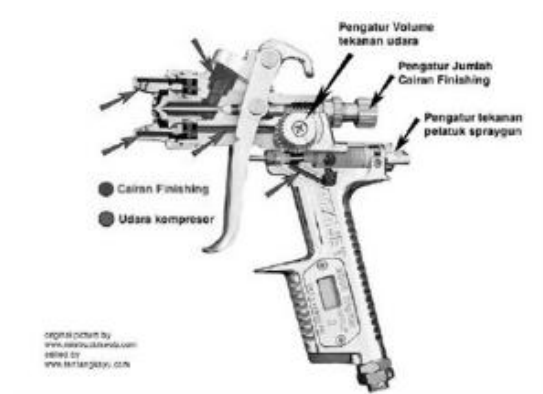
resin, pigmen dan bahan baku lainnya yang diberikan muatan elektrostatis, kemudian disemprotkan ke objek yang akan dilapisi atau di cat. Objek benda yang akan diproses dengan *powder coating* ini terlebih dahulu dibersihkan dari segala bentuk kotoran termasuk minyak dan debu dengan tujuan untuk mengurangi kegagalan dalam proses pelapisan (*coating*).

Terdapat 2 jenis bahan *powder coating* yang tersedia untuk melapisi permukaan suatu benda kerja antara lain :

- a. **Thermoplastic** ; Material bubuk ini akan mengalami pencairan jika benda kerja mendapat perlakuan panas.
- b. **Thermosetting** ; Merupakan bahan yang kuat dan tidak akan mencair kembali walaupun benda kerja mendapat perlakuan panas.

## Cara kerja alat *powder coating*

Alat yang umum digunakan pada *powder coating* yaitu *electric spray gun*. Pada dasarnya terdapat 3 kontrol utama pada *spray gun* yaitu :



Gambar1. **Electric Spray Gun**

1. Pengatur volume jumlah udara keluar biasanya terletak di samping *spray gun* dan berfungsi untuk mengatur jumlah

udara yang keluar dalam sekali tekanan pelatuk. Udara bertekanan tersebut, akan keluar melalui lubang di ujung *spray gun* dan segera bercampur dengan bahan *finishing* menjadi partikel yang kecil (*atomized*). Arah dan ukuran bahan yang bercampur udara tadi diatur oleh lubang angin di ujung *spray gun* (*air horn*). Panel ini pula yang mengatur lebar dan arah semprotan. Dasar pengaturannya sama dengan pengatur bahan *finishing*.

2. Pengatur volume bahan *finishing*, kontrol ini berfungsi untuk mengatur besar-kecilnya jumlah bahan yang keluar dalam sekali tekan/semprot. Sebenarnya panel ini mengatur jarak lubang *nozzle* dengan jarum *nozzle* ketika pelatuk *spray gun* ditekan. Jarak tersebut yang membuat udara bertekanan menarik bahan *finishing* keluar.
3. Pengatur tekanan udara merupakan kontrol terakhir yang digunakan untuk mengatur semprotan *finishing*. Kontrol ini mengatur besar kecilnya tekanan udara yang masuk melalui *spray gun*. Semakin kecil tekanan yang akan digunakan, semakin besar 'pattern' bahan yang tercapai.

### **Tahapan proses *powder coating***

#### ***Surface conditioning***

Proses ini berfungsi untuk menghaluskan permukaan logam secara mekanis sering disebut sebagai *surface treatment*.

#### ***Degreasing***

Fungsi *degreasing* adalah untuk menghilangkan oli, *grease*, dan pengotor lainnya yang terdapat pada permukaan logam (*metal*).

#### ***Pickling***

Proses *pickling* merupakan perlakuan pada *metal surface* menggunakan proses kimiawi (direndam dalam larutan kimia) dengan tujuan untuk menghilangkan karat ataupun kotoran yang ada di permukaan logam.

#### ***Phosphating***

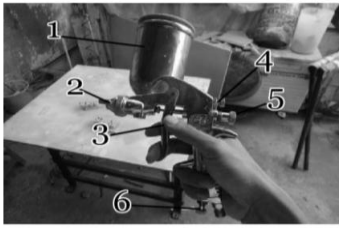
Proses ini merupakan proses utama dalam *pretreatment* dimana terjadi reaksi kimia antara logam dasar dan larutan *phosphat* yang menghasilkan *coating* anti karat.

#### ***Water rinse after phosphating***

*Water rinse* setelah *phosphating* berfungsi untuk membersihkan permukaan logam yang telah ter-*coating* dari sisa reaksi dalam proses *phosphating*.

#### **Pengertian semprot cair**

*Spray gun* cat cair digunakan untuk mengatomisasikan benda cair, umumnya cat. Dengan menggunakan *spray gun*, hasil pengecatan akan menjadi lebih baik dan menghemat pemakaian cat dibanding menggunakan kuas. Untuk mendapatkan hasil pengecatan yang baik saat menggunakan *spray gun*, maka harus memperhatikan bagian-bagian *spray gun* sebagai berikut :



Gambar 2. Alat *Spray Gun Cair*

- 1 Tabung/tangki cat
- 2 *Nozzle cap*
- 3 Tuas *spray/trigger*
- 4 Panel pengatur luas semburan cat
- 5 Panel pengatur jumlah cat yang dikeluarkan dari *nozzle*
- 6 Panel untuk mengatur tekanan udara yang masuk ke *spray gun*

### Korosi

Korosi didefinisikan sebagai kerusakan logam akibat reaksi kimia atau elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Korosi yang terjadi pada logam tidak dapat dihindari, akan tetapi dapat ditekan seminimal mungkin dengan melakukan proses pengendalian korosi. Kerugian yang ditimbulkan oleh korosi antara lain:

- a. Berkurangnya ketebalan logam mengakibatkan menurunnya kekuatan, sehingga dapat mengakibatkan kegagalan komponen.
- b. Hasil reaksi korosi yang menempel pada permukaan mengakibatkan tampilannya menjadi buram.
- c. Korosi dapat mengakibatkan kebocoran/kelonggaran pada komponen, sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik.
- d. Dapat menghentikan proses produksi.
- e. Biaya perawatan dan perbaikan cukup besar sebagai akibat korosi.

### Penyebab korosi

Korosi merupakan reaksi kimia yang terjadi secara alami dan spontan. Logam dapat bereaksi dengan faktor luar dan menyebabkan korosi. Penyebab korosi antara lain .

- a. Tingginya reaktivitas logam
- b. Adanya zat pengotor
- c. Adanya udara bebas dan uap air
- d. Adanya zat-zat elektrolit

### Laju korosi

Laju korosi juga dikenal dengan rasio korosi yang dihitung berdasarkan pada permukaan yang terekspos lingkungan dihitung menggunakan rumus :

$$m_{py} = \frac{534w}{DAT}$$

$m_{py}$  = *mils per years*

$W$  = *weight loss ( mg )*

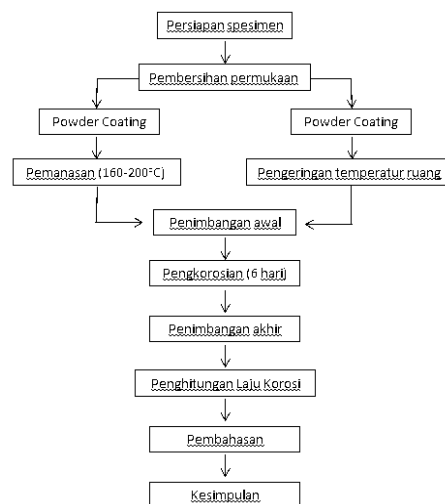
$D$  = *density ( g/cm<sup>3</sup> )*

$A$  = *surface area (in<sup>2</sup>)*

$T$  = *ekposure time (hours)*

### METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan mengikuti diagram alir sebagai berikut :

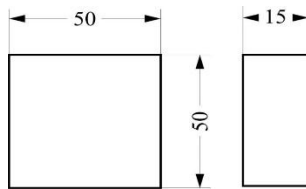


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

**Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan:

- a. Alat untuk proses pelapisan :
  - Alat *spray gun*
  - Kompresor
  - Alat semprot cat cair
  - Dapur (oven) pemanas
  - Timbangan digital
- b. Bahan pengujian
  - Logam dasar baja karbon
  - Dimensi spesimen uji 50x50x15 (mm)



Gambar 4. Dimensi Spesimen Uji

- Larutan pengkorosi HCl dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Bahan pelapis menggunakan serbuk dan cat cair

**Proses pelapisan**

Parameter pelapisan :

- a. Temperatur pengecatan menggunakan temperatur ruang
- b. Jarak pengecatan 1 – 1,5 meter
- c. Penyemprotan spesimen uji 3 – 4 kali

- d. Panas tungku untuk *powder coating* adalah 160°C - 200°C

**Pengujian korosi**

Pengujian yang dilakukan adalah uji korosi dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Persiapan spesimen hasil pelapisan
- b. Penimbangan awal spesimen uji sebelum melakukan pengkorosian
- c. Celupkan media ke dalam wadah yang berisi cairan HCl dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- d. Waktu pengkorosian selama 6 hari (144 jam)
- e. Penimbangan akhir spesimen uji sesudah pengkorosian
- f. Hitung laju korosi

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berikut adalah tabel hasil pengukuran dan penimbangan spesimen sebelum dan sesudah proses pengkorosian.

**Rumus perhitungan laju korosi**

Laju korosi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$mpy = \frac{534w}{DAT}$$

Tabel 1. Luas Penampang dan Berat Spesimen Sebelum dan Sesudah Laju Korosi

Jenis pengecatan	Larutan pengkorosi	Kode bahan	A <sub>0</sub> (in <sup>2</sup> )	A <sub>i</sub> (in <sup>2</sup> )	Δ A (in <sup>2</sup> )	w <sub>0</sub> (g)	w <sub>i</sub> (g)	Δ w (g)
Powder coating	HCl	AC <sub>1</sub>	12.4	12.4	0	303.52	303.32	0.2
		AC <sub>2</sub>	12.4	12.4	0	303.52	303.22	0.3
		AC <sub>3</sub>	12.4	12.4	0	303.52	303.42	0.1
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	AS <sub>1</sub>	12.4	12.4	0	303.52	301.92	1.6
		AS <sub>2</sub>	12.4	12.4	0	303.52	301.32	1.2
		AS <sub>3</sub>	12.4	12.3	0.1	303.52	301.32	2.2
Pengecatan cair	HCl	BC <sub>1</sub>	12.4	12.4	0	303.52	301.62	1.9
		BC <sub>2</sub>	12.4	12.4	0	303.52	300.82	2.7
		BC <sub>3</sub>	12.4	12.4	0	303.52	300.92	2.6
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	BS <sub>1</sub>	12.4	11.79	0.61	303.52	290.52	13
		BS <sub>2</sub>	12.4	11.91	0.49	303.52	291.52	12.5
		BS <sub>3</sub>	12.4	11.85	0.55	303.52	290.22	13.3

Keterangan :

A<sub>0</sub> : luas penampang awal  
 A<sub>i</sub> : luas penampang akhir  
 ΔA: luas yang hilang

w<sub>0</sub> : berat awal  
 w<sub>i</sub> : berat akhir  
 Δw : berat hilang

Tabel 2. Hasil Perhitungan Laju Korosi

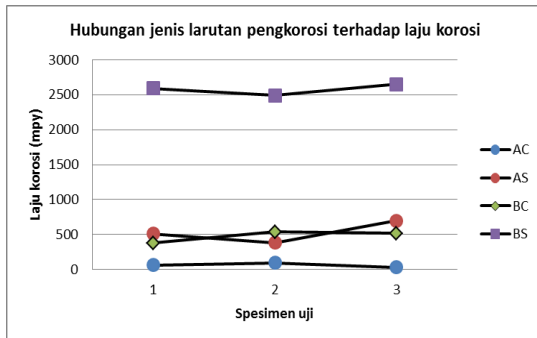
Jenis pengecatan	Larutan pengkorosi	Kode bahan	A (in <sup>2</sup> )	W (mg)	D (g/cm <sup>3</sup> )	T (jam)	Laju korosi (mpy)	Laju korosi rata-rata
Powder coating	HCl	AC <sub>1</sub>	12.4	200	0.94	144	63.63	63.63
		AC <sub>2</sub>	12.4	300	0.94	144	95.44	
		AC <sub>3</sub>	12.4	100	0.94	144	31.81	
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	AS <sub>1</sub>	12.4	1600	0.94	144	509.04	530.25
		AS <sub>2</sub>	12.4	1200	0.94	144	381.78	
		AS <sub>3</sub>	12.4	2200	0.94	144	699.93	
Pengecatan cair	HCl	BC <sub>1</sub>	12.4	1900	1.5	144	378.81	478.49
		BC <sub>2</sub>	12.4	2700	1.5	144	538.31	
		BC <sub>3</sub>	12.4	2600	1.5	144	518.37	
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	BS <sub>1</sub>	12.4	13000	1.5	144	2591.85	2578.55
		BS <sub>2</sub>	12.4	12500	1.5	144	2492.16	
		BS <sub>3</sub>	12.4	13300	1.5	144	2651.66	

Gambar 5. Hasil Pengamatan Visual

Kode bahan	Gambar	Keterangan
AC <sub>1</sub>		Setelah pencelupan tidak terjadi korosi dan spesimen tetap terlindungi oleh cat.
AC <sub>2</sub>		Setelah pencelupan tidak terjadi korosi dan spesimen tetap terlindungi oleh cat.
AC <sub>3</sub>		Setelah pencelupan tidak terjadi korosi dan spesimen tetap terlindungi oleh cat.
AS <sub>1</sub>		Setelah pencelupan tidak terjadi korosi dan spesimen tetap terlindungi oleh cat.
AS <sub>2</sub>		Setelah pencelupan tidak terjadi korosi dan spesimen tetap terlindungi oleh cat.
AS <sub>3</sub>		Korosi yang terjadi tidak sampai menembus ke logam dasar, hanya pada lapisan cat, korosi hampir tidak tampak.
BC <sub>1</sub>		Lapisan cat terkorosi dan terkelupas sehingga mengakibatkan terjadinya korosi pada permukaan spesimen.
BC <sub>2</sub>		Terjadi pengelupasan lapisan cat yang menyebabkan terjadinya korosi pada permukaan spesimen.
BC <sub>3</sub>		Terjadi pengelupasan lapisan cat yang menyebabkan terjadinya korosi pada permukaan spesimen.
BS <sub>1</sub>		Reaksi korosi terjadi cukup cepat sehingga lapisan cat terkorosi di seluruh permukaan lapisan cat hingga menembus ke permukaan logam dasar. Permukaan spesimen terlihat lebih gelap kecoklatan akibat korosi yang terjadi di permukaan logam dasar.
BS <sub>2</sub>		Reaksi korosi terjadi cukup cepat sehingga lapisan cat terkorosi di seluruh permukaan lapisan cat hingga menembus ke permukaan logam dasar. Permukaan spesimen terlihat lebih gelap kecoklatan akibat korosi yang terjadi di permukaan logam dasar.
BS <sub>3</sub>		Reaksi korosi terjadi cukup cepat sehingga lapisan cat terkorosi di seluruh permukaan lapisan cat hingga menembus ke permukaan logam dasar. Permukaan spesimen terlihat lebih gelap kecoklatan akibat korosi yang terjadi di permukaan logam dasar.

## Pembahasan

Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan laju korosi di dapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 5. Grafik Hubungan Jenis Larutan Pengkorosi terhadap Laju Korosi Spesimen

## Perbandingan laju korosi berdasarkan jenis pelapisan

Pada logam hasil pelapisan menggunakan *powder coating* memiliki laju korosi yang lebih rendah dibanding menggunakan pengecatan cair. Hal ini dapat dilihat berdasarkan gambar 5 grafik di atas, pada spesimen dengan pengecatan cair (kode bahan BC dan BS) memiliki laju korosi yang cukup tinggi baik menggunakan media HCl maupun H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Harga laju korosi rata-rata dengan media HCl sebesar 478.49 mpy dan menggunakan media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 2578.55 mpy. Spesimen menggunakan pelapisan *powder coating* memiliki harga laju korosi rata-rata lebih rendah yaitu sebesar 63.63 mpy dengan media HCl dan 530.25 mpy dengan media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Hasil pelapisan dengan *powder coating* memiliki harga laju korosi yang lebih rendah hal ini disebabkan perbedaan bahan pelapis yang digunakan. Pelapisan menggunakan

*powder coating* menggunakan bahan dasar termo plastik sementara pada proses pengecatan cair menggunakan bahan pelapis organik. Bahan plastik yang digunakan pada *powder coating* merupakan bahan termoplastik yang merupakan kelompok material polimer yang memiliki sifat dasar tahan korosi, sehingga dapat dikatakan bahwa, pelapisan logam menggunakan *powder coating* memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan logam dengan pengecatan cair.

## Perbandingan laju korosi berdasarkan larutan pengkorosi

Berdasarkan grafik pada gambar 5 bisa dilihat bahwa laju korosi terjadi paling besar pada hasil uji korosi menggunakan larutan pengkorosi asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Hal ini terjadi baik pada hasil pengecatan menggunakan *powder coating* maupun pengecatan cair (kode bahan AS dan BS). Hasil laju korosi rata-rata dengan larutan asam sulfat pada spesimen hasil *powder coating* sebesar 530.25 mpy dan pada spesimen hasil pengecatan cair diperoleh data laju korosi sebesar 2578.55 mpy, dengan laju korosi terbesar terjadi pada spesimen ketiga hasil pengecatan cair yaitu sebesar 2651.66 mpy.

Laju korosi dapat berjalan dengan cukup cepat karena terjadinya reaksi dengan asam sulfat yang cukup kuat sehingga mengakibatkan terjadinya pengelupasan cat yang berlanjut dengan korosi pada permukaan logam dasar. Hal ini tampak dari hasil pengamatan visual bahwa, spesimen

baik pada pelapisan menggunakan *powder coating* maupun pengecatan cair sama-sama mengalami korosi dengan tampilan permukaan logam yang berwarna lebih gelap kecoklatan.

Asam sulfat merupakan jenis asam mineral yang cukup kuat dan banyak terdapat di alam bahkan pada air hujan. Asam sulfat memiliki sifat yang mampu larut dalam air dan mampu mengoksidasi logam, sehingga mampu mengkorosikan logam dengan cepat.

### **Pengamatan visual spesimen setelah uji korosi**

Pengamatan visual dilakukan pada spesimen setelah proses uji korosi. Berdasarkan hasil pengamatan tampak bahwa spesimen hasil *powder coating* lebih tahan terhadap larutan HCl maupun H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dibandingkan spesimen hasil pengecatan cair. Hal ini tampak dari permukaan cat masih rata dan tidak terkelupas pada pengecatan *powder coating*, sedangkan pada spesimen hasil pengecatan cair sudah terkelupas. Pada pengujian korosi menggunakan media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang terjadi adalah seluruh lapisan cat mengalami pengelupasan sehingga korosi terjadi pada seluruh permukaan logam dasar dengan ditandai terjadinya perubahan warna logam dasar menjadi lebih gelap dan kecoklatan, sehingga dapat dikatakan bahwa pengecatan menggunakan *powder coating* lebih tahan terhadap asam daripada pengecatan cair. Hal ini juga dapat disebabkan karena adanya proses pemanasan (*sintering*) pada proses pelapisan menggunakan *powder coating*, sehingga

difusi antara bahan pelapis dan logam induk dapat terjadi lebih kuat. Hal ini yang dapat meningkatkan kestabilan ikatan atom, sehingga lapisan tidak mudah terkelupas.

### **SIMPULAN**

Kesimpulan yang dapat di ambil dari hasil laju korosi adalah :

1. Pengecatan *powder coating* memiliki ketahanan korosi yang lebih baik terhadap HCl dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dibandingkan pengecatan cair
2. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> merupakan media yang lebih korosif dibanding HCl terhadap pelapisan logam hasil pengecatan cair maupun *powder coating*.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Arifullah M, 2016, **Perbedaan Hasil Laju Korosi Powder Coating dan Pengecatan Cair pada Baja Karbon**, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang.
- Fontana, Mars Guy, 1987, **Corrosion Engineering**, McGraw-Hill Internasional Edition.
- Gama Tirta Sanjaya, 2009, **Analisa Korosi Mur Baut dengan atau Tanpa Plat dengan Menggunakan Media Air Laut, Air Biasa Serta Udara**, Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang.
- <http://sci-pusat.blogspot.co.id/2012/09/powder-coating-apa-dan-bagaimana.html>
- R.E. Smallman. Bishop, 2000, **Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material**, Edisi ke enam, Penerbit Erlangga.
- West, J.M. 1980. **Basic Corrosion and Oxidation**, Ellis Horwood.