



**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN *ACCELERATOR*
ASAM NITRIT (HNO_2) PADA PROSES *PHOSPHATING* DI
APLIKASI *POWDER COATING MILD STEEL ST 37***

SKRIPSI

Oleh
Mohammad Arif Ramdhoni
NIM 111910101083

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN *ACCELERATOR*
ASAM NITRIT (HNO_2) PADA PROSES *PHOSPHATING* DI
APLIKASI *POWDER COATING MILD STEEL ST 37***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
Mohammad Arif Ramdhoni
NIM 111910101083

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu tersayang yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang, dan pengorbanan yang tidak kenal lelah hingga saat ini serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan hati;
2. Kakakku M. Yusmaniar Rezza yang selalu memberikan arahan, motivasi dan pelajaran-pelajaran berharga;
3. Kekasihku tersayang Novita Try Jayanti yang tidak pernah lelah memberikan semangat serta doa yang tidak pernah henti dihaturkan setiap harinya;
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Utama, bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji anggota yang telah banyak sekali saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini;
5. Saudaraku TM 11 UJ yang senantiasa memberikan motivasi dan semangat selama perkuliahan hingga saat ini dan semoga akan selalu menjadi “DULUR SAK LAWASE”. Semoga kalian semua mendapatkan yang terbaik dan barokah-NYA.
6. PT. Sinar Industri Panel yang memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian mengenai *coating*.
7. Serta civitas akademik baik dilingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait

MOTTO

In ahsantum ahsantum li-anfusikum, wa ina as'tum falaha.

“Jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik bagi dirimu sendiri, dan jika kamu berbuat jahat, maka kejahatan itu untuk dirimu sendiri.”
(terjemahan Surat Al-Isra’ ayat 7)^{*)}

"Dan kami perintahkan kepada manusia (agar berbuat baik) kepada kedua ibu bapaknya, ibunya yang telah mengandungnya dalam keadaan lemah yang semakin lemah, dan menyukannya selama dua tahun. Bersyukurlah kepadaKu dan kepada dua orang ibu bapakmu, hanya kepada-Ku-lah kembalimu."
(terjemahan Surat Luqman ayat 14)^{*)}

*The more you give, the more you will get. ^{**)}*

Do whatever you like, be consistent, and success will come naturally.

Happiness is not money, but a peace of mind and soul.

^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al-Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo

^{**)} Bruno Giussani. 2014. *TEDGlobal 2012*. Inggris: *Theguardian Winner Of The Pulitzer Price 2014*.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Mohammad Arif Ramdhoni

NIM : 111910101083

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN *ACCELERATOR* ASAM NITRIT (HNO_2) PADA PROSES *PHOSPHATING* DI APLIKASI *POWDER COATING* MILD STEEL ST 37” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Juni 2015

Yang menyatakan,

(Mohammad Arif Ramdhoni)

NIM 111910101083

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN
ACCELERATOR ASAM NITRIT (HNO₂) PADA PROSES
PHOSPHATING DI APLIKASI POWDER COATING MILD
STEEL ST 37**

Oleh

Mohammad Arif Ramdhoni
NIM 111910101083

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. FX. Kristianta, M.Eng.

Dosen Pembimbing Anggota : Sumarji, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur Dan *Accelerator* Asam Nitrit (HNO₂) Pada Proses *Phosphating* Di Aplikasi *Powder Coating* Mild Steel ST 37” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Jumat, 5 Juni 2015

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.
NIP 19650120 200112 1 001

Anggota I,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP 19681205 199702 1 002

Sekretaris,

Sumarji, S.T., M.T.
NIP 19680202 199702 1 001

Anggota II,

Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.
NIP 19691201 199602 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP. 19610414 198902 1 001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Temperatur Dan Accelerator Asam Nitrit (HNO₂) Pada Proses Phosphating Di Aplikasi Powder Coating Mild Steel ST 37; Mohammad Arif Ramdhoni, 111910101083; 2015; 111 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Powder coating adalah proses *finishing* kering. Untuk mencapai daya rekat serta ketahanan korosi yang maksimal sebelum dilakukan pelapisan, material yang akan dilapisi diberikan *pretreatment* tertentu. Dalam proses *pretreatment* dilakukan proses *phosphating* yang bertujuan untuk meningkatkan gaya *adhesi* antara *powder* pelapis dengan material logam yang dilapisi. Pada proses ini ditambahkan larutan *accelerator* asam nitrit (HNO₂) serta peningkatan temperature guna memperoleh hasil maksimal serta mempercepat reaksi *phosphating*.

Dalam penelitian ini, difokuskan tentang peningkatan nilai ketebalan lapisan *coating* yang akan mempengaruhi nilai laju korosi spesimen uji. Variasi yang digunakan adalah temperatur pada suhu ruangan, 45°C, 55°C, 65°C dan *accelerator nitrous acid* sebanyak 1,8 gr/liter, 2,7 gr/liter, 3,6 gr/liter.

Penelitian ini dilakukan di 3 tempat berbeda. Laboratorium Manufaktur Kemasan Fakultas Teknik Universitas Jember untuk melakukan preparasi dan *pretreatment*. PT. Sinar Industri Panel – Malang untuk melakukan proses *coating*. Laboratorium metalurgi – ITS untuk melakukan pengujian ketebalan dan pengujian kabut garam (*sat spray test*).

Dari hasil penelitian didapat nilai ketebalan lapisan maksimal pada variasi 55°C serta *accelerator* 3,6 gr/liter sebesar 126,915 µm dan nilai laju korosi terbaik pada ketebalan optimal 101,168 µm sebesar 0,04755 mg/dm²day yang diperoleh dari variasi temperatur 55°C serta *accelerator* 2,7 gr/liter.

SUMMARY

The Influences Of Temperature Variety And HNO₂ Accelerator On The Phosphating Process In Powder Coating Mild Steel ST 37 Application; Mohammad Arif Ramdhoni, 111910101083; 111 Pages; *Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty, University of Jember.*

Powder coating is dry finishing process. To reach an adhesive power and the maximum corrosion endurance to the material, a certain pretreatment applied to the material before it's coating. In the pretreatment process, a phosphating process applied to reach an adhesive power between powder coating and the metal. In this process, the material get a nitrit acid (HNO₂) accelerator solution and increased the temperature to get the maximum result and fasten phosphating reaction.

The research focus into the enhancement value toward coating layer thickness which has influence to the value of the corrosion specimen experiment current. The used temperature variation are room temperature, 45°C, 55°C, 65°C and nitrous acid accelerator about 1,8 gr/liter, 2,7 gr/liter, 3,6 gr/liter.

This research had been located in 3 (three) different places, those are Package Manufacturing Laboratory - Engineering Faculty of Jember University to run some preparation and pretreatment. PT. Sinar Industri Panel – Malang to run the coating process. And last, Metalurgy Laboratory – ITS to run thickness test and salt spray test.

The outcome from this research is the best value of the thickness coating maximum in 126,915 µm which have 55 °C temperature variation and 3,6 gr/liter accelerator and the best value of the corrosion current in an optimum thickness 101,168 µm which have 0,04755 mg/dm²day in 55 °C temperature variation and 2,7 gr/liter accelerator.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur Dan *Accelerator* Asam Nitrit (HNO_2) Pada Proses *Phosphating* Di Aplikasi *Powder Coating* Mild Steel ST 37”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dapat penulis rasakan setiap detik dalam hidup ini.
2. Ibu Uswatun NIsak yang selalu mengajarkan pelajaran hidup yang tidak kenal lelah, kasih sayang, perhatian, materi, serta yang utama adalah doa yang selalu beliau haturkan setiap saat.
3. Kakakku M. Yusmaniar Rezza yang selalu memberikan motivasi, semangat serta pelajaran-pelajaran yang begitu menarik.
4. Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama, Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji anggota yang telah banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penulisan skripsi ini;
6. Bapak Dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
7. Kekasihku tersayang Novita Try Jayanti yang tidak pernah lelah untuk mengingatkan penulis untuk selalu menjadi yang terbaik bagi agama, keluarga dan semua orang;

8. Keluarga kekasihku Ibu Oris Setiani dan Bapak Harsono yang penulis anggap sebagai orang tua penulis dan telah memberi semangat serta doanya;
9. Bapak Dekan yang telah memberikan banyak pelajaran berharga dan selaku bapak kos yang baik bagi penulis;
10. Saudaraku Teknik Mesin 11 universitas jember Ihsan, Anugrah, Febri, Rudin, Wildan, Abid, Bangkit, Angga, Novan, Pemi, Riza, Agung Sabun, Aang, Anas, Irsad, Jupri, Anton, Asrofi, Agung, Mar'iy, Rizki, Amril, Aris, Vian, Ika, Farihen, Rofiq, Sigit, Mukri, Romi, Muslih, Adit, Halim, Mahfud, Rizal, Sujat, Hegar, Gundul, Yohanes, Ario, Aisyah, Yurike, Malik, Haqi, Agus, Kalil, Patek, Imron, dll yang selalu mengarjarkan arti pengorbanan, dan pelajaran hidup yang begitu menarik. semoga kita akan selalu menjadi “DULUR SAK LAWASE”. Semoga kalian semua mendapatkan yang terbaik dan barokah dari-NYA.
11. Saudaraku “MLENDEZZ” Pepe, Ayip, Rijal, Jack, Rasid, Firman, Brian, Rendra, Jija, Brian, Chaidir, Samy, Sigit, Ika, Ucup, Chudin, Ahong, Evi, Faiz, Ajeng, Ima, Penceng, Leli, dll. Semoga kita dapat sering-sering berkumpul “LUR”.
12. Saudaraku Teknik UJ yang memberikan kebahagiaan, emosi, kesedihan, pengertian dan semangatnya untukku;
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat

Jember, 5 Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian <i>Powder Coating</i>	5
2.1.1 <i>Pretreatment</i>	8
2.1.2 <i>Kelebihan Powder Coating</i>	9
2.2 Pengertian Cat	10
2.2.1 Jenis – Jenis Cat	10
2.2.2 Komposisi Cat	11

2.3	<i>Conversion Coating</i>	15
2.4	<i>Phosphating</i>	16
2.5	<i>Percepatan Reaksi Kimia</i>	19
2.5.1	Konsentrasi	19
2.5.2	Luas Permukaan Sentuhan	21
2.5.3	Suhu (Temperatur).....	22
2.5.4	Percepatan kimia (<i>Accelerator</i>)	24
2.6	Jenis-Jenis Cacat pada Lapisan	32
2.6.1	<i>Solvent pop</i> dan <i>pin hole</i> (lubang jarum)	32
2.6.2	<i>Peeling</i> (daya lekat kurang baik/mengelupas)	34
2.6.3	Cacat <i>Wrinkling</i> (pengerutan cat)	35
2.6.4	Cacat <i>cracking</i>	36
2.6.5	Cacat <i>runs</i>	36
2.6.6	Cacat <i>dirt and dust clear coat</i>	37
2.7	Baja Mild Steel ST 37	38
2.8	Korosi	39
2.9	Faktor Penyebab Terjadinya Korosi	44
2.9.1	Sifat Material	44
2.9.2	Faktor Lingkungan	45
2.10	Metode yang Digunakan	48
2.10.1	Metode kehilangan berat	48
2.10.2	Metode Pengujian Eksperimen 2 Faktorial	48
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	53
3.1	Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian	53
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	53
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	53
3.2.1	Alat.....	53
3.2.2	Bahan	54
3.4	Prosedur Penelitian	54
3.5	Pelaksanaan Penelitian	55
3.5.1	Persiapan alat	55

3.5.2	Persiapan dan pembuatan spesimen uji.....	55
3.5.3	Pembuatan larutan <i>phosphating</i>	56
3.5.4	<i>Pretreatment</i>	56
3.5.5	<i>Coating</i>	57
3.5.6	Pengujian ketebalan lapisan cat	57
3.5.7	Pengujian <i>salt spray</i>	58
3.6	Analisis Data	60
3.6.1	Analisis dengan Metode Gravimetri	60
3.6.2	Pengambilan Data	61
3.7	Hipotesis	61
3.8	Diagram Alir	62
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	64
4.1	Data Percobaan	64
4.1.1	Hasil Pengujian Ketebalan	64
4.1.2	Hasil Pengujian <i>Salt Spray</i>	64
4.2	Analisis Statistik	65
4.2.1	Pengujian Hipotesis pada Ketebalan Lapisan	65
4.2.2	Pengujian Hipotesis pada Nilai Laju Korosi.....	67
4.3	Pembahasan	69
4.3.1	Ketebalan Lapisan Pengecatan.....	69
4.3.2	Nilai Laju Korosi	77
4.3.3	Cacat Pada Lapisan Cat.....	83
BAB 5.	PENUTUP	89
5.1	Kesimpulan	89
5.2	Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	.....	91
LAMPIRAN 1. TABEL DATA	.....	93
LAMPIRAN 2. GAMBAR DAN ALAT PENGUJIAN	.....	107

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
2.1 Arah aliran powder atau <i>wrap round effect</i>	5
2.2 Proses <i>powder coating</i>	6
2.3 Sistem <i>coating</i> dua lapis	7
2.4 Komponen-komponen penyusun cat	11
2.5 Tumbukan partikel konsentrasi.....	19
2.6 Grafik pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi	20
2.7 Tumbukan antar partikel luas permukaan	21
2.8 Grafik pengaruh luas permukaan terhadap laju reaksi	22
2.9 Tumbukan antar partikel temperatur	22
2.10 Grafik Distribusi Maxwell-Boltzmann dan energi aktivasi.....	24
2.11 Diagram energi potensial reaksi tanpa katalis dan dengan katalis	25
2.12 Cacat <i>boiling, blisterin, solvent boil, boil</i> , atau <i>solvent pop</i>	33
2.13 Cacat <i>pin hole</i>	33
2.14 Cacat <i>peeling</i>	34
2.15 Cacat <i>wrinkling</i>	35
2.16 Cacat <i>cracking</i>	36
2.17 Cacat <i>runs</i>	37
2.18 Cacat <i>dirt and dust clear coat</i>	37
2.19 Proses pengkorosian logam.	41
2.20 Korosi karena logam tidak homogen.....	43
2.21 Pengaruh pH terhadap laju korosi pada besi.....	46
3.1 Penampang Spesimen Uji	55
3.2 Perendaman pada suhu ruangan (<i>pickling, water rinse, sufacing</i>)	56
3.3 Pemanasan larutan <i>phosphating</i>	57
3.4 <i>Coating thickness gauge</i>	58
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	62
4.1 Grafik ketebalan lapisan cat pada penambahan <i>accelerator</i> 1,8 gr/lt	70
4.2 Grafik ketebalan lapisan cat pada penambahan <i>accelerator</i> 2,7 gr/lt.....	71

4.3	Grafik ketebalan lapisan cat pada penambahan <i>accelerator</i> 3,6 gr/lt.....	72
4.4	Grafik ketebalan lapisan cat.....	73
4.5	Perbandingan spesimen setelah <i>pretreatment</i> dan setelah <i>coating</i>	76
4.6	Grafik nilai laju korosi.....	78
4.7	Grafik nilai laju korosi terhadap ketebalan lapisan	80
4.8	Permukaan hasil <i>coating</i> tekstur (a) dan (b).....	81
4.9	Perbandingan setelah <i>pretreatment</i> , <i>coating</i> dan <i>salt spray test</i>	82
4.10	Cacat <i>peeling</i>	84
4.11	Cacat <i>solvent pop</i>	85
4.12	Cacat <i>runs</i>	85
4.13	Cacat <i>dirt and dust clear coat</i>	86
4.14	Cacat <i>cracking/crazing</i>	87
4.15	Cacat <i>pinholing</i>	87

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
2.1 Pengelompokan <i>Accelerator</i>	28
2.2 Baja Konstruksi menurut ONORM M 3111	38
2.3 Klasifikasi Baja Carbon	39
2.4 Tabel Anova	51
4.1 Daftar ANOVA eksperimen faktorial ketebalan lapisan	66
4.2 Daftar ANOVA eksperimen faktorial nilai laju korosi	68

DAFTAR LAMPIRAN

	HALAMAN
LAMPIRAN 1. TABEL DATA	93
A1.1 Hasil pengujian data tebal lapisan <i>powder coating</i> (μm)	93
A1.2 Nilai Ketebalan (μm).....	95
A1.3 Hasil Pengukuran Data Pengujian <i>Salt Spray</i>	96
A1.4 Nilai Laju Korosi Total dan Rata-rata ($\text{mg}/\text{dm}^2\text{day}$).....	98
A1.5 Data uji statistik nilai laju korosi terhadap variasi uji	100
A1.6 Spesifikasi Baja ST 37	101
A1.7 Spesifikasi <i>Cat Powder</i>	102
A1.8 Spesifikasi standar <i>Pretreatment</i> PT Sinar Industri Panel	104
A1.9 Tabel informasi jumlah sampling per-kategori pada ketebalan lapisan ...	104
A1.10 Tabel informasi rata-rata dan standar deviasi pada ketebalan lapisan	105
A1.11 Tabel informasi jumlah sampling per-kategori pada nilai laju korosi	105
A1.12 Tabel informasi rata-rata dan standar deviasi pada nilai laju korosi.....	106
LAMPIRAN 2. GAMBAR DAN ALAT PENGUJIAN	107

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Powder coating merupakan proses *finishing* yang sangat berkembang pesat dewasa ini. *Powder coating* tidak menggunakan bahan cair atau cairan pengencer yang biasa digunakan dalam proses finishing. *Powder coating* adalah proses kering dimana bahan resin, pigmen dan lain-lain dihaluskan serta diberikan muatan elektrostatis yang kemudian disemprotkan ke material yang akan dilapisi. Untuk mencapai daya rekat serta ketahanan korosi yang maksimal maka sebelum dilakukan pelapisan, material yang akan dilapisi dibersihkan dan diberikan *pretreatment* tertentu.

Dalam proses pelapisan ini juga terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi kualitas pelapisan selain dari bahan cat itu sendiri. Faktor tersebut dapat berupa perlakuan awal proses pelapisan, proses pelapisannya, dan pengerjaan akhir atau pengeringan cat itu sendiri (Dekrit, 2014). Tipe cat *powder* yang digunakan pada PT. Sinar Industri Panel (SIP) adalah *corro-coat* MX 8003. Digunakannya cat ini karena cat ini memiliki beberapa keunggulan yang mendukung akan pembuatan *box* panel sendiri. Cat ini merupakan jenis *polyester* yang memiliki sifat tahan korosi, stabilitas warna, dan aliran seragam yang baik.

Proses *pretreatment* sangat berpengaruh terhadap hasil pelapisan. *Powder* tidak akan menempel dengan sempurna tanpa media khusus yang diberikan pada permukaan material sebelum melalui proses *coating*. Media ini yang disebut dengan *phosphate* yang diperoleh dari proses *pretreatment*. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan debu dan minyak yang menempel pada material dengan tujuan untuk mengurangi kegagalan dalam proses *coating*. *Powder coating* umumnya diaplikasikan untuk komponen elektronik, *furniture* dan panel listrik. Pada panel listrik umumnya baja yang digunakan adalah jenis *Zinc alume* dan *Mild steel* ST 37, seperti yang digunakan oleh PT. Sinar Industri Panel yang diaplikasikan sebagai

kerangka dalam pembuatan panel listrik. Material ini dipilih karena memiliki sifat mekanik mampu bentuk yang cukup baik dan sifat las yang baik sangat mempermudah proses pembentukan maupun perakitan suatu produk. *Mild steel* ST 37 merupakan baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0-0,3% dengan paduan utama besi (Fe) dan karbon (C), serta unsur lain seperti Mn dan Si. Namun, penggunaan *Mild steel* ST 37 ini juga memiliki kekurangan salah satunya adalah kurang lamanya bertahan akibatnya adanya degradasi permukaan material atau yang disebut korosi (Ambiyar, 2008:75).

Aplikasi dari *powder coating* biasanya digunakan dibebagai tempat tidak terkecuali daerah tepi pantai. Kita tahu bahwa di daerah pantai material logam akan lebih mudah terkorosi karena penguapan air laut yang mengandung garam. Uap-uap garam yang terbawa oleh angin akan menempel pada material logam sehingga mempercepat terjadinya degradasi pada permukaan logam (korosi). Untuk mengatasi korosi maka dalam proses *pretreatment* dilakukan proses *phosphating* yang bertujuan untuk meningkatkan gaya *adhesi* antara *powder* pelapis dengan material logam yang dilapisi. Pada proses ini ditambahkan larutan *accelerator* asam nitrit (HNO_2) serta peningkatan temperatur larutan guna memperoleh hasil yang maksimal serta mempercepat reaksi pada proses *phosphating*. Selain meningkatkan gaya adhesi, *phosphating* juga memberikan perubahan permukaan logam sehingga memiliki sifat-sifat non-metalik dan non-konduktif. Oleh sebab itu, pada tugas akhir ini dilakukan analisa untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan *accelerator* asam nitrit (HNO_2) pada proses *phosphating* di aplikasi *powder coating* *Mild steel* ST 37.

1.2 Rumusan Masalah

Proses *phosphating* dalam bagian proses *pretreatment* sangat berpengaruh terhadap hasil pelapisan dan peningkatan perlindungan korosi. Pada penelitian kali ini dirumuskan beberapa masalah antara lain:

1. Bagaimana hasil ketebalan lapisan *powder coating* setelah dilakukan penambahan *accelerator* dengan variasi temperatur.

2. Bagaimana hasil lapisan cat secara visual setelah dilakukan penambahan *accelerator* dengan variasi temperatur.
3. Bagaimana pengaruh lapisan cat yang dihasilkan dari perlakuan *pretreatment* terhadap laju korosi.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencegah pembahasan yang lebih luas, maka pembahasan dari penelitian skripsi ini ditetapkan dengan batasan dan asumsi sebagai berikut:

1. Baja *Mild steel* ST 37 yang digunakan sesuai yang tersedia di PT. SIP.
2. Tidak membahas tentang proses *powder coating*
3. Proses *powder coating* dilakukan sesuai *standart* yang dilakukan di PT. SIP.
4. Tidak melakukan pengamatan struktur mikro.
5. Variasi temperatur yang digunakan adalah suhu ruangan, 45°C, 55°C, 65°C dan penambahan *accelerator nitrous acid* sebanyak 1,8 gr/liter, 2,7 gr/liter, 3,6 gr/liter.
6. Konsentrasi larutan *pretreatment* sesuai standart di PT. SIP.
7. Pengujian ketebalan lapisan cat menggunakan *thickness gauge* (elektro *physic*).
8. Pengamatan laju korosi menggunakan *salt spray test*.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil ketebalan lapisan *coating* pada *mild steel* ST 37 setelah dilakukan variasi temperatur dan *accelerator*.
2. Mengetahui cacat-cacat yang terjadi setelah dilakukan proses pelapisan.
3. Menghitung laju korosi di daerah pantai yang terjadi setelah dilakukan pelapisan dengan variasi yang dihasilkan dari perlakuan *pretreatment* dan mengetahui ketebalan optimal lapisan *coating*.

1.4.2 Manfaat dari penelitian ini adalah:

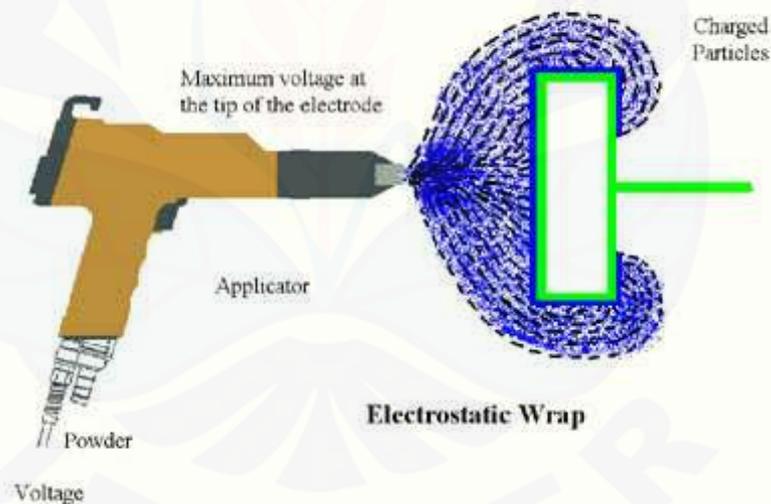
1. Memberikan informasi dan data bagi pihak-pihak yang memerlukan hasil dari pengaruh variasi temperatur dan *accelerator* HNO_2 pada proses *phosphating*, dalam hal ini adalah PT. SIP.
2. Menambah pengetahuan, wacana, dan acuan bagi peneliti lanjutan dengan tema yang sama untuk pengembangan teknologi yang lebih modern dari hasil penelitian ini.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Powder Coating*

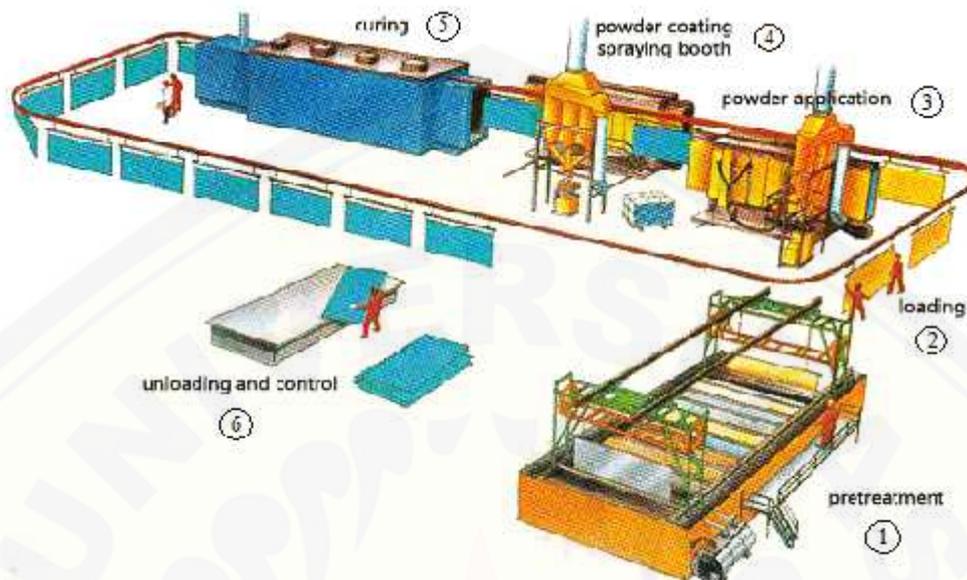
Powder coating sepenuhnya adalah proses *finishing* kering. Yang terdiri dari partikel-partikel yang dihaluskan, seperti *resin*, *pigmen*, dan bahan baku lainnya yang diberikan muatan elektrostatis dan disemprotkan ke objek yang akan dilapisi atau dicat. *Powder coating* merupakan proses pelapisan pada permukaan logam dengan suatu lapisan film, kemudian dipanaskan untuk polimerisasi dan mengawetkan *coating*. *Powder* dilekatkan pada permukaan profil material dengan menggunakan alat *electric spray gun*. Partikel yang bermuatan negatif disemprotkan ke benda kerja. Besarnya muatan partikel tersebut tergantung dari besarnya medan listrik ketika muatan negatif, gaya yang timbul tergantung arus yang mengalir. Pada saat *powder coating* disemprotkan arahnya tidak lurus ke benda kerja tetapi membentuk suatu *wrap round effect*.



Gambar 2.1 Arah aliran powder atau *wrap round effect* (Sumber: *Southern Paint and Powder Coating Company*, 2012).

Hal ini akan memberi keuntungan karena *powder coating* dapat menjangkau bagian yang terlindungi. 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 *coating* (pelapisan). Adapun skema *powder coating* seperti pada Gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2.2 Proses *powder coating* (Sumber: *Southern Paint and Powder Coating Company*, 2012).

Keterangan gambar:

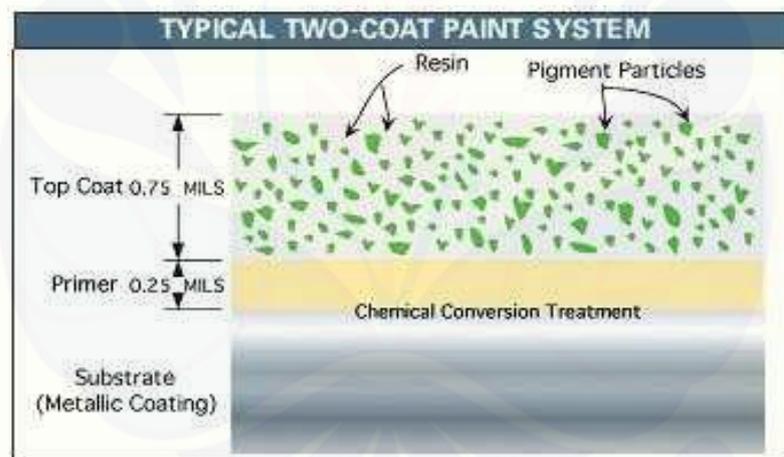
1. *Pretreatment*
2. *Loading*
3. *Drying off oven (powder application)*
4. Proses pelapisan *powder (powder coating pada spraying booth)*
5. *Curing*
6. *Unloading and control*

Terdapat 2 teknik pengecatan kering:

- a. Pencelupan: Benda yang akan dilapisi dicelupkan kedalam bak yang berisi *powder coating* yang telah diberi muatan elektostatik.
- b. Penyemprotan: *Powder coating* yang telah diberi muatan elektostatik di semprotkan kepada objek yang akan dilapisi.

Setelah benda melalui salahsatu proses tersebut diatas kemudian benda yang telah terlapisi *powder coating* dimasukan kedalam oven, tujuannya untuk melelehkan dan menyatukan partikel bubuk sehingga membentuk lapisan-lapisan yang halus yang melapisi objek atau benda kerja. Selain dimaksudkan untuk

memproteksi benda kerja atau logam, *coating* juga berfungsi untuk memperindah penampakan permukaan benda kerja. Pada umumnya, bahan pelapis yang digunakan terdiri dari bahan-bahan organik, anorganik, atau logam. Sebelum *coating* umumnya dilakukan suatu tahapan pendahuluan yang bertujuan untuk membersihkan permukaan benda kerja dari kotoran-kotoran seperti *grease*, garam-garam, lapisan-lapisan oksida seperti *scale* dan karat. Tahapan ini disebut *pretreatment* dan memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan kualitas pelapisan yang dihasilkan. Dapat dikatakan bahwa teknik pelapisan yang biasa saja dengan tahapan *pretreatment* yang baik adalah lebih baik daripada teknik pelapisan yang canggih tetapi tahapan *pretreatment* buruk karena mutu pelapisan yang dihasilkan akan buruk. Oleh karena itu diperlukan kehati-hatian dalam memilih dan mengontrol tahapan *pretreatment*. Standar spesifikasi tahap *pretreatment* yang diterapkan di Amerika menggunakan standar SSPC (*Steel Structures Painting Council*).



Gambar 2.3 Sistem *coating* dua lapis (Haddock, 2002)

Karena cat tidak menempel baik pada logam, proses pembersihan dan *pretreatment* sangat penting. *Pretreatment* kimiawi mengubah permukaan logam, sehingga lebih cocok untuk adhesi primer. *Pretreatment* populer untuk baja galvanis secara tradisional menggunakan seng fosfat dan yang lebih baru, oksida kompleks dan perawatan kering ditempatkan. Seng fosfat dianggap oleh kebanyakan lebih efektif sebagai inhibitor korosi pada goresan dan tekukan parah, terutama di lingkungan agresif.

Langkah pertama yaitu aplikasi pembersihan, *pretreatment* dan aplikasi primer yang paling penting untuk memastikan perlindungan adhesi dan korosi di film. *Pretreatment* membuat lapisan primer dan meningkatkan perlindungan korosi, dan lapisan primer membuat lapisan atas menempel. Setelah pendinginan primer, lapisan teratas biasanya diterapkan pada ketebalan target 0,75 mil. Total ketebalan *dry-film* kedua lapisan adalah 0.9-1.0 mil. Proses dua lapisan ini adalah standar industri komersial dan sistem yang paling umum digunakan di Amerika Utara. Pada prinsipnya cat dapat menempel pada permukaan logam akibat perbedaan kutub dan finishing dilakukan pemanasan yang berfungsi untuk menjadikan cat bubuk (*powder coating*) leleh dan membentuk lapisan cat.

2.1.1 *Pretreatment*

Berdasarkan susunan kata, maka *pretreatment* dapat diartikan sebagai, *pre*: sebelum, dan *treatment*: proses atau perlakuan. Pengertian umum *pretreatment* adalah suatu proses yang dijalankan sebelum melakukan proses inti. Pengertian khusus *pretreatment painting* adalah proses pendahuluan terhadap bahan sebelum dilakukan pengecatan. Tujuan *pretreatment painting* ialah:

- a. Menambah daya rekat (*adhesi*) antara cat dengan bahan dasar (*part*).
- b. Menambah ketahanan terhadap karat pada hasil pengecatan.

Proses *pretreatment* yang dilakukan sebelum pengecatan, sangat berpengaruh terhadap kualitas pengecatan, dan hal ini berkaitan dengan proses pengerjaan sebelum *part diloading* untuk proses pengecatan. Cat tidak akan menempel dengan sempurna pada permukaan *part* sebelum melalui proses *pretreatment* (untuk *part* logam). Hal ini disebabkan oleh:

- a. Proses pembuatan *part* selalu dilapisi dengan minyak untuk menghindari terjadinya karat selama menunggu proses lanjutan.
- b. Daya kohesi antara partikel cat lebih kuat daripada daya adhesi logam dengan cat. Hal ini menyebabkan cat tidak mudah menempel pada logam tanpa media khusus. Media ini yang disebut *phosphate* yang diperoleh dari proses *pretreatment*.

Berdasar cara pengerjaannya, *pretreatment* dibedakan menjadi dua yaitu

dengan cara pencelupan (*dipping*) dan dengan cara penyemprotan (*spraying*). Sedangkan berdasarkan jenis larutan *phosphate* yang digunakan, maka ada beberapa jenis proses *phosphating* yakni Besi (*Iron*), *Zinc*, dan *Aluminium Phosphate*.

Semua logam atau *steel part* sebelum dicat harus dipersiapkan permukaannya, sehingga kondisi *part* tersebut bersih dari hal-hal yang dapat mengurangi ketahanan daya rekat cat.

Persiapan tersebut dapat dibedakan menjadi dua cara, yaitu:

1. Secara Mekanis, misalnya: *sanding*, *buffing*, *spraying*.
2. Secara Kimiawi (*Chemical Cleaning*), misalnya *pickling*, *water rinse*, *phosphating*, *surface condition* dan *water rinse*.

Sedangkan untuk *part* plastik, proses *pretreatment* yang dilakukan berbeda dengan *part steel*. Secara umum proses *pretreatment part* plastik merupakan *cleaning* terhadap *part* dari kotoran/debu, sisa-sisa *mould release (silicon)*, dan lain-lain.

Pretreatment terhadap *part* plastik diantaranya:

- a. Secara Mekanis, misalnya: *sanding*, *air blow*
- b. Secara Kimiawi (*Chemical Cleaning*), misalnya *washing air*, *washing benzene* atau IPA (*Iso Propyl Alkohol*)
- c. Secara Elektrik (*Electric Cleaning*), misalnya anti *electrostatic unit*.

2.1.2 Kelebihan *Powder Coating*

1. Serbuk pelapis cat dapat menghasilkan lapisan lebih tebal dari pada lapisan cair konvensional.
2. Serbuk pelapisan *overspray* dapat didaur ulang dan oleh karena itu mungkin untuk mencapai hampir 100% dari penggunaan lapisan.
3. Pelapisan *powder coating* menghasilkan limbah yang kurang berbahaya dibandingkan pelapisan menggunakan cat cair konvensional.
4. Modal peralatan dan biaya operasional untuk *powder coating* umumnya lebih rendah dibandingkan menggunakan cat cair konvensional.

5. Benda kerja yang dilapisi dengan serbuk cat *powder coating* umumnya memiliki penampilan sedikit berbeda antara permukaan horisontal dan vertikal dibandingkan benda kerja dilapisi cat cairan.
6. Berbagai efek khusus yang dapat mudah ditambahkan dengan menggunakan pelapisan *powder coating*, yang sulit didapat dengan proses pelapisan lainnya.

2.2 Pengertian Cat

Cat atau *Paint* adalah suatu produk yang dapat berbentuk cair ataupun serbuk, terkandung didalamnya suatu *pigmen*, yang mana ketika diaplikasikan pada suatu substrat akan membentuk suatu lapisan film *opaque* yang berfungsi untuk melindungi, dekorasi ataupun untuk meningkatkan sifat teknik tertentu (Forgesen, Amy, 2006).

2.2.1 Jenis – Jenis Cat

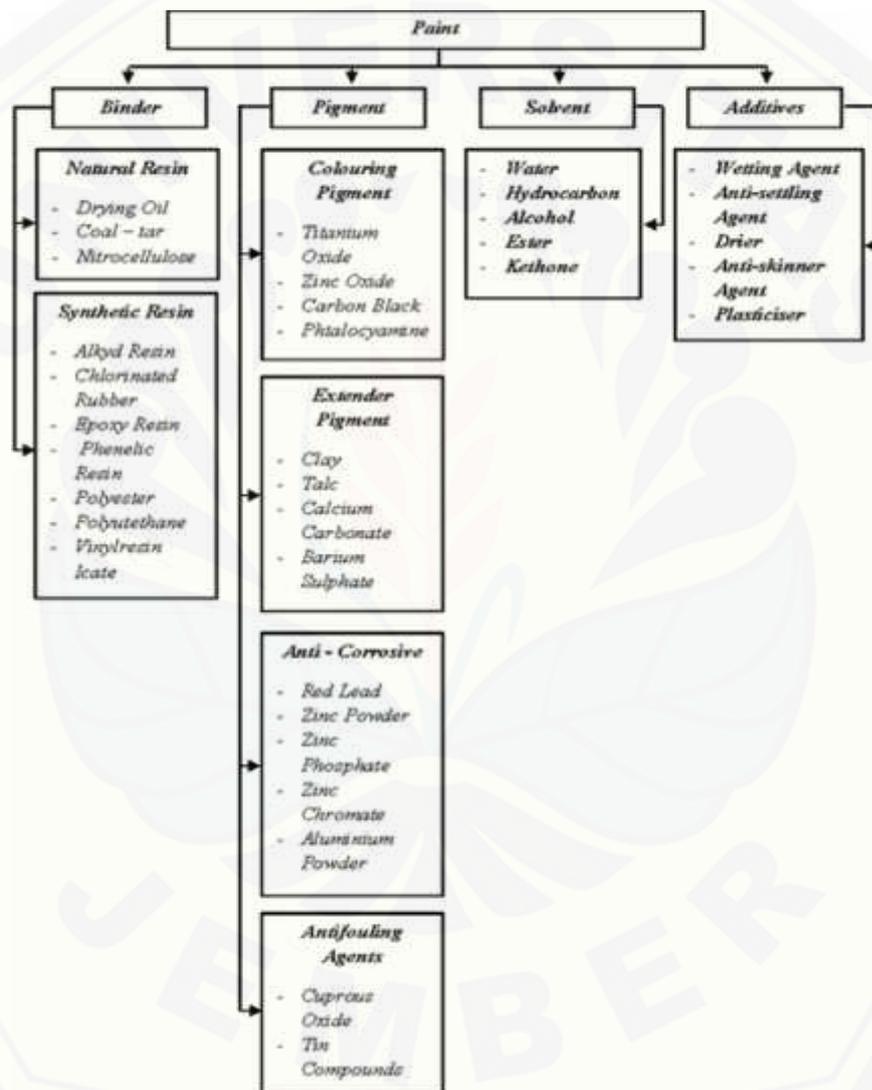
Terdapat 2 (dua) jenis *powder coating* yang tersedia untuk melapisi permukaan suatu benda kerja:

1. *Thermoplastic*; Material bubuk ini akan mengalami pencairan jika benda kerja mendapat perlakuan panas.
 - *Polyethylene*
 - *Polypropelene*
 - *Nylon*
 - *Poly vinyl cholide (PVC)*
 - *Thermoplastic polyester*
2. *Thermosetting*; Merupakan bahan yang kuat dan tidak akan mencair kembali walaupun benda kerja mendapat perlakuan panas.
 - *Epoxies*
 - *Epoxy polyster hybrid*
 - *Urethane polyster*
 - *Acrylic – urethane*
 - *Trigycidyl isocyanurate*

2.2.2 Komposisi Cat

Cat umumnya tersusun dari bahan-bahan berikut ini (David McKruit, 2001):

1. *Binder*/Pengikat/Resin polimer
2. *Extende*/Pigmen
3. *Solvent*/Pelarut
4. Aditif



Gambar 2.4 Komponen-komponen penyusun cat
(Jotun, *Jotun Paint School Modul Chapter 2 – What is Paint*, Jotun, Norwegian, 1998).

Bahan-bahan tersebut memiliki pengaruh penting terhadap sifat cat yang dihasilkan. Untuk mendapatkan suatu cat yang memuaskan bila dilihat dari aspek

teknik, kesehatan, keselamatan, lingkungan serta ekonomi sangatlah sulit. Perubahan kecil dalam komposisi cat dapat sangat mempengaruhi produk cat yang dihasilkan. Jika ada penambahan zat atau bahan lain yang tidak direkomendasikan oleh pembuat cat maka menyebabkan keseimbangan yang ada dalam cat akan terganggu sehingga dapat mengakibatkan perubahan sifat yang juga dapat berujung pada kegagalan aplikasi cat (ASTM Organization, 2003).

a. Pengikat (*Binder*)

Binder atau media pengikat merupakan komponen penting yang menentukan sifat-sifat fisik dan kimia cat. Komponen ini setelah mengalami pengeringan akan merupakan suatu lapisan yang saling berikatan dengan *pigmen-pigmen* yang tersebar didalamnya serta terikat pada substrat. *Binder* dan *pigmen* ini akan menentukan sifat-sifat daya adhesi, elastisitas, tahan cuaca, tahan senyawa kimia, tahan cahaya/UV, dan lain-lain. Beberapa jenis *binder* seperti pada Gambar 2.4 antara lain *drying oil*, *coal tar*, *alkyd resin*, *epoxy resin*, *vinyl resin*, *chlorinated rubber*, *polyurethane*, *phenolic resin*, *polyester*, dan *silicate*.

b. *Pigmen*

Pigmen dapat dibedakan dalam beberapa jenis, yaitu *pigmen* pewarna, *extender* atau biasa disebut *pigmen* pengisi, *pigmen* inhibisi dan juga *pigmen* metalik. *Pigmen* pewarna tentunya berfungsi untuk memberikan warna tertentu pada lapisan cat sehingga menambah nilai estetikanya. *Pigmen* pewarna yang digunakan pada cat harus memiliki sifat (Pittsburgh, *Volume 1 & 2 Eighth Edition*):

- i. *High hiding power*
- ii. *Colour fastness*
- iii. *Non bleeding* (tidak larut dengan pelarut)
- iv. Ketahanan kimia yang baik
- v. Dapat menyerap sinar ultraviolet

Extender pigments atau biasa disebut bahan pengisi atau *reinforcing pigments* memiliki fungsi tersendiri dalam sistem cat. Suatu *extender* umumnya

berbentuk serbuk dan memiliki ukuran tertentu. *Extender* dapat dideskripsikan sebagai suatu *pigmen* spesial yang tidak atau sedikit memiliki sifat *hiding power*. *Extender* biasa digunakan untuk mengganti sebagian *pigmen* pewarna dan pelindung yang harganya mahal. Selain untuk memodifikasi harga, penggunaan *extender* ini juga dapat ditujukan untuk meningkatkan kualitas cat yaitu tidak mengalami *sagging* ketika diaplikasikan untuk lapisan yang tebal. Selain itu dengan menambahkan *extender* dengan komposisi tertentu maka akan didapat tingkat *glossy* yang baik dan konsistensi cat jika diaplikasikan dengan *spray*, *roll* dan *brush*. Selain itu *extender* juga dapat mencegah sedimentasi dari *pigmen*, meningkatkan sifat mekanik, meningkatkan ketahanan cat terhadap air dan unsur kimia, membentuk lapisan pelindung radiasi sinar ultraviolet. “*Pigments are added to polymeric coatings for enhancing the protective characteristics of the barrier films that are deposited on metal surfaces to prevent corrosion*” (S. González, 2001).

Pigmen anti korosif terbagi menjadi 3 yaitu (Jotun, 1998):

1. *Inhibiting pigments*.

Inhibitive pigments biasa digunakan pada lapisan primer. *Pigmen* ini memberikan pengaruh inhibitor dimana akan bereaksi dengan *moisture* yang terserap pada pori-pori lapisan cat dan mempasifkan lapisan agar lebih tahan korosi. Namun *pigmen* ini tidak direkomendasikan bila digunakan pada aplikasi daerah yang basah karena dapat mempromosikan *osmosis blistering*.

2. *Metallic pigments*.

Metallic pigment ini melindungi korosi dengan cara proteksi katodik ditujukan agar cat memiliki permeabilitas terhadap air dan uap air yang rendah. *Flakes metallic pigment* ini sangat tidak tembus air (*impermeable*) sehingga *moisture* akan sulit untuk kontak langsung dengan *substrat* ditambah pengaruh proteksi katodik yang dimiliki oleh *pigment* ini. Jenisnya ada seng dan aluminium.

3. *Flake formed pigments*

Pigment yang berbentuk serpihan seperti *micaceous iron oxide*

(MIO), memiliki perlindungan terhadap moisture yang lebih bagus dibanding *pigmen* yang berbentuk bulat. Karena *pigmen* jenis ini akan membuat jalur masuk *moisture* ke *substrat* lebih sulit. Dan memiliki ketahanan terhadap penyusutan yang lebih baik. Jenis lainnya adalah *pigmen* yang bersifat racun. *Pigmen* ini adalah untuk cat anti fouling dimana *pigmen* ini berfungsi untuk mencegah fouling (tumbuhan atau hewan yang hidup menempel pada struktur yang dilindungi). Contoh *pigmen* ini adalah Cu_2O , HgO dan lain-lain.

c. Pelarut (*solvent*)

Pelarut adalah suatu cairan yang digunakan untuk melarutkan bahan pengikat didalam cat serta untuk mengatur viskositas cat. Selain itu, pelarut ini juga menentukan sifat seperti kecepatan pengeringan cat, alur *spray*, karakteristik penguasaan dan gloss. Bahan pengikat atau resin tertentu ada yang sudah memiliki viskositas rendah jadi tidak perlu menggunakan pelarut. Namun kebanyakan dari bahan pengikat adalah suatu material padat ataupun material yang memiliki viskositas tinggi dan harus dilarutkan dalam pelarut organik. Beberapa jenis bahan pengikat seperti epoksi yang berbasis air ada juga yang dapat larut dalam air. Kebanyakan orang yang melakukan pengecatan tidak peduli terhadap pengaruh penambahan pelarut ketika pengaplikasian cat. Terlalu banyak pelarut atau penambahan *thinner* akan mengakibatkan terjadinya *sagging* dan pembentukan *pinhole* ketika terjadi penguapan pelarut pada lapisan cat (Pittsburgh, *Volume 1 & 2 Eighth Edition*).

Penggunaan pelarut yang tidak sesuai akan menyebabkan terbentuknya porositas, *discolouration*, tingkat *gloss* yang rendah, mata ikan, kekuatan lapisan yang rendah serta daya adhesi yang buruk. Selain itu, konsentrasi pelarut juga berpengaruh terhadap pembentukan ikatan silang pada beberapa jenis cat. Dengan tingginya konsentrasi pelarut akan menurunkan konsentrasi monomer yang ada sehingga berat molekul menjadi turun (Wicks Zeno W, 1999).

2.3 Conversion Coating

Istilah “pelapisan konversi” ini digunakan untuk menggambarkan *coating* dimana logam substrat menyediakan ion yang menjadi bagian dari lapisan pelindung. Lapisan-lapisan tersusun dari senyawa anorganik yang secara kimia inert. Senyawa *inert* ini pada permukaan mengurangi daerah anodik dan katodik dan menunda pengendapan dari zat reaktif ke dasar logam. Hasil ini meningkat berdasarkan kemiringan kurva polarisasi dari anodik dan katodik sehingga mengurangi tingkat korosi substrat.

Konversi lapisan yang digunakan untuk berbagai alasan, termasuk:

1. Untuk meningkatkan kelekatan dari lapisan organik.
2. Untuk memperoleh secara elektrik isolasi lapisan penghalang.
3. Untuk menyediakan permukaan bebas kotoran yang rata.
4. Untuk menyediakan inhibisi korosi aktif dengan mengurangi laju reaksi.

Pengurangan oksigen, atau dengan melakukan passivasi substrat logam tersebut yang termasuk dalam kelompok ini ialah *phosphat, kromat, oksida*, dan pelapisan *anodise*. Lapisan ini tersusun dari produk korosi yang telah dibentuk secara artifisial oleh reaksi-reaksi kimia atau elektrokimia pada larutan tertentu. Produk korosi yang seperti inilah dibentuk untuk membangun penghalang perlindungan pada substrat logam. Penghalang ini mengurangi keaktifan di daerah permukaan basis logam, dengan demikian akan menunda transportasi zat pengoksidasi dan zat agresif. Dengan demikian, lapisan tersebut menghambat pembentukan sel korosi. Tingkat penghalang sekunder tergantung pada yang kekompakan, kontinuitas dan stabilitas dari produk lapisan korosi.

Masing-masing konversi pelapis melindungi dasar logam terhadap korosi dengan dua atau tiga kemampuan pelindung berikut:

1. Penghalang sekunder dari produk korosi
2. Tindakan menghambat dari senyawa larut yang terkandung dalam produk korosi
3. Meningkatkan kerekatan pelapisan oleh pembentukan lapisan produk korosi yang rata (Schweitzer, Philip A, 2010).

2.4 Phosphating

Proses ini merupakan proses utama dalam *pretreatment* dimana terjadi reaksi kimia antara metal dan larutan *phosphate* yang menghasilkan *coating* anti karat. Proses ini berjalan dengan sistem *dipping* (*perendaman*), permukaan logam berwarna keabu-abuan. Oleh karena proses berjalan kimiawi maka dalam prakteknya terdapat penambahan bahan kimia pembantu yaitu *accelerator* yang berfungsi sebagai katalis reaksi yang memberi keoptimalan *coating* pada permukaan logam. Pembentukan lapisan *phosphate* berasal dari seng, besi maupun aluminium *phosphate* (berbentuk kristal) yang menempel dan melapisi permukaan *part*. Jumlah Kristal *phosphat* yang menempel pada permukaan plat (*coating weight*) dinyatakan dengan satuan miligram per-meter persegi. *Phosphating* merupakan suatu perubahan dari permukaan logam menjadi permukaan baru yang mempunyai sifat-sifat non-metalik dan non-konduktif. Setelah terbentuk lapisan *phosphate*, maka diperlukan pemanasan pada temperatur tertentu yakni berkisar antara 50-80 °C, sehingga *phosphating* menghasilkan kristal *phosphate* yang kecil-kecil dan rata. Pada temperatur tersebut, air yang berada di lapisan *phosphate* akan menguap. Bila panas yang diberikan berlebihan (melebihi 100°C) kristal yang terbentuk akan pecah, sehingga terjadi celah-celah yang akan menurunkan daya lekat cat dan menyebabkan timbulnya korosi. Secara umum kriteria yang perlu diperhatikan dari proses *phosphating* adalah ketahanan korosinya. Secara umum kriteria yang perlu diperhatikan dari proses *Phosphating* sebagai berikut:

- a. Hasil dari pelapisan / *coating* harus bersifat :
 - Resistan / tahan terhadap korosi
 - Siap untuk proses pengecatan
 - Tahan lama setelah proses pengecatan
- b. Proses harus mudah dikontrol
- c. Proses harus bersifat *fleksibel*, artinya dapat melapisi berbagai macam metal
- d. Proses harus tahan lama
- e. Larutan *phosphating* harus bersifat mudah dibilas

Proses pelapisan *Phosphating* dapat dibedakan menjadi beberapa bagian berdasarkan jenis pelapisannya (*Phosphate Coat*), antara lain:

- Pure Zinc Phosphate Coating* (pelapisan *Zinc Phosphate*), digunakan pertama kali tahun 1908 terbatas terhadap metal-metal yang diproses
- Dwi Cationic*, modifikasi pelapisan *Nikel* dan *Zinc Phosphate*. Penambahan metal *Nikel* pada larutan *Phosphating*, menghasilkan pelapisan *Nikel* dalam *Zinc Phosphating*. Tujuannya untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan pelapisan pada pengecatan
- Tri Cationic*, merupakan modifikasi pelapisan *Ni + Zinc Phosphate*. Hal ini dilakukan dengan penambahan ion *Mangan* pada proses *Ni + Zinc Phosphate*. Tujuannya untuk meningkatkan ikatan cat (*adhesion paint*) dan mempunyai sifat fleksibel pada proses pengecatan, menambah ketahanan terhadap korosi.

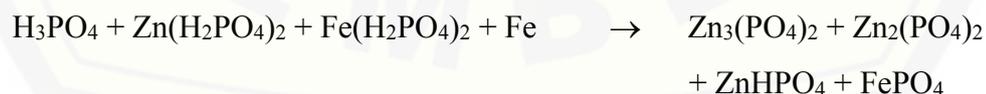
Mekanisme pelapisan dapat diilustrasikan sebagai berikut:

- Asam bebas (*Free Acid*) menetsa/melukai lapisan bawah Anoda pada substrat
- Elektron di substrat bergerak ke Katoda dan membentuk H^+ , terjadilah hidrolisa air
- Membentuk gas Hidrogen dan OH^- , sehingga terjadi pembentukan lokasi area dengang tingkat keasaman (pH) tinggi
- Terjadi pengendapan pelapisan

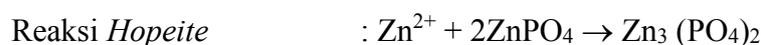
Secara umum konversi reaksi pelapisan *Phosphat* sebagai berikut:



Hasil penyederhanan persamaan pelapisan:



Persamaan reaksi *Phosphating*:



Parameter Operasional *Zinc Phosphate* sebagai berikut:

1. Keasaman Total (*Total Acid*), yaitu jumlah komponen asam *Phosphate* dalam larutan yang dapat dikonversikan menjadi pelapisan *Zinc Phosphate*. Point kontrol *total Acid* berkisar pada 28-32.
2. Keasaman Bebas (*Free Acid*), yaitu tingkat keaktifan dari komponen asam *Phosphate*. Point kontrol *Free Acid* berkisar pada 0,5-0,8.
3. Temperatur, digunakan untuk mengontrol keaktifan dari komponen asam *Phosphate*.
4. Pemecepat/*Accelerator (Nitrite)*, bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara Fe^{2+} dan Fe^{3+} dalam larutan dan untuk membantu terjadinya pembentukan lapisan *Zinc Phosphate* pada metal.
5. Tekanan *spray* dan sudut *nozzle* (untuk proses *spray*), harus dapat menutupi semua permukaan metal yang diproses.
6. Waktu pencelupan (untuk proses *dipping*).

Metode yang selalu digunakan pada pelapisan fosfat yaitu dengan pencelupan, menggunakan urutan yang meliputi *degreasing* dan tahap *phosphating*, dan masing- masing tahap diatas dilakukan pencucian. Rentang waktu perlakuan yang diberikan yaitu dari 3 sampai 5 menit untuk lapisan *phosphat* yang tipis dan diatas 10 sampai dengan 15 menit untuk lapisan, mangan *phosphat* yang tebal.

Proses *phosphat* dipercepat dengan menggunakan *power spray* dan waktu proses dapat berkurang 1 atau kurang dari 1 menit. Penggunaan *power spray* sangat menguntungkan untuk produksi massal seperti mobil dan lemari besi, sebagai konveyor yang dapat dijalankan langsung melalui *spray tunnel*, yang menggabungkan tahapan-tahapan *degreasing*, *rinsing*, *phosphating*, *rinsing*, dan *drying* (Shreir, L.L, 1994).

Selama bertahun-tahun, *phosphating* adalah salah satu teknik seni yang diakui untuk *pretreatment* bagian beragam peralatan untuk industri, rekayasa dan banyak cabang industri lainnya. *Phosphating* yang bertujuan untuk mencapai:

1. Peningkatan adhesi lapisan *coating*;
2. Peningkatan perlindungan korosi;

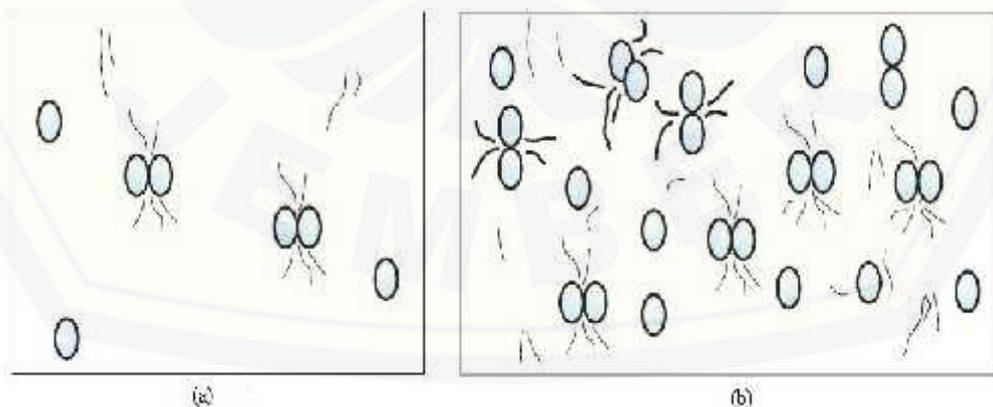
3. Tidak ada gangguan di proses *coating* karena kegagalan pada permukaan;
4. Struktur lapisan homogen.

2.5 Percepatan Reaksi Kimia

Percepatan proses *phosphating* dalam praktek, reaksi *phosphating* cenderung lambat karena polarisasi disebabkan oleh hidrogen yang berevolusi dalam reaksi katodik. Untuk mencapai lapisan pembentukan dalam waktu yang praktis, beberapa mode akselerasi harus digunakan. Berbagai cara percepatan pembentukan lapisan *phosphat* dapat secara luas diklasifikasikan menjadi beberapa metode (Kitti, 1993), diantaranya adalah:

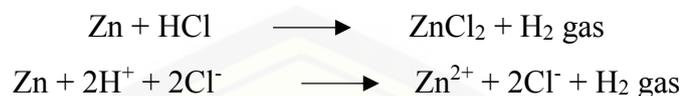
2.5.1 Konsentrasi

Semakin besar konsentrasi, semakin besar pula kemungkinan partikel saling bertumbukan, sehingga reaksi bertambah cepat. Banyaknya zat terlarut di dalam sejumlah pelarut disebut konsentrasi. Semakin banyak pereaksi (zat terlarut), maka akan semakin besar pula konsentrasi larutan. Suatu larutan dengan konsentrasi tinggi mengandung partikel yang lebih banyak, jika dibandingkan dengan larutan dengan konsentrasi yang lebih rendah. Pada konsentrasi tinggi, memungkinkan tumbukan yang terjadi akan lebih banyak, sehingga membuka peluang semakin banyak tumbukan efektif yang menyebabkan laju reaksi menjadi lebih cepat. Akibatnya, hasil reaksi akan lebih cepat terbentuk. Beberapa contoh diantaranya adalah sebagai berikut:

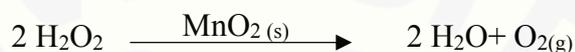


Gambar 2.5 Tumbukan partikel (a) tumbukan yang terjadi pada konsentrasi kecil, (b) tumbukan yang terjadi pada konsentrasi besar (iqrom, 2013(online)).

- a. Seng dan asam hidroklorida di labotarium, butiran seng beraksi cukup lambat dengan larutan asam hidroklorida, tetapi akan lebih cepat apabila konsentrasi dari asam ditingkatkan.



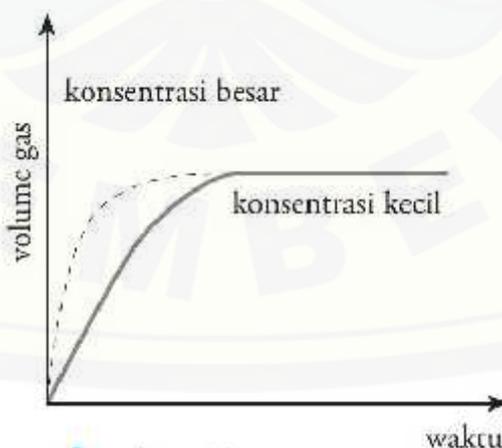
- b. Dekomposisi *accelerator* pada hidrogen peroxide mangan (IV) oksida padat biasa digunakan sebagai *accelerator* dalam reaksi ini. Oksigen dihasilkan jauh lebih cepat apabila hidrogen peroxide dalam konsentrasi pekat daripada dalam konsentrasi encer.



- c. Reaksi antara larutan natrium thiosulfat dan asam hidroklorida Reaksi ini sering digunakan untuk menyelidiki relasi antara konsentrasi dan laju reaksi. Ketika larutan asam ditambahkan ke dalam larutan natrium thiosulfat, endapan berwarna kuning pucat dari belerang dihasilkan. Semakin banyak larutan natrium thiosulfate menjadi encer, semakin lama juga endapan terbentuk.



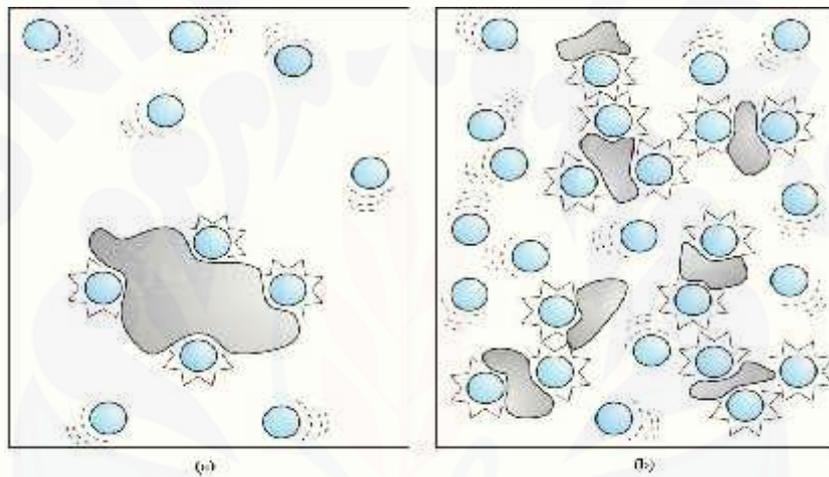
Apabila dibuat sebuah grafik yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan laju reaksi, maka dihasilkan grafik seperti pada Gambar 2.6. Grafik menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi, semakin cepat pula laju reaksinya.



Gambar 2.6 Grafik pengaruh konsentrasi terhadap laju reaksi (iqrom, 2013(online)).

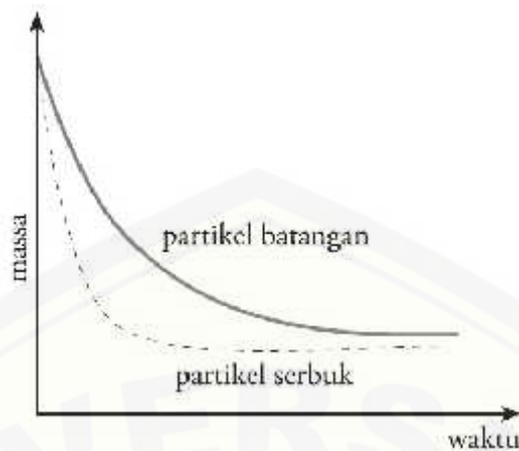
2.5.2 Luas Permukaan Sentuhan

Semakin kecil ukuran suatu zat padat maka luas permukaan bidang sentuh zat padat tersebut semakin besar sehingga semakin cepat reaksi berlangsung. Bubuk zat padat biasanya menghasilkan reaksi yang lebih cepat dibandingkan sebuah bongkahan zat padat dengan massa yang sama, karena bubuk padat memiliki luas permukaan bidang sentuh yang lebih besar daripada sebuah bongkahan zat padat. Suatu zat akan bereaksi hanya jika zat tersebut bercampur atau bersentuhan dan terjadi tumbukan. Tumbukan tersebut terjadi antar luas permukaan bidang sentuh dari masing-masing molekul (McCash, 2011).



Gambar 2.7 Tumbukan antar partikel pada (a) permukaan kecil dan (b) permukaan besar (iqrom, 2013(online)).

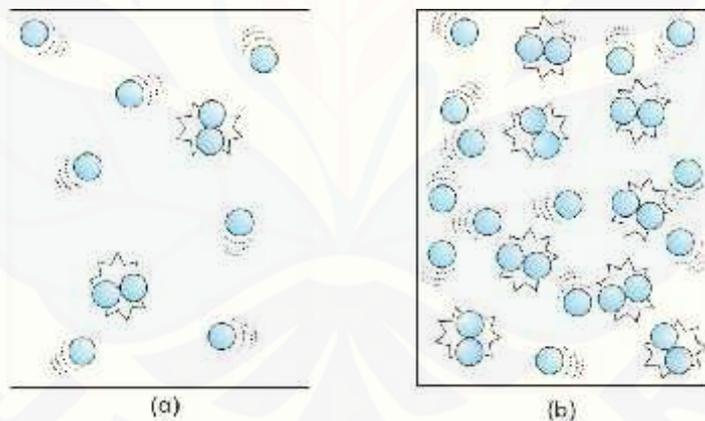
Hal ini merupakan contoh bagaimana penurunan ukuran partikel dapat memperluas permukaan sentuh zat. Suatu reaksi antara logam magnesium dengan larutan asam seperti asam hidroklorida. Reaksi melibatkan tumbukan antara atom magnesium dengan ion hidrogen. Maka semakin luas permukaan bidang sentuh zat, semakin besar laju reaksinya, seperti yang ditunjukkan oleh grafik hubungan luas permukaan dengan laju reaksi pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Grafik pengaruh luas permukaan terhadap laju reaksi (iqrom, 2013(online)).

2.5.3 Temperatur (Temperatur)

Partikel-partikel dalam zat selalu bergerak. Jika temperatur zat dinaikkan, maka energi kinetik partikel-partikel akan bertambah sehingga tumbukan antar partikel akan mempunyai energi yang cukup untuk melampaui energi pengaktifan. Hal ini akan menyebabkan lebih banyak terjadi tumbukan yang efektif dan menghasilkan reaksi.



Gambar 2.9 (a) tumbukan antar partikel pada temperatur rendah, (b) tumbukan antar partikel pada temperatur tinggi (iqrom, 2013(online)).

Pada umumnya, setiap kenaikan temperatur sebesar 10°C , reaksi akan berlangsung dua kali lebih cepat (Arrhenius, 1889). Dengan demikian, apabila laju reaksi awalnya diketahui, kita dapat memperkirakan besarnya laju reaksi berdasarkan kenaikan temperaturnya. Lebih mudahnya, lihat perumusan berikut.

$$r_t = (\Delta r)^{\frac{\Delta t}{t_0}} \cdot r_0 \dots\dots\dots(i)$$

Karena besarnya laju berbanding terbalik dengan waktu yang ditempuh, maka perumusan di atas dapat dituliskan sebagai berikut.

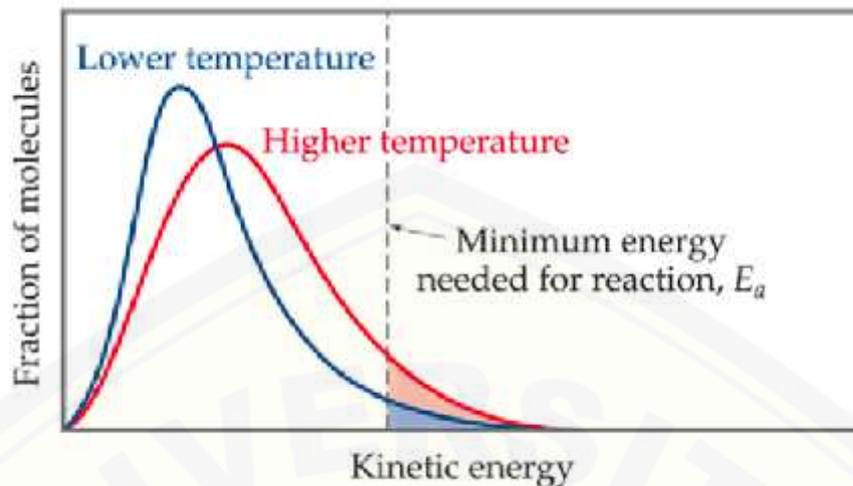
$$t_t = \frac{1}{(\Delta r)^{\frac{\Delta t}{t_0}}} \cdot t_0 \dots\dots\dots(ii)$$

Keterangan:

Δr	= kenaikan laju reaksi
ΔT	= kenaikan temperatur = $T_2 - T_1$
T_2	= temperatur akhir
T_1	= temperatur awal
t_0	= waktu reaksi awal
t_t	= waktu reaksi akhir

Kenaikan laju reaksi ini dapat dijelaskan dari gerak molekulnya. Molekul-molekul dalam suatu zat kimia selalu bergerak-gerak. Kemungkinan terjadi tabrakan antar molekul yang ada dapat terjadi. Tetapi tabrakan itu belum berdampak apa-apa bila energi yang dimiliki oleh molekul-molekul itu tidak cukup untuk menghasilkan tabrakan yang efektif. Energi yang diperlukan untuk menghasilkan tabrakan yang efektif atau untuk menghasilkan suatu reaksi disebut energi pengaktifan energi kinetik molekul-molekul tidak sama (Charles, 1992).

Oleh karena itu, pada temperatur tertentu ada molekul-molekul yang bertabrakan secara efektif dan ada yang bertabrakan secara tidak efektif. Dengan kata lain, ada tabrakan yang menghasilkan reaksi kimia ada yang tidak menghasilkan reaksi kimia. Energi minimum yang diperlukan disebut dengan reaksi aktivasi energi. Keadaan dari energi aktivasi dapat digambarkan pada distribusi Maxwell-Boltzmann seperti ini:



Gambar 2.10 Grafik Distribusi Maxwell-Boltzmann dan energi aktivasi (Maxwell-Boltzmann, 2009 (online)).

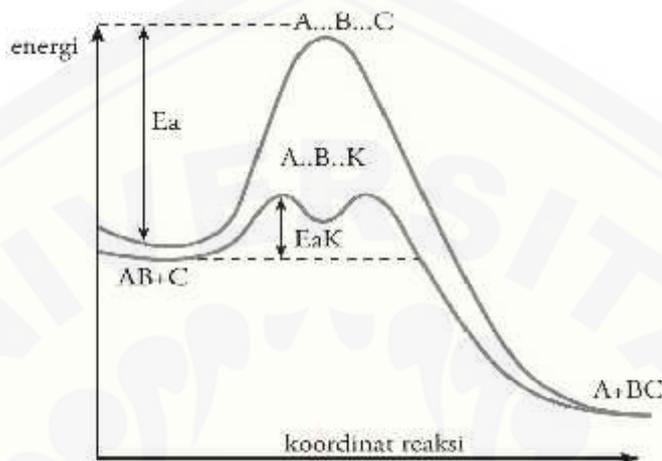
Hanya partikel-partikel yang berada pada area di sebelah kanan dari aktivasi energi yang akan bereaksi ketika mereka bertumbukan. Sebagian besar dari partikel tidak memiliki energi yang cukup dan tidak menghasilkan reaksi. Untuk mempercepat reaksi, diperlukan peningkatan jumlah partikel-partikel energik, partikel-partikel yang memiliki energi sama atau lebih besar dari aktivasi energi.

Peningkatan temperatur merupakan pengaruh yang tepat. Meningkatkan temperatur reaksi berarti menambahkan energi. Energi diserap oleh partikel-partikel sehingga energi kinetik molekul menjadi lebih besar. Akibatnya, partikel-partikel bergerak lebih cepat dan tabrakan dengan dampak benturan yang lebih besar makin sering terjadi. Dengan demikian, benturan antar partikel yang mempunyai energi kinetik yang cukup tinggi itu menyebabkan reaksi kimia juga makin banyak terjadi.

2.5.4 Percepatan kimia (*Accelerator*)

Reaksi yang berlangsung lambat dapat dipercepat dengan memberi zat lain tanpa menambah konsentrasi atau temperatur reaksi. Zat tersebut disebut *accelerator*. *Accelerator* dapat mempercepat laju reaksi, tetapi tidak mengalami perubahan kimia secara permanen sehingga pada akhir reaksi zat tersebut dapat diperoleh kembali (James E. Brady, 1990).

Fungsi *accelerator* dalam reaksi adalah menurunkan energi aktivasi sehingga jumlah molekul yang dapat melampaui energi aktivasi menjadi lebih besar. Gambar 2.11 menunjukkan peranan *accelerator* dalam menurunkan energi aktivasi.



Gambar 2.11 Diagram energi potensial reaksi tanpa katalis dan dengan katalis. Energi aktivasi reaksi dengan katalis (E_{aK}) lebih kecil dari reaksi tanpa katalis (Dara, 2007).

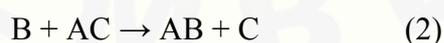
Accelerator adalah suatu senyawa kimia yang dapat mengarahkan sekaligus meningkatkan kinetika suatu reaksi (jika reaksi tersebut secara termodinamika memungkinkan terjadi). Namun *Accelerator* terkadang ikut terlibat dalam reaksi tetapi tidak mengalami perubahan kimiawi yang permanen, dengan kata lain pada akhir reaksi *accelerator* akan dijumpai kembali dalam bentuk dan jumlah yang sama seperti sebelum reaksi. Adanya penambahan *accelerator* akan menyebabkan terbentuknya tahap-tahap reaksi tambahan, yaitu tahap pengikatan *accelerator* dan tahap pelepasan *accelerator* pada akhir reaksi (Keenan, 1989). *Accelerator* ini bersifat spesifik, artinya hanya berfungsi untuk suatu reaksi tertentu. Dengan kata lain penambahan *accelerator* memberikan jalan baru bagi reaksi yang memiliki energi aktivasi yang lebih rendah, sehingga lebih banyak molekul yang bertumbukan pada temperatur normal dan laju reaksi semakin cepat. Teknologi *accelerator* telah digunakan dalam industri kimia lebih dari 100 tahun lamanya dan penelitian serta pengembangan teknologi *accelerator* telah menjadi semacam bidang kekhususan kimia. Dalam kanvas energi reaksi,

accelerator menurunkan rintangan energi atau menurunkan besaran energi aktifasi sebuah reaksi melalui aneka mekanisme fisikawi maupun kimiawi (Surra, 1993).

Ada pula yang menyebutkan bahwa *Accelerator* adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada temperatur tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu *accelerator* berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. *Accelerator* memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau memungkinkan reaksi pada temperatur lebih rendah akibat perubahan yang dipicunya terhadap pereaksi. *Accelerator* menyediakan suatu jalur pilihan dengan energi aktivasi yang lebih rendah. *Accelerator* mengurangi energi yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi.

Accelerator dapat dibedakan ke dalam dua golongan utama: *accelerator* homogen dan *accelerator* heterogen. *Accelerator* heterogen adalah *accelerator* yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisnya, sedangkan *accelerator* homogen berada dalam fase yang sama. Satu contoh sederhana untuk *accelerator* heterogen yaitu bahwa *accelerator* menyediakan suatu permukaan di mana pereaksi-pereaksi (atau substrat) untuk sementara terjerap. Ikatan dalam substrat-substrat menjadi lemah sedemikian sehingga memadai terbentuknya produk baru. Ikatan antara produk dan *accelerator* lebih lemah, sehingga akhirnya terlepas.

Accelerator homogen umumnya bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi untuk membentuk suatu perantara kimia yang selanjutnya bereaksi membentuk produk akhir reaksi, dalam suatu proses yang memulihkan *accelerator*-nya. Berikut ini merupakan skema umum reaksi katalitik, di mana C melambangkan *accelerator*-nya:



Meskipun *accelerator* (C) termakan oleh reaksi 1, namun selanjutnya dihasilkan kembali oleh reaksi 2, sehingga untuk reaksi keseluruhannya menjadi,



Accelerator tidak termakan atau pun tercipta. Enzim adalah bio-*accelerator*. Penggunaan istilah “*accelerator*” dalam konteks budaya yang lebih

luas, secara bisa dianalogikan dengan konteks ini. beberapa *accelerator* ternama yang pernah dikembangkan di antaranya *accelerator* Ziegler-Natta yang digunakan untuk produksi masal polietilen dan polipropilen (Lajos, 2009). Reaksi katalitik yang paling dikenal ialah proses Haber untuk sintesis amoniak, yang menggunakan besi biasa sebagai *accelerator*. Konverter katalitik yang dapat menghancurkan produk samping knalpot yang paling bandel dibuat dari platin dan rodium.

A. Komponen inti *accelerator* menurut derajat kepentingannya:

1. Selektifitas

Adalah kemampuan *accelerator* untuk memberikan produk reaksi yang diinginkan (dalam jumlah tinggi) dari sekian banyak produk yang mungkin dihasilkan. Produk yang diinginkan tadi sering disebut sebagai *yield* sedangkan banyaknya bahan baku yang berhasil diubah menjadi aneka produk dikatakan sebagai *konversi*.

$$\text{Yield} = \% \text{ selektifitas} \times \text{konversi} \dots\dots\dots \text{(iii)}$$

2. Stabilitas

Kemampuan sebuah *accelerator* untuk menjaga aktifitas, produktifitas dan selektifitasnya dalam jangka waktu tertentu

3. Aktifitas

Kemampuan *accelerator* untuk mengubah bahan baku menjadi produk atau aneka produk yang diinginkan (lebih dari satu). Aktifitas = massa (kg) bahan baku yang terkonversi (kg atau liter *accelerator* x waktu) atau Konversi, yaitu persentase dari bahan baku menjadi aneka produk. Atau TON (*turnover Number*), yaitu banyaknya molekul yang bereaksi (waktu, misalnya detik x setiap situs aktif).

B. Tiga metode untuk mengukur aktifitas *accelerator*:

1. Aktifitas dapat dinyatakan dalam konsep kinetika. Aktifitas dapat dinyatakan dari pengukuran kecepatan reaksi dalam jangkauan tertentu temperatur dan konsentrasi. Kecepatan reaksi, r , dihitung sebagai kecepatan perubahan sejumlah zat, nA dari reaktan A persatuan waktu dan per satuan

volume (atau per satuan massa) *accelerator*, sehingga r ini memiliki unit $\text{mol L}^{-1} \text{h}^{-1}$ atau $\text{mol kg}^{-1} \text{h}^{-1}$.

2. Aktifitas dapat pula dinyatakan oleh *turn over number (TON)* yang didefinisikan sebagai banyaknya molekul reaktan yang terlibat dalam reaksi tiap situs aktif dan tiap detik.
3. Dalam prakteknya, sebagai perbandingan aktifitas, ukuran-ukuran berikut ini dapat pula digunakan:
 - i. Konversi dalam kondisi reaksi tetap
 - ii. *Space velocity* untuk konversi tetap yang tertentu
 - iii. *Space-time yield*
 - iv. Temperatur yang dibutuhkan untuk suatu konversi tertentu

C. Pengelompokan *accelerator*

Perlu diingat bahwa yang dimaksud *accelerator* homogen artinya adalah *accelerator* yang memiliki atau bisa membentuk satu fasa dengan reaktan dan pelarutnya (misal fasa cair-cair pada sistem *accelerator* asam untuk reaksi esterifikasi). Sedangkan *accelerator* heterogen tidak memiliki fasa yang sama dengan reaktan maupun pelarut (misalnya fasa padat-cair pada sistem *accelerator* zeolit untuk perengkahan hidrokarbon).

Tabel 2.1 Pengelompokan *Accelerator* (Sumber: Chang, 2004. (Online))

Tipe <i>accelerator</i>		
<i>Accelerator</i> homogen	<i>Accelerator</i> homo-heterogen	<i>Accelerator</i> heterogen
<i>Accelerator</i> asam/basa	Bio <i>accelerator</i> (enzim)	Bulk <i>accelerator</i> (alloy - logam)
Kompleks logam transisi	Fungsional nanopartikel	<i>Accelerator</i> yang diimban

Accelerator adalah zat yang dapat mempercepat jalannya reaksi (tidak ikut bereaksi). Peran *accelerator* sebenarnya adalah menurunkan energi aktivasi reaksi. Pemilihan *accelerator* untuk proses dapat didasarkan pada beberapa hal berikut:

1. Berumur panjang
2. Harganya murah
3. Mudah diregenerasi
4. Dapat diproduksi dalam jumlah besar
5. Tahan terhadap racun
6. Memiliki tahanan fisik yang besar

D. Kelemahan *accelerator*

Alangkah indahnya bila sebuah reaksi kimia tidak membutuhkan *accelerator* agar bisa berlangsung. Tapi kenyataannya jenis reaksi seperti ini jarang ditemui. Keberadaan *accelerator* dalam campuran reaksi kimia tentu saja memberikan masalah tersendiri. Di industri kimia, masalah terutama berkaitan dengan pemisahan (*separation*), daur ulang (*recycle*), usia (*life time*), dan deaktivasi *accelerator* merupakan isu-isu penting.

Problem pemisahan *accelerator* dari zat pereaksi maupun produk lebih sering ditemui pada sistem *accelerator* homogen. Karena *accelerator* homogen larut dalam campuran, pemisahan tidak cukup dilakukan dengan penyaringan atau dekantasi. Teknik yang umum digunakan adalah destilasi atau ekstraksi produk dari campuran, misalnya *accelerator* asam-basa pada reaksi esterifikasi biodiesel dipisahkan dengan ekstraksi untuk kemudian campuran sisa reaktan *accelerator* yang tertinggal dialirkan lagi menuju bejana reaksi. Namun demikian, ada beberapa *accelerator* istimewa dari senyawa kompleks logam yang didesain sedemikian rupa sehingga bisa terpisah atau mengendap setelah reaksi tuntas. Kasus pemisahan untuk *accelerator* heterogen lebih mudah ditanggulangi karena sudah terpisah dengan sendirinya tanpa membutuhkan usaha lain (Charles, 1992).

Daur ulang dan usia *accelerator* memiliki kaitan. Selama bisa dipisahkan, *accelerator* homogen boleh dikatakan tetap aktif dan memiliki usia yang sangat

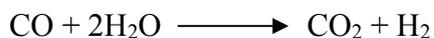
panjang bahkan nyaris tak terhingga dan bisa digunakan berulang-ulang. Nyawa *accelerator* homogen mungkin tamat jika mengalami deaktivasi akibat teracuni atau perubahan struktur akibat proses ekstrim. *Accelerator* heterogen memiliki takdir berbeda. Sering kali *accelerator* heterogen harus diaktifasi dulu sebelum siap digunakan, misalnya dengan jalan direduksi atau dioksidasi. Setelah mengalami proses reaksi berkali-kali, kereaktifan *accelerator* tersebut pelan-pelan menurun akibat perubahan mikrostruktur maupun kimianya, misal terjadi penggumpalan (*clustering*), migrasi partikel aktif membentuk kristal baru (*sintering*), oksidasi, karbonisasi, maupun teracuni (*poisoned*). Untuk mengembalikan reaktifitas *accelerator* heterogen perlu dilakukan regenerasi dengan cara, misalnya kalsinasi, reduksi-oksidasi kembali, atau pencucian dengan larutan aktif. Seringkali proses regenerasi tidak dapat mengembalikan 100% kereaktifan *accelerator* sehingga pada saatnya nanti *accelerator* tersebut akhirnya mati juga dan perlu diganti yang baru.

E. Fungsi dan sifat *accelerator*

Fungsi *accelerator* adalah memperbesar kecepatan reaksinya (mempercepat reaksi) dengan jalan memperkecil energi pengaktifan suatu reaksi dan dibentuknya tahap-tahap reaksi yang baru. Dengan menurunnya energi pengaktifan maka pada temperatur yang sama reaksi dapat berlangsung lebih cepat. Reaksi yang berlangsung lambat dapat dipercepat dengan menambahkan *accelerator* yang sesuai untuk reaksi tersebut. *Accelerator* akan mempercepat reaksi karena *accelerator* akan mencari jalan dengan energi aktivasi yang lebih rendah sehingga reaksinya akan berlangsung lebih cepat (Hardjono, 2005). Satu yang harus diketahui tentang prinsip kerja *accelerator* adalah bahwa *accelerator* tersebut tetap ikut dalam jalannya reaksi, tetapi pada kondisi akhir, *accelerator* akan keluar lagi dalam bentuk yang sama. Sifat-sifat kimia *accelerator* akan sama sebelum dan sesudah meng-*accelerator* suatu reaksi.

Pentingnya *accelerator* ditunjukkan oleh kenyataan bahwa lebih dari 75% proses produksi bahan kimia di Industri disintesis dengan bantuan *accelerator*. Contoh proses kimia yang sangat penting misalnya sintesis metanol dari syngas

(CO dan H₂) ditambahkan dikatalisis oleh ZnO/Cr₂O₃, dan reaksi *water gas shift* (WGS),



Dikatalisis oleh besi oksida atau oksida campuran Zn, Cu maupun Cr. Zat pengoksidasi dan logam lebih mulia daripada besi seperti, Cu, Ni, Cr dll, merupakan bagian yang paling penting dari percepatan kimia. Mereka mempercepat proses pengendapan melalui mekanisme yang berbeda. Agen pengoksidasi mendepolarisasi reaksi setengah sel katoda dengan mencegah akumulasi hidrogen pada area katodik, sedangkan ion logam mulia mendorong pelarutan logam dengan menyediakan *over potensial* katoda rendah oleh pengendapan mereka. Karena percepatan melalui depolarisasi dipilih hanya untuk mendorong pelarutan logam, agen pengoksidasi telah ditemukan penggunaannya luas daripada logam. Selain itu, mereka mencegah terbentuknya besi berlebihan di larutan, yang dapat merusak lapisan yang baik. *Accelerator* oksidator yang paling umum digunakan adalah *nitrit, klorat, nitrat, peroksida* dan senyawa nitro organik baik sendiri atau dalam berbagai kombinasi. Kombinasi yang umum adalah asam nitrat-nitrit, nitrit-klorat-nitrat dan *klorat-nitrobenzene sulfonik*.

Karakteristik dari beberapa *accelerator* oksidator yang umum digunakan seperti logam *alkali sulphites, hypophosphites, phosphites, formaldehida, benzaldehida, hydroxylamine*, asam *acetaldehyde, piridina N-asam, morpholine N-asam, quinones* dll, juga dicoba sebagai *accelerator* tetapi tidak sesukses *accelerator* oksidator dari sudut pandang industri. *Accelerator* memiliki beberapa sifat, di antaranya (Charles, 1992):

1. *Accelerator* tidak bereaksi secara permanen.
2. Jumlah *accelerator* yang diperlukan dalam reaksi sangat sedikit.
3. *Accelerator* tidak mempengaruhi hasil reaksi.
4. *Accelerator* tidak memulai suatu reaksi, tetapi hanya mempengaruhi lajunya.
5. *Accelerator* hanya bekerja efektif pada temperatur optimum, artinya di atas atau di bawah temperatur tersebut kerja *accelerator* berkurang.

6. Suatu *accelerator* hanya mempengaruhi laju reaksi secara spesifik, artinya suatu *accelerator* hanya mempengaruhi laju satu jenis reaksi dan tidak dapat untuk reaksi yang lain.
7. Keaktifan *accelerator* dapat diperbesar oleh zat lain yang disebut promotor.
8. Hasil suatu reaksi dapat bertindak sebagai *accelerator*, sehingga zat tersebut disebut *auto-accelerator*.
9. *Accelerator* dalam senyawa organik disebut enzim.
10. Terdapat *accelerator* yang dapat memperlambat suatu reaksi, sehingga *accelerator* itu disebut *accelerator* negatif atau inhibitor.

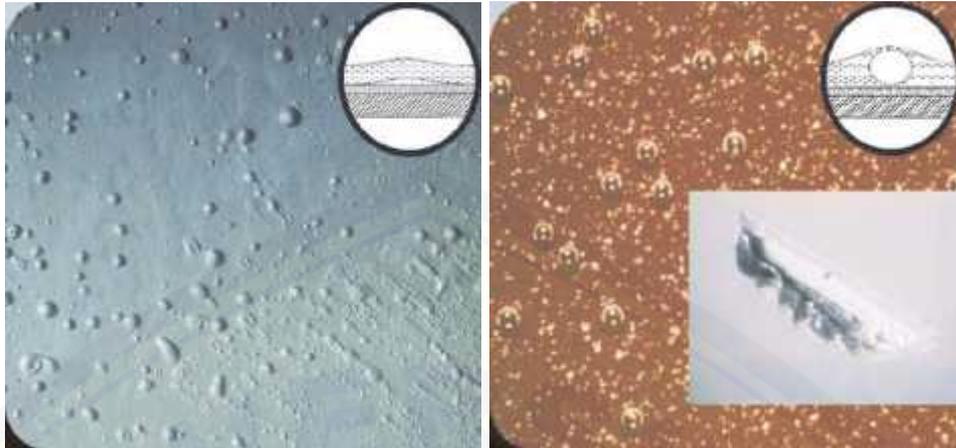
2.6 Jenis-Jenis Cacat pada Lapisan

Pada proses pengecatan sering dijumpai banyak kesalahan yang disebabkan oleh berbagai faktor yang berpengaruh. Adapun kesalahan-kesalahan dalam pengecatan dan faktor penyebabnya secara lebih rinci akan dijelaskan dalam bagian berikut (Departemen pekerjaan umum, 1989).

2.6.1 *Solvent pop* dan *pin hole* (lubang jarum)

a. *Solvent pop*

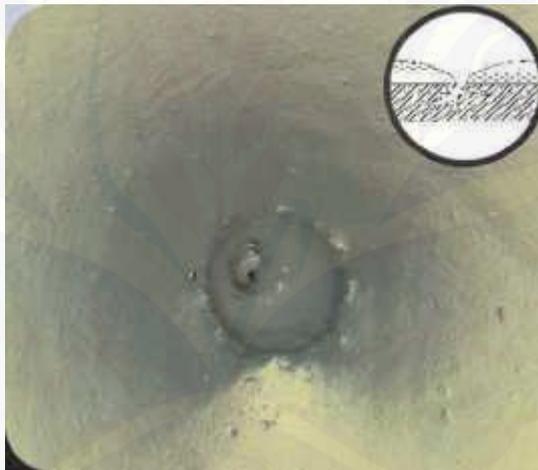
Solvent pop adalah benjolan-benjolan kecil pada lapisan cat kering yang jika diperhatikan lebih seksama akan kelihatan seperti lubang-lubang kecil diatas benjolan tersebut. cacat ini juga berupa luka atau lecetnya lapisan cat yang disebabkan oleh pengencer yang terjebak dalam lapisan atas atau lapisan bawah, terlebih lagi apabila dipengaruhi oleh pengeringan yang tidak tepat. Cacat jenis ini juga dikenal sebagai *boiling*, *blistering*, *solvent boil*, *boil*, atau *Popping* (Standox Gmbh, 2000).



Gambar 2.12 Cacat *boiling, blisterin, solvent boil, boil*, atau *solvent pop*. (Sumber: *The chemical company BASF*, 1990 (online)).

b. *Pin hole* (lubang jarum)

Pin hole merupakan lubang-lubang kecil seperti lubang jarum pada lapisan cat yang kering.



Gambar 2.13 Cacat *pin hole* (Sumber: *The chemical company BASF*, 1990 (online)).

Penyebab dari kedua jenis cacat ini dipengaruhi oleh beberapa faktor:

- a. Lapisan cat terlalu tebal dengan waktu tunggu antar pelapisan terlalu singkat.
- b. Vapor tidak tercapai (cat yang keluar dari alat semprot (*spray gun*) banyak dan cepat).
- c. Waktu tunggu sebelum pembakaran yang terlalu cepat.
- d. Temperatur tingkat permulaan oven terlalu tinggi.

- e. Jumlah *accelerator* yang dipakai kurang, untuk cat yang memakai *topcoat*.

2.6.2 *Peeling* (daya lekat kurang baik/mengelupas)

Merupakan kerusakan cat yang disebabkan oleh hilangnya daya rekat antara cat dengan substrat, *topcoat* dengan primer atau cat lama serta primer dengan substrat. Kerusakan cat ini ditunjukkan dengan lapisan cat yang mudah terkelupas jika ditarik dengan *cellotape* atau *tape* yang lain. Nama lain dari kerusakan ini adalah *loss of adhesion*, *shelling*, *poor bond*, *delamination*, *flaking*, atau *poor adhesion*.



Gambar 2.14 Cacat *peeling* (Sumber: *The chemical company BASF*, 1990 (online))

cacat *peeling* ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya :

- Adanya kontaminan seperti : minyak, *grease*, air, sisa pengamplasan pada permukaan di bawahnya.
- Pretreatment* kurang sempurna.
- Jarak waktu yang terlalu lama antara *pretreatment* dan pengecatan.
- Pemanasan pada oven terlalu berlebihan (waktu terlalu lama atau temperatur terlalu tinggi) dari lapisan sebelumnya atau lapisan yang sedang dikerjakan.
- Cat yang dipakai tidak sesuai dengan cat dari lapisan sebelumnya.
- Pemakaian *thinner* yang kurang sesuai.
- Cat dasar yang digunakan tidak cocok dengan sistem pengecatan lapisan akhir.

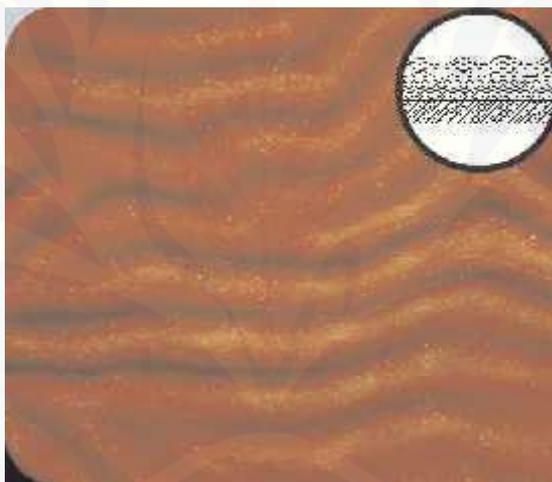
Pencegahan terjadinya cacat *peeling*:

- Permukaan yang akan dicat harus bersih dan kering.

- b. Kerok lapisan cat lama yang sudah rusak atau bermutu rendah.
- c. Gunakan cat dasar yang dianjurkan untuk sistim pengecatan yang digunakan.

2.6.3 Cacat *Wrinkling* (pengerutan cat)

Permukaan cat bertekstur atau penggerutan. Cacat jenis terjadi ketika permukaan cat mengering lebih cepat dari mantel substrat dan hanya terjadi di didaerah *synthetic enamels* (permukaan cat). Pengerutan ini disebabkan oleh proses interval pengecatan yang terlalu cepat. Ketika lapisan cat yang pertama belum kering sempurna sudah dilakukan pengecatan lagi, maka akan terjadi penarikan yang menyebabkan cat tersebut mengerut ketika kering. Untuk mencegah terjadinya *wrinkling* atau pengerutan cat, pastikan substrat yang akan dicat dalam keadaan bersih dan kering sempurna.



Gambar 2.15 Cacat *Wrinkling* (Sumber: *The chemical company BASF*, 1990 (online)).

Penyebab cacat *wringkling* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya:

- a. Cat atau objek yang akan dicat terlalu dingin.
- b. *Spray gun* terlalu dekat dengan objek.
- c. Penyemprotan tidak teratur.
- d. Interval pengecatan yang terlalu cepat. Ketika lapisan cat yang pertama belum kering sempurna sudah dilakukan pengecatan lagi, maka akan terjadi penarikan yang menyebabkan cat tersebut mengerut ketika kering.

2.6.4 Cacat *cracking*

Serangkaian retak yang tidak beraturan, muncul seperti pada lumpur yang mengering. Cacat ini juga dapat disebut dengan cacat *crazing* atau retak-retak.



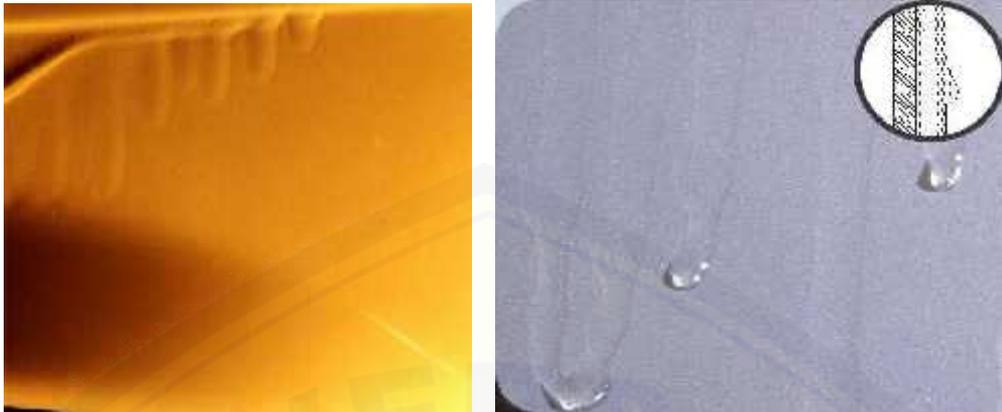
Gambar 2.16 Cacat *cracking* (Sumber: *The chemical company BASF*, 1990 (online)).

Beberapa faktor penyebab terjadinya cacat *cracking* ialah:

- Terjadi pada lapisan cat yang sudah tua karena elastisitas berkurang.
- Pengecatan pada lapisan cat pertama yang belum cukup kering.
- Cat terlampau tebal.
- Pengeringan lapisan cat tidak merata.
- Temperatur tingkat permulaan oven terlalu tinggi.

2.6.5 Cacat *runs*

Cacat *runs* terjadi karena pada permukaan cat tidak rata dan pada bagian tertentu catnya sangat tebal. Hal ini terdapat pada permukaan yang tegak atau menyudut. Kasus ini juga dikenal sebagai *overloading*, *curtains*, *gun spits*, *sags*, *sagging* ataupun *drips* (Stadox GmbH, 2000).



Gambar 2.17 Cacat *runs* (Sumber: *The chemical company BASF*, 1990 (online)).

Cacat jenis ini terjadi dapat diakibatkan dari beberapa faktor, yaitu :

- Terlalu banyak *thinner* yang lambat menguap.
- Lapisan cat terlalu tebal
- Cat disemprotkan terlalu sering tanpa waktu tunggu yang cukup antara pelapisan yang satu dengan lapisan berikutnya.
- Alat semprot (*spray gun*) terlalu dekat dengan permukaan yang disemprot.
- Tekanan udara rendah.
- Cairan yang keluar dari alat semprot (*spray gun*) terlalu banyak.

2.6.6 Cacat *dirt and dust clear coat*

Adanya partikel yang ukuran dan bentuknya tidak sama pada daerah yang mengalaminya.



Gambar 2.18 Cacat *dirt and dust clear coat* (Sumber: *The chemical company BASF*, 1990 (online)).

Penyebabnya:

- a. Kesalahan pada penyaringan cat.
- b. Cat-cat yang sudah mengeras pada selang atau peralatan semprot yang lain.
- c. Kurangnya perawatan pada oven dan *booth*:
 - *Filter* tidak dibersihkan secara berkala,
 - Sirkulasi udara tidak benar,
 - Kipas tidak dibersihkan atau macet.
- e. Daerah pengecatan dan sekitarnya kurang bersih.
- f. Cat atau *thinner* sudah terkontaminasi.
- g. Debu-debu dari pengamplasan sebelumnya yang belum dibersihkan.
- h. Permukaan sebelum pengecatan kurang bersih.

2.7 Baja Mild *Partikel* ST 37

DIN 17-100 mengatur jenis baja karbon untuk keperluan pembuatan komponen mesin yang distandarkan menurut kekuatan tarik. Salah satunya adalah jenis baja Mild *Partikel* ST 37, dimana baja ini mempunyai kekuatan tarik minimal 37 Kg/mm² dan maksimal 45 Kg/mm². Sedangkan kandungan karbon yang dimilikinya sebesar 0,16 % berat. Data ini diambilkan dari tabel baja-baja konstruksi menurut ONORM M3111 sebagai berikut Tabel 2.2:

Tabel 2.2 Baja Konstruksi menurut ONORM M 3111 (Alois Schonmetz dkk, 1985).

Sebutan ONORM	DIN 17-100	σH	σS	C %
		Kg/mm ²	Kg/mm ²	
St 00 M	-	Sampai 50	-	0,12
St 34 M	St 34-2	34 – 42	19	0,12
St 37 M	St 37-2	37 – 45	21	0,15
St 42 M	St 42-2	42 – 50	23	0,25
St 50 M	St 50 -2	50 -60	27	0`36
St 60 M	St 60-2	60 – 70	32	0,45
St 70 M	St 70-2	70 - 85	36	0,58

Jenis material baja juga ditentukan oleh jumlah kandungan karbon yang terdapat didalamnya. Oleh sebab itu sebutan lainnya dikenal juga sebagai baja karbon. Klasifikasi untuk mengelompokkan jenis baja menurut jumlah kandungan karbon dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini:

Tabel 2.3 Klasifikasi Baja Carbon (Ashby and Jones, 1999).

Metal	Typical Composition (Wt %)	Typical Uses
Low-Carbon ("Mild") Partikel.	Fe: 0,04 to 0,3 C (\approx 0,8 Mn)	Low-stress Uses, General Konstruktional partikel, suitable for welding.
Medium-Carbon Partikel	Fe: 0,3 to 0,7 C (\approx 0,8 Mn)	Medium Stress Uses, machinery part, nut and bolt, shafts, gears
High-Carbon Partikel	Fe: 0,7 to 1,7 (\approx 0,8 Mn)	High-stress uses: Springs, Cutting tool, Dies
Low-alloy Partikel	Fe: 0,2, 0,8 Mn 1 Cr 2 Ni	High-Stress Uses : Pressure Vissels, Air craft part.
High-alloy (Stain lest) Partikel	Fe: 0,1 C 0,5 Mn 18 Cr, 8 Ni	High-Temperature or anti-Corrotion Uses, Chimiical or Steam plants.

Baja St 37 dengan kandungan karbon 0,16 % termasuk kedalam kelompok baja karbon rendah (*Low-Carbon Steel*). Kelompok baja ini masih mungkin untuk ditambah kandungan karbonnya, agar meningkat kemampuannya untuk bisa dikeraskan. Mengingat penggunaannya yang cukup luas untuk banyak komponen konstruksi mesin, termasuk kemungkinan sebagai material dasar komponen yang membutuhkan sifat keras dipermukaannya. Pengukuran kekerasan permukaan baja pada umumnya menggunakan metode *Brinell*, *Vickers* dan *Rockwell*.

2.8 Korosi

Korosi berasal dari bahasa latin "*Corrodere*" yang artinya perusakan logam atau berkarat. Definisi korosi adalah proses degradasi/deteorisasi perusakan material yang terjadi disebabkan oleh lingkungan sekelilingnya. Beberapa pakar

bersikeras definisi hanya berlaku pada logam saja, tetapi para insinyur korosi juga ada yang mendefinisikan istilah korosi berlaku juga untuk material non logam, seperti keramik, plastik, karet. Sebagai contoh rusaknya cat karet karena sinar matahari atau terkena bahan kimia, mencairnya lapisan tungku pembuatan baja, serangan logam yang *solid* oleh logam yang cair (*liquid metal corrosion*). (Sumber: Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Menurut Supardi (1997) korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut dengan perkaratan. Terdapat beberapa definisi dari pakar, yaitu sebagai berikut:

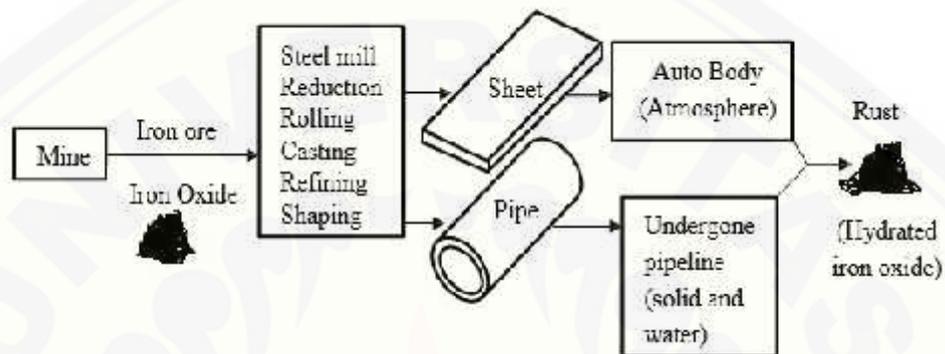
1. Perusakan material tanpa perusakan mekanis
2. Kebalikan dari metalurgi ekstraktif
3. Proses elektrokimia dalam mencapai kesetimbangan termodinamika suatu system.

Jadi korosi adalah system termodinamika logam dengan lingkungan (air, udara, tanah), yang berusaha mencapai kesetimbangan. Sistem ini dikategorikan setimbang bila logam telah membentuk oksida atau senyawa kimia lain yang lebih stabil.

Adapun proses korosi yang terjadi, disamping oleh reaksi kimia biasa, maka yang lebih umum adalah proses elektro kimia. Yang dimaksud dengan lingkungannya dapat berupa udara dengan sinar matahari, embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai dan tanah yang berupa tanah pertanian, tanah rawa, tanah kapur dan tanah berpasir/berbatu-batu.

Korosi disebut juga suatu penyakit dalam dunia teknik, walaupun secara langsung tidak termasuk produk teknik. Studi dari korosi adalah sejenis usaha pengendalian kerusakan supaya serangannya serendah mungkin dan dapat melampaui nilai ekonomisnya, atau jangan ada logam jadi rongsokan sebelum waktunya. Caranya adalah dengan pengendalian secara preventif supaya menghambat serangan korosi. Cara ini lebih baik daripada memperbaiki secara represif yang biayanya akan jauh lebih besar.

Korosi dapat berjalan secara cepat ataupun lambat tergantung dari material bahan, lingkungan, temperatur dan lain sebagainya. Dalam dunia teknik, material korosi yang sering disinggung adalah korosi pada logam. Ilustrasi dari proses pengkorosian pada material logam dapat dilihat pada Gambar 2.19 dimana besi yang dibentuk sesuai kegunaannya dapat terkorosi akibat lingkungan yang dihadapi pada aplikasinya.



Gambar 2.19 Proses pengkorosian logam. (Sumber : Efektifitas Penggunaan Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

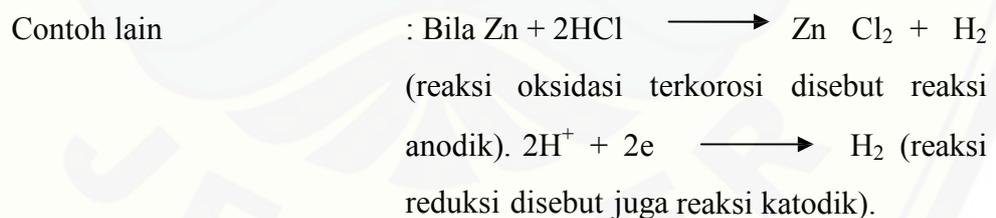
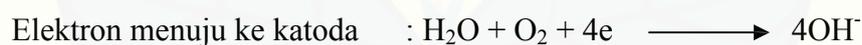
Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi tingkat korosifitas pada suatu material. Sebagai contoh bahwa kelembaban di Indonesia sangat korosif, dapat dibuktikan dari percobaan di bawah ini:

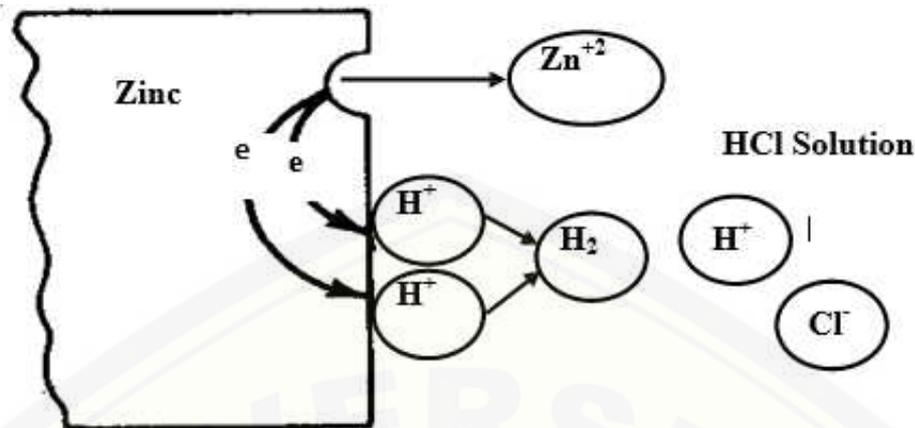
Dua buah bayonet yang terbuat dari baja karbon 0.45% dalam keadaan putih (tanpa lapis lindung) digantungkan dalam gelas penyungkup yang di bawahnya diberi pengering silicagel, maka setelah beberapa minggu diamati ternyata masih tetap tidak ada perubahan. Tetapi *bayonet* lain yang terbuat dari bahan dan kondisi yang sama digantung di bawah atap yang dapat pengaruh langsung dari udara luar tapi tidak kena sinar matahari dan hujan, maka dalam hari ketiga sudah mulai ada lapisan yang berwarna coklat karena terjadi lapisan karat. Contoh lain yaitu pabrik minyak kelapa di Ambon yang menurut perancangannya dari Jepang akan tahan lebih dari 20 tahun, tetapi ternyata tangkinya sudah mulai berkarat pada tahun kedua karena air pendingin dan pencuci dicemari air laut pada saat pasang. Dalam lingkungan tertentu dapat saja

medianya bersifat asam netral, lembab, panas dan ada yang menunjang zat-zat renik yang juga dapat menimbulkan masalah korosi.

Dari segi teori, korosi tidak mungkin sepenuhnya dapat dicegah karena memang merupakan proses alamiah bahwa semua logam akan kembali ke sifat asalnya. Asal dari tanah kembali ke tanah, asal dari biji besi kembali ke oksida besi. Walaupun demikian pengendalian korosi harus dilakukan secara maksimal, karena dilihat dari segi ekonomi dan segi keamanan merupakan hal yang tidak mungkin ditinggalkan. Jadi pengendalian korosi harus dimulai dari perancangan, pengumpulan data lingkungan, proses, peralatan yang dipakai bahan baku dan cara pemeliharaan yang akan dilaksanakan.

Menurut proses elektrokimia, bahwa proses korosi pada logam disebabkan karena logam itu mempunyai komposisi kimia yang tidak homogen. Dalam kenyataan memang logam sangat sulit untuk dibuat betul-betul homogen. Akibatnya akan ada perbedaan potensial yang dapat menimbulkan korosi galvanis bila ada elektrolit (uap air dan udara). Bagian yang berpotensi lebih rendah akan menjadi anoda sedangkan yang berpotensi lebih tinggi akan menjadi katoda. Sebagai contoh korosi pada besi. (Sumber: Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online))





Gambar 2.20 Korosi karena logam tidak homogen. (Sumber: Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Dapat disimpulkan bahwa logam kontak dengan elektrolit akan terjadi:

- Anoda di mana terjadi korosi.
- Katoda yang tidak terkorosi.
- Bajanya sebagai pembawa arus.
- Lingkungan yang korosif (air laut) sebagai elektrolit.

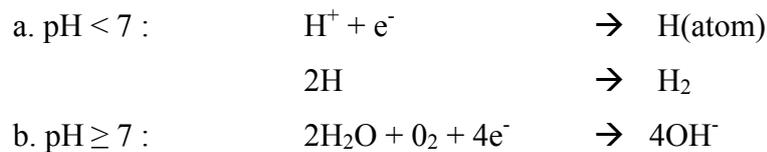
Adapun syarat-syarat dimana suatu proses korosi:

- Anoda, tempat terjadinya reaksi oksidasi dimana ion negatif berkumpul. Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron – elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion– ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Reaksi ini bisa menghalangi pelarutan logam lebih lanjut yang disebut pemasifan dimana reaksi korosi berhenti. Reaksi korosi logam M biasanya dinyatakan dalam persamaan.



dengan banyak elektron yang diambil dari masing-masing atom yang ditentukan oleh valensi logam yang bersangkutan. Umumnya $z = 1, 2$ dst.

- Katoda, tempat terjadinya reaksi reduksi dimana ion positif berkumpul. Pada katoda biasanya tidak mengalami korosi. Walaupun demikian akan menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Dua reaksi penting yang umum terjadi pada katoda. Tergantung pH larutan bersangkutan, adalah:



3. Media elektrolit, sebagai penghantar elektron antara katoda dan anoda. Bersifat menghantarkan listrik.
4. Adanya arus listrik akibat pergerakan elektron.

Pengertian korosi dapat dilihat berbagai teori sebagai berikut:

- a. Teori korosi berdasarkan hukum termodinamika adalah kecenderungan terjadinya korosi yang berhubungan dengan energi potensial
- b. Teori korosi berdasarkan potensial campuran (polarisasi)
- c. Teori korosi berdasarkan reaksi elektrokimia

2.9 Faktor Penyebab Terjadinya Korosi

Menurut Supardi (1997) terdapat beberapa faktor yang mengakibatkan terjadinya korosi yang terbagi atas tiga bagian, yaitu sifat material, faktor lingkungan dan adanya reaksi.

2.9.1 Sifat Material

1. Pengaruh susunan kimia material

Susunan kimia suatu material sangat mempengaruhi ketahanan material itu terhadap serangan korosi. Pada jenis logam yang sama dengan susunan kimia yang berbeda akan mengakibatkan ketahanan terhadap serangan korosi yang berbeda pula. Bahkan semua jenis logam cenderung akan mengalami korosi oleh media yang bersifat korosif seperti air laut.

2. Pengaruh struktur material

Kurangnya homogenitas struktur dapat menimbulkan efek-efek galvanis mikro pada material yang mengakibatkan terjadinya pengkaratan. Adanya titik-titik yang tidak sama dengan titik-titik di sekitarnya dapat mengakibatkan salah satu bertindak sebagai anoda dan salah satu lainnya sebagai katoda. Dalam kondisi demikian, material akan lebih reaktif dalam lingkungan yang elektrolit.

3. Pengaruh perbedaan potensial

Perbedaan potensial antara dua logam atau lebih yang digabungkan akan mengakibatkan terjadinya proses pengkaratan.

4. Pengaruh bentuk permukaan material

Permukaan logam yang mempunyai morfologi tertentu akan mengakibatkan korosi. Adanya kotoran pada permukaan material akan menyebabkan korosi karena terdapat oksigen yang terperangkap didalamnya.

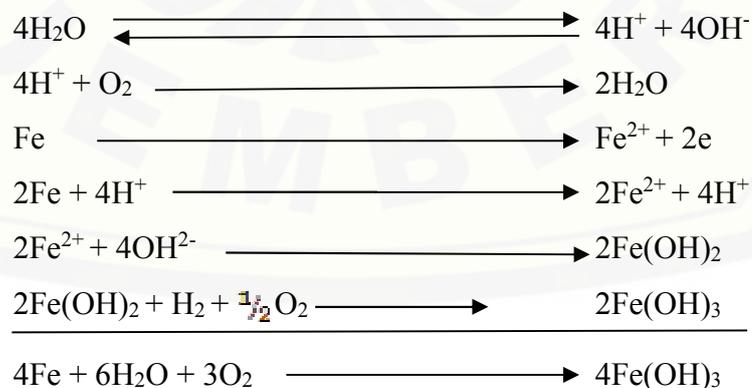
2.9.2 Faktor Lingkungan

1. Lingkungan Air

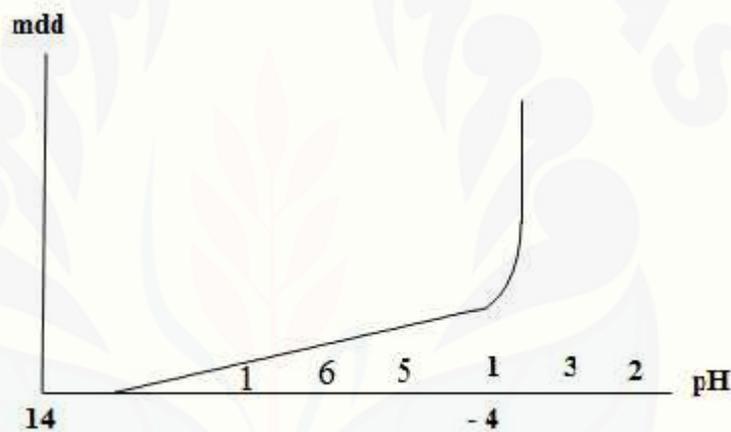
Air ataupun uap air dalam jumlah banyak ataupun sedikit akan sangat berpengaruh terhadap laju korosi pada logam. Reaksinya bukan hanya antara logam dengan oksigen saja, melainkan juga dengan uap air yang menjadi reaksi elektrokimia karena air berfungsi sebagai:

- Pereaksi, misalnya pada logam besi akan berwarna coklat karena terjadinya besi hidroksida.
- Katalisator. Besi akan cepat bereaksi dengan O_2 dari udara sekitar apabila terdapat uap air.
- Pelarut. Produk-produk korosi akan larut dalam air seperti besi sulfat dan besi klorida.
- Elektrolit lemah, yaitu sebagai penghantar arus yang kecil atau lemah.

Mekanisme reaksi uap air di udara dengan logam adalah sebagai berikut:



Korosi pada lingkungan air bergantung pada pH, kadar oksigen dan temperatur. Misalnya pada baja tahan karat pada temperatur 300-500°C bisa bertahan dari serangan korosi. Namun pada temperatur 600-650°C baja tahan karat akan terserang korosi dengan cepat. Menurut penelitian Whitman dan Russel ternyata pH dari suatu elektrolit sangat mempengaruhi pada proses terjadinya korosi pada besi. Pengaturan pH dilakukan dengan pembubuhan KOH pada air yang mempunyai pH 6-14 dan pembubuhan asam pada air yang mempunyai pH 7-0. Pengaruh pH terhadap laju korosi pada besi dapat dilihat pada gambar 2.21 (Sumber: Supardi, 1997)



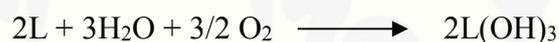
Gambar 2.21 Pengaruh pH terhadap laju korosi pada besi (Sumber: Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

Demikian juga dengan penambahan kadar O_2 dalam air maka akan mempercepat laju korosi pada suatu logam. Kadar O_2 dalam larutan harus dikurangi oleh garam yang terlarut dalam larutan dan kelarutannya bergantung pada logam yang tercelup dan luasan permukaan logam tercelup serta temperaturnya. Adapun macam-macam air seperti air suling adalah air yang paling bersih dan bebas dari kation dan anion serta terisolir dari udara dan bebas dari mikroba. Adapun air hujan atau air salju merupakan proses penyulingan alami, namun demikian air ini masih mengandung CO_2 dari udara yang dapat

membentuk senyawa H_2CO_3 dan akan bersifat asam yang menyebabkan korosi pada baja. Untuk air permukaan komposisi zat terlarut bergantung pada tanah yang ditempati atau tergenang. Tetapi pada umumnya zat yang terlarut lebih rendah dari pada air laut. Biasanya air permukaan mengandung Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- dan SO_4^- yang agresifitasnya lebih rendah dari pada air laut. Korosi oleh air bersih pada logam yang tidak mulia akan terbentuk reaksi sebagai berikut:



Sedangkan untuk air bersih dan adanya O_2 , akan ada proses oksidasi dari udara sekitarnya. Hal ini biasanya terjadi pada air ekat permukaan. Reaksinya adalah sebagai berikut:



2. Lingkungan industri

Korosi di lingkungan industri yang menggunakan bahan kimia seperti pada pembuatan H_2SO_4 , HNO_3 , HCl , dan sebagainya maka akan sangat bersifat korosif.

Pengendalian korosi di lingkungan industri adalah sebagai berikut:

- a. Dipilih/dicarikan bahan logam untuk konstruksi yang paling ekonomis tetapi teknisnya masih dapat dipertanggung jawabkan.
- b. Dapat pula memilih bahan non-logam seperti plastik, keramik, beton dan sebagainya dengan tidak boleh mengesampingkan kondisi kerjanya.
- c. Memberi logam pelindung yang tepat atau lapisan pelindung lainnya.

3. Lingkungan laut

Udara lingkungan laut jauh lebih korosif dibandingkan dengan daerah pedalaman, karena disamping komposisi kimia seperti udara biasa juga akan mengandung garam-garam dan zat lain yang ada pada air laut. Hal ini disebabkan karena ombak yang membentur dan membuat percikan air laut. Percikan air laut yang berupa titik air yang halus akan terbawa oleh angin dan sangat berpengaruh pada korosifitas udara terhadap logam.

2.10 Metode yang Digunakan

2.10.1 Metode kehilangan berat

Metode kehilangan berat adalah perhitungan laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan akibat korosi yang terjadi. Untuk mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Dimana: Laju korosi} = \frac{240000 \times w}{A \times T \times D} \quad (\text{mdd}) \dots \dots \dots (\text{iv})$$

Mdd = Laju korosi, ($\text{mg} / \text{dm}^2 \text{ day}$)

W = Berat yang hilang, (g)

A = Luas, (cm^2)

T = Waktu, (jam)

D = *Density*, (g/cm^3)

Metode ini adalah mengukur kembali berat awal dari benda uji (objek yang ingin diketahui laju korosi yang terjadi padanya), kekurangan berat dari pada berat awal merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat dikembalikan kedalam rumus untuk mendapatkan laju kehilangan beratnya [H.H. Uhlig, W.R, 2000].

2.10.2 Metode Pengujian Eksperimen 2 Faktorial

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Uji statistik yang dilakukan dalam penelitian ini adalah eksperimen faktorial. Penggunaan eksperimen faktorial ini, karena terdapat lebih dari satu faktor yang mempengaruhi sesuatu yang diamati. Seperti yang ada dalam penelitian ini yaitu pengaruh variasi temperatur dan *accelerator* asam nitrit (HNO_2) pada proses *phosphating* terhadap ketebalan lapisan dan nilai laju korosi.

Dengan menggunakan analisis tersebut, sehingga dapat melihat apakah terdapat pengaruh dari variasi yang dilakukan terhadap laju korosi tersebut

(Sastrosupadi, 2000). Bentuk Eksperimen Faktorial model Rancangan Acak Lengkap dari data hasil percobaan Y_{ijk} dapat dinyatakan dengan model matematis:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \dots \dots \dots (v)$$

Dengan, $i = 1, 2$ dan 3

$j = 1, 2$, dan 3

$k = 1, 2, 3, 4$

Dimana:

Y_{ijk} : Pengamatan pada faktor A taraf ke- i , faktor B taraf ke- j dan ulangan ke- k

μ : Rataan umum

α_i : Pengaruh faktor A taraf ke- i

β_j : Pengaruh faktor B taraf ke- j

$(\alpha\beta)_{ij}$: Pengaruh interaksi dari faktor A taraf ke- i dan faktor B taraf ke- j

ε_{ijk} : Pengaruh acak pada faktor A taraf ke- i , faktor B taraf ke- j dan ulangan ke- k

Model matematik tersebut memperlihatkan bahwa data Y_{ijk} merupakan nilai-nilai rataan (μ) yang bervariasi sebagai akibat adanya pengaruh perlakuan (α_i), perlakuan (β_j), dan galat (ε_{ijk}) akibat adanya ulangan. Asumsi untuk model acak ialah:

$$\alpha_i \sim N(0, \sigma^2_\alpha), \beta_j \sim N(0, \sigma^2_\beta), (\alpha\beta)_{ij} \sim N(0, \sigma^2_{\alpha\beta}) \dots \dots \dots (vi)$$

Model Acak merupakan model dimana perlakuan-perlakuan yang dicobakan merupakan sampel acak dari populasi perlakuan dan kesimpulan yang diperoleh berlaku secara umum untuk seluruh populasi perlakuan.

A. Uji Hipotesis

Hipotesis adalah suatu pernyataan yang masih lemah kebenarannya dan perlu dibuktikan atau dugaan yang sifatnya masih sementara. Pengujian hipotesis akan menghasilkan keputusan menerima atau menolak hipotesis. Penolakan suatu hipotesis bukan berarti disimpulkan bahwa hipotesis salah,

dimana bukti yang tidak konsisten dengan hipotesis. Penerimaan hipotesis sebagai akibat tidak cukupnya bukti untuk menolak dan tidak berimplikasi bahwa hipotesis itu pasti benar. Pada penelitian ini ditetapkan nilai taraf signifikansi α sebesar 5% atau 0,05 dengan artian ada kemungkinan 5 diantara seratus keputusan penolakan hipotesis nol adalah keputusan yang keliru (Sastrosupadi, 2000). Model acak untuk membuktikan hipotesis bahwa uji F dilakukan untuk membandingkan besaran pengaruh perlakuan (KTP) atau pengaruh kontrol lokal (pengelompokan) dengan efek kondisi (galat) (KTG).

Kriteria Pengambilan Keputusan:

1. Jika taraf signifikan $> \alpha$, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pencelupan dan temperatur tidak berpengaruh terhadap ketebalan lapisan atau dengan kata lain Terima H_0 dan Tolak H_a
2. Jika taraf signifikan $< \alpha$, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pencelupan dan temperatur berpengaruh terhadap ketebalan lapisan atau dengan kata lain Tolak H_0 dan Terima H_a

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan:

- a. *Accelerator* (faktor A) terhadap ketebalan lapisan cat. Faktor A tersebut dilakukan dengan beberapa variasi yaitu 1,8 gr/lit, 2,7 gr/lit dan 3,6 gr/lit dengan variasi temperatur (faktor B) yaitu temperatur ruangan ($^{\circ}\text{C}$), 45 $^{\circ}\text{C}$, 55 $^{\circ}\text{C}$ dan 65 $^{\circ}\text{C}$.
- b. Ketebalan lapisan (faktor A) terhadap nilai laju korosi. Faktor A tersebut dilakukan dengan beberapa variasi yang dihasilkan dari perlakuan pertama dengan variasi waktu (faktor B) yaitu pengujian *salt spray test* selama 7 hari dengan pengambilan data setiap 24 jam.

Rancangan yang digunakan adalah Percobaan Faktorial dengan 4 kali ulangan (r).

B. Metode Rancangan Acak Lengkap

Pada Rancangan acak lengkap ada dua sumber keragaman yaitu sumber keragaman perlakuan dan sumber keragaman galat. Besar nilai kedua komponen sumber keragaman inilah yang menentukan perbedaan antar perlakuan. Dalam

penelitian ini menggunakan Metode Rancangan acak lengkap sama yaitu bila jumlah perlakuan sama (p) dan setiap perlakuan diulang (n) kali level maka, dapat dibuat tabel hasil pengamatan dengan pola Acak yang disajikan dalam tabel 2.3 yaitu tabel Anova sebagai berikut:

Tabel 2.4 Tabel Anova

Sumber keragaman (SK)	Derajat bebas (DB)	Jumlah kwadrat (JK)	Kwadrat tengah (KT)	F hitung
Perlakuan	AB-1	$\frac{(\sum y_j)^2}{r} - FK$	JKP/DBP	KTP/KTG
A	A-1	$\frac{(\sum y_j)^2}{rB} - FK$	JKA/DBA	KTA/KTG
B	B-1	$\frac{(\sum y_j)^2}{rA} - FK$	JKB/DBB	KTB/KTG
AB	(A-1)(B-1)	JKP-JKA-JKB	JKAB/DBAB	KTAB/KTG
Galat	AB(r-1)	JKT-JKP	JKG/DBG	
Total	(ABr-1)	$\Sigma (\sum_{ijk})^2 - FK$		

Keterangan:

- Perlakuan faktor A = A
- Perlakuan faktor B = B
- Jumlah ulangan = r
- Derajat bebas perlakuan (DBP) = AB - 1
- Derajat bebas faktor A (DBA) = A - 1
- Derajat bebas faktor B (DBB) = B - 1
- Derajat bebas faktor AB (DBAB) = (A - 1) (B - 1)
- Derajat bebas galat (DBG) = AB (r - 1)
- Derajat bebas total (DBT) = (ABr - 1)
- Faktor koreksi (FK) = $\frac{(\sum y_j)^2}{A \times B \times r}$
- Jumlah kwadrat total (JKT) = $\Sigma (\sum_{ijk})^2 - FK$

- l. Jumlah kwadrat perlakuan (JKP) $= \frac{\sum (\sum y)^2}{r} - FK$
- m. Jumlah kwadrat faktor A (JKA) $= \frac{\sum (\sum y)^2}{r_B} - FK$
- n. Jumlah kwadrat faktor B (JK faktor B) $= \frac{\sum (\sum y)^2}{r_A} - FK$
- o. Jumlah kwadrat faktor AB (JK faktor AB) $= JKP - JKA - JKB$
- p. Jumlah kwadrat galat (JKG) $= JKT - JKP$
- q. Kwadrat tengah perlakuan (KTP) $= JKP / DBP$
- r. Kwadrat tengah faktor A (KTA) $= JKP / DBA$
- s. Kwadrat tengah faktor A (KTB) $= JKP / DBB$
- t. Kwadrat tengah faktor AB (KTAB) $= JKP / DBAB$
- u. Kwadrat tengah galat (KTG) $= JKG / DBG$

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental analisa untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan *accelerator* asam nitrit (HNO_2) pada proses *phosphating* di aplikasi *powder coating* mild steel ST 37. Rancangan penelitian dengan menggunakan penelitian faktorial dimana penelitian ini berdasarkan faktor temperatur dan banyaknya *accelerator* yang ditambahkan dalam campuran larutan *phosphating*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. Sinar Industri Panel – Malang, Laboratorium Manufaktur Kemasan Fakultas Teknik Universitas Jember dan Laboratorium metalurgi - ITS. Penelitian dilakukan pada bulan Januari - Mei 2015.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Neraca digital
2. Alat uji ketebalan (*thickness gauge*)
3. Alat uji *salt spray*
4. Bak penampung larutan (4 buah)
5. Kompor
6. Termometer
7. Gelas kaca
8. Oven
9. *Spray gun*
10. Sikat halus
11. Kamera
12. Gergaji besi

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Spesimen Mild steel ST 37 (dimensi: 600 mm x 400 mm x 4 mm)
2. Larutan *pickling* (HCl)
3. Larutan *Water Rinse* (air)
4. Larutan *surfacing* (Prepalene PLX-HG)
5. Larutan *phosphating* (H₃PO₄) *accelerator* (HNO₂)
6. Cat *powder* (*corro-coat* MX 8003)

3.4 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Membuat dan membentuk spesimen uji Mild steel ST 37 hingga sesuai dengan dimensi yang diinginkan sejumlah 48 buah spesimen.
3. Memberi lubang pada spesimen uji
4. Memberi nomor setiap spesimen menggunakan stamping, kemudian tiap spesimen ditimbang sebelum proses *pretreatment* dan *coating*.
5. Membuat larutan *phosphating* sesuai dengan variasi pengujian
6. Memanaskan larutan *phosphating* hingga suhu yang divariasikan.
7. Melakukan proses *pretreatment* spesimen uji.
8. Mengeringkan spesimen uji pada mesin oven dengan suhu 70 °C selama 10 menit.
9. Melakukan pengecatan menggunakan cat *powder corro-coat* MX 8003 pada *spraying booth*.
10. Melakukan pemanasan pada oven dengan temperatur 190 °C dalam waktu 15 menit.
11. Mengukur berat spesimen setelah dilakukan *powder coating*.
12. Melakukan pengujian ketebalan lapisan cat menggunakan alat uji *thickness gauge* ASTM B499.
13. Melakukan pengambilan data visual (foto makro).
14. Melakukan persiapan pengujian *satt spray* sesuai ASTM B117.

15. Melakukan pengukuran berat spesimen sebelum dilakukan pengujian *salt spray*.
16. Melakukan pengujian *salt spray* sesuai standart ASTM B117.
17. Melakukan pengukuran berat spesimen dan melakukan perhitungan laju korosi pada tiap spesimen.
18. Analisis data dan kesimpulan.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Persiapan alat

Persiapan alat dilakukan untuk menghindari adanya berbagai macam gangguan dan masalah yang dapat timbul akibat dari kondisi peralatan yang akan digunakan, yaitu dengan melakukan pengecekan mengenai fungsi-fungsi peralatan dan membersihkannya dari kotoran-kotoran yang menempel.

3.5.2 Persiapan dan pembuatan spesimen uji

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mild steel ST 37. Persiapan material dilakukan dengan membuat spesimen uji sesuai dengan dimensi yang ditentukan.

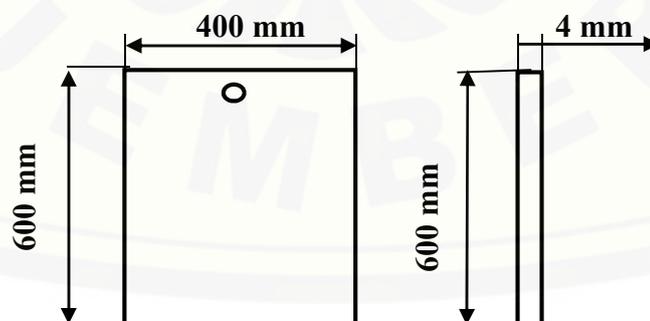
Dengan spesimen sebagai berikut:

Panjang = 600 mm

Lebar = 400 mm

Tinggi = 4 mm

Diameter = 5 mm



Gambar 3.1 Penampang Spesimen Uji

Pembentukan spesimen uji dilakukan dengan memotong material menggunakan gergaji potong, selanjutnya dilakukan pengikiran pada bagian sisinya untuk mendapatkan kerataan ukuran sesuai dengan yang diinginkan dan melakukan pengeboran dengan diameter 5 mm. Kemudian spesimen dilakukan penimbangan awal sebelum proses *pretreatment* dan *powder coating*.

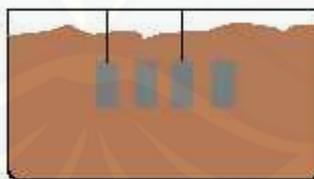
3.5.3 Pembuatan larutan *phosphating*

Larutan *phosphating* pada PT. Sinar Industri Panel menggunakan takaran H_3PO_4 75 gram/lit dan *accelerator* asam nitrit (HNO_2) 2,7 gram/lit pada suhu kamar. Sedangkan dalam penelitian ini divariasikan sebesar 45°C, 55°C, 65°C, suhu ruangan dan penambahan *accelerator nitrous acid* sebanyak 1,8 gr/liter, 2,7 gr/liter, 3,6 gr/liter.

3.5.4 *Pretreatment*

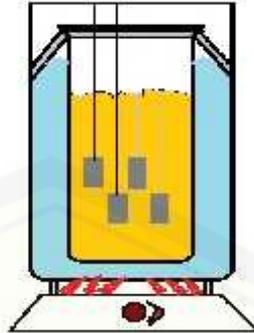
Pada proses ini spesimen uji dilakukan perendaman dalam 5 larutan yang bertujuan untuk memberikan perlakuan awal agar spesimen uji memiliki ketahanan korosi yang baik dan memiliki sifat adhesif yang baik.

- a. Perendaman pada larutan *pickling* selama 15 menit pada suhu kamar.
- b. Perendaman pada air (*water rinse*) selama 1 menit pada suhu kamar.
- c. Perendaman pada larutan *surfacing* selama 2 menit pada suhu kamar.



Gambar 3.2 Perendaman pada suhu ruangan (*pickling*, *water rinse*, *surfacing*)

- d. Perendaman pada larutan *phosphating* selama 10 menit sesuai dengan temperature (45°C, 55°C, 65°C, suhu ruangan) dan campuran *accelerator* (1,8 gr/liter, 2,7 gr/liter, 3,6 gr/liter) yang telah divariasikan.



Gambar 3.3 Pemanasan larutan *phosphating*

- e. Perendaman pada air (*water rinse*) selama 1 menit pada suhu kamar.

3.5.5 *Coating*

Setelah dilakukan *Pretreatment* spesimen uji dikeringkan didalam oven selama 10 menit dengan temperatur 70 °C. Hal ini bertujuan untuk mengeringkan spesimen uji agar kandungan air dan larutan dalam spesimen mengurang dibagian luar ataupun dibagian dalam spesimen. Setelah dilakukan pengeringan spesimen uji dilakukan proses *coating* pada mesin *spraying booth*. Kemudian dilanjutkan dengan proses oven dalam waktu 15 menit dengan temperatur 190 °C. Proses ini dilakukan agar serbuk cat yang ditembakkan menggunakan *spray gun* meleleh sehingga serbuk cat menempel pada spesimen uji.

3.5.6 Pengujian ketebalan lapisan cat

Setelah spesimen terlapisi oleh serbuk yang telah dipanaskan, maka dilakukan pengukuran ketebalan lapisan cat. Proses pengukuran tersebut dilakukan untuk mengetahui tebal lapisan *powder* yang menempel pada spesimen uji terhadap pengaruh variasi penambahan *accelerator* dan temperatur. Pengukuran ini menggunakan alat *thickness gauge* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Coating thickness gauge*

Pengukuran ketebalan dilakukan di 3 titik yang berbeda pada permukaan spesimen yang telah dilapisi cat sesuai dengan ASTM B499. Hal itu dilakukan untuk mengetahui apakah ketebalan cat telah merata pada semua bagian spesimen. Ketebalan lapisan cat diperoleh dari rata-rata nilai yang diperoleh dari ke 3 titik yang telah diukur.

3.5.7 Pengujian *salt spray*

Pengujian *salt spray* (sembur kabut garam) dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan korosi dari material semua jenis material cat yang ada. Metoda pengujian dengan sembur kabut garam (*salt spray test*) dilakukan secara berkesinambungan selama 168 jam, sesuai dengan standar ASTM B117. Pengujian dilakukan di laboratorium metalurgi ITS, spesifikasi sebagai berikut:

1. Temperatur pengujian : 35 (+1,1-1,7) °C \approx 95°F
2. Sudut posisi spesimen : 15-30° terhadap posisi vertikal
3. Tekanan udara : 69-172 kPa/m² (10–25 psi)
4. pH ruangan : 6,5–7,2
5. Waktu pengujian : 168 jam (7 x 24 jam)

a. Persiapan pengujian *salt spray*

1. Pemasukan larutan NaCl dengan kadar 5% kedalam *resivoir*
2. Penyalaan *compressor* sebagai penyuplai udara bertekanan selama pengujian berlangsung
3. Pengaturan temperatur 35 (+1,1-1,7) °C \approx 95°F pada *temperatur control*

4. Peletakan spesimen pada rak spesimen kemudian dimasukkan dalam *cabinet*

b. Pengujian *salt spray*

Pengujian dimulai dengan membuka *valve* pada *compressor* sebesar 15 psi untuk mendapatkan larutan NaCl dan udara yang bertekanan menjadi kabut larutan NaCl yang keluar dari *spray gun (nozzle)*.

Selama pengujian berlangsung diharapkan memenuhi kondisi sebagai berikut:

1. Tidak ada larutan yang mengenai spesimen secara langsung, misalnya dari tetesan larutan yang berasal dari kejenuhan kabut yang menempel pada dinding di atas *cabinet*
2. Posisi spesimen tetap pada rak spesimen dengan kemiringan 15° dari arah vertikal dan jarak ± 6 cm (antar ujung bawah spesimen), agar tidak ada larutan yang saling mengontaminasi dan menghindari kontak antar spesimen
3. Kondisi didalam *cabinet* selalu berada pada temperatur 35 (+1,1-1,7) °C \approx 95°F dan pH 6,5–7,2
4. Larutan yang telah terpakai tidak dipergunakan kembali (tidak bersirkulasi)
5. Posisi rak pada *cabinet* dirotasi setiap 24 jam

c. Pengambilan data secara periodik selama pengujian

Pengambilan data pada tiap 24 jam pada pengujian *salt spray* dengan total waktu pengujian 168 jam (7 kali pengujian/24jam), untuk mendapatkan data berat lapisan cat. Langkah-langkah pengambilan data:

1. Pemberhentian sementara pengujian pengujian *salt spray* dengan mematikan *compressor* dan *temperature control (heater)*
2. Pengeluaran spesimen dari dalam *cabinet* (beserta raknya), untuk dilakukan pembersihan spesimen, yang meliputi:
 - Pembilasan setiap spesimen dengan menggunakan air PDAM yang mengalir, untuk menghilangkan sisa larutan yang menempel pada permukaan

- Pengeringan spesimen menggunakan kain bersih yang kering
 - 3. Penimbangan spesimen menggunakan timbangan digital
 - 4. Penataan kembali pada rak seperti posisi semula dan memasukkan kembali kedalam *cabinet*
- d. Pengkondisian *salt spary cabinet* selama pengujian
1. Temperatur pengujian

Untuk mendapatkan temperatur yang dikehendaki, yaitu $35 (+1,1-1,7) ^\circ\text{C} \approx 95^\circ\text{F}$, maka digunakan *heater* sebagai sumber panas. Dimana *heater* terhubung dengan *termo control* untuk mendapatkan temperatur konstan sesuai standart pengujian.

3.6 Analisis Data

3.6.1 Analisis dengan Metode Gravimetri

Setelah spesimen diuji dengan *salt spray*, dilakukan penimbangan berat masing–masing spesimen pada selang waktu 24 jam sekali selama 168 jam pada setiap variasi konsentrasi. Langkah selanjutnya adalah perhitungan laju korosi. Perhitungan laju korosi ini menggunakan metode gravimeter (pengurangan berat). Untuk menghitung laju korosinya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Laju korosi} = \frac{240000 \times w}{A \times T \times D} \text{ (mdd)}$$

Dimana:

Mdd = laju korosi, ($\text{mg}/\text{dm}^2 \text{ day}$)

W = berat yang hilang, (g)

A = luas, (cm^2)

T = waktu, (jam)

D = *density*, (g/cm^3)

Data yang dihasilkan adalah menghitung masa benda uji sebelum dan setelah perendaman untuk dibandingkan. Konversi satunya adalah massa perluasan terhadap waktu perendaman (mdd) pada Mild steel ST 37. Kemudian dianalisis nilai laju korosi yang terjadi pada hari ke 7. Sehingga dari sini data dibahas dan disimpulkan hasilnya.

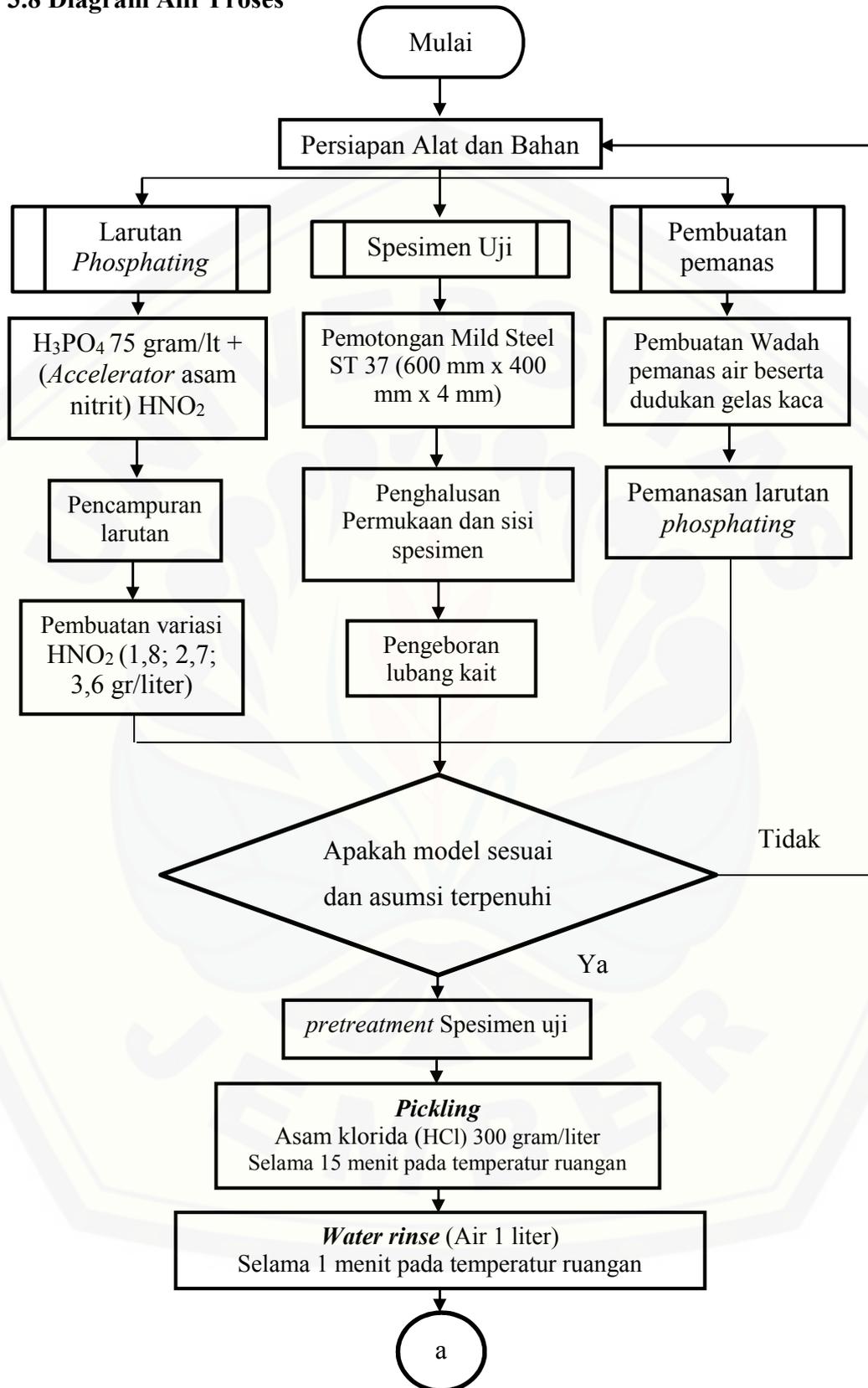
3.6.2 Pengambilan Data

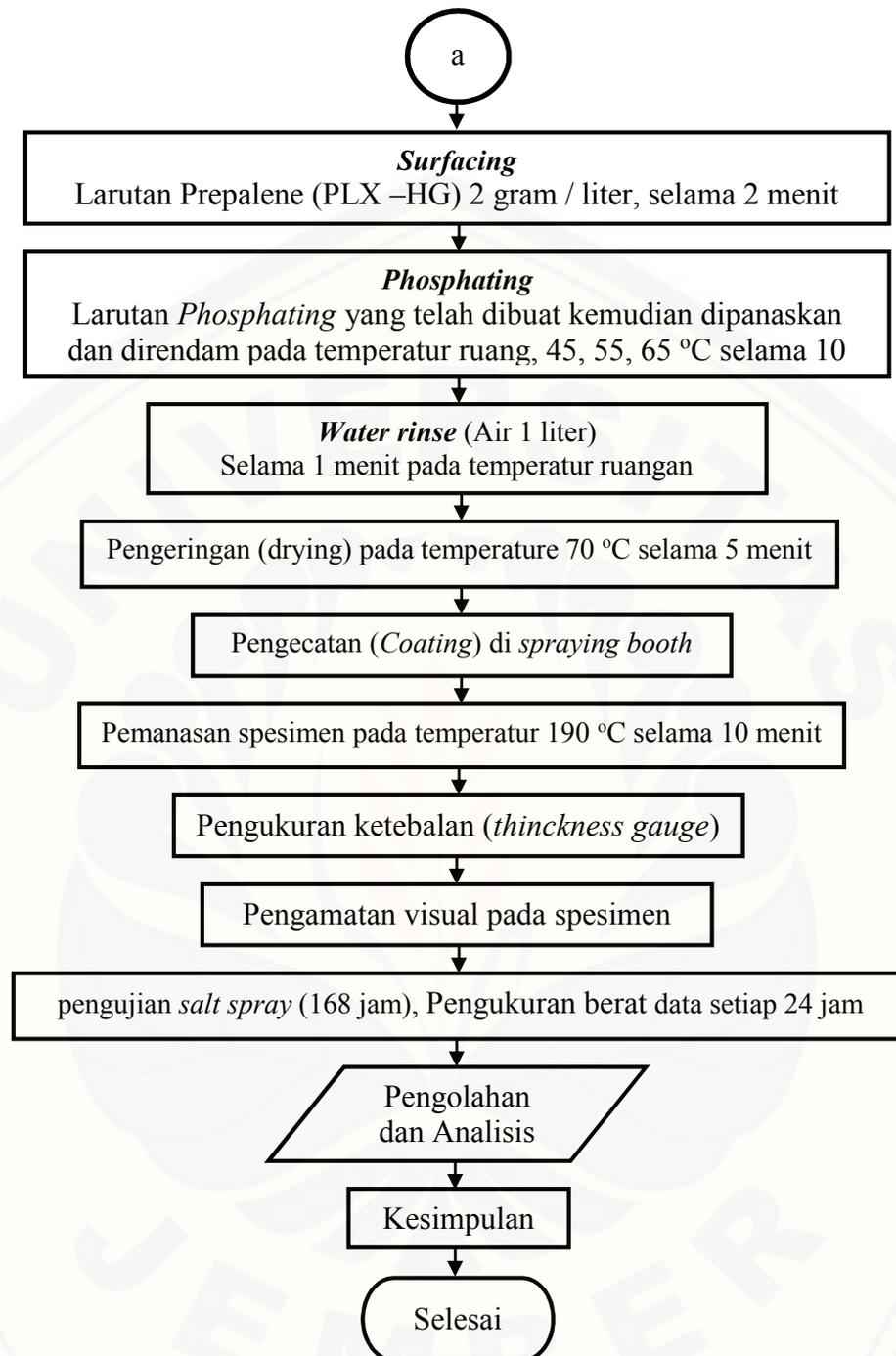
Pengambilan data dilakukan pada saat melakukan penelitian. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan temperatur dan campuran *accelerator*. Pengambilan data ketebalan lapisan cat dilakukan sebelum spesimen dilakukan pengujian *salt spray* dengan menggunakan *thickness gauge*. Pengambilan data berat spesimen laju korosi dilakukan setiap 24 jam dalam total waktu 168 jam. Setiap variasi dilakukan pengulangan sebanyak 4 kali guna memperoleh hasil yang valid.

3.7 Hipotesis

Hipotesis awal penelitian ini adalah semakin meningkat penambahan *accelerator* dan temperatur semakin meningkat ketebalan lapisan cat. Semakin meningkat penambahan *accelerator* dan temperatur semakin menurun nilai laju korosi.

3.8 Diagram Alir Proses





Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Percobaan

Setelah dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi temperatur dan *accelerator* asam nitrit (HNO_2) pada proses *phosphating* di aplikasi *powder coating mild steel* ST 37, dilakukan pengujian ketebalan lapisan dan nilai laju korosi spesimen uji. Untuk mencari hubungan antara variabel bebas dengan variabel terkontrol digunakan analisis varian (ANOVA) dua jalur untuk eksperimen faktorial. Sedangkan untuk mempermudah dan memperoleh keakuratan analisis serta pengolahan data dibantu dengan *software* SPSS 16.

4.1.1 Hasil Pengujian Ketebalan

Setelah dilakukan pengujian maka diperoleh data pengujian yang ditunjukkan pada Tabel lampiran A1.1. Serta data hasil pengujian ketebalan total dan rata-rata disajikan dalam Tabel lampiran A1.2.

4.1.2 Hasil Pengujian *Salt Spray*

Setelah dilakukan percobaan maka diperoleh data percobaan yang ditunjukkan pada Tabel lampiran A1.3. Setelah diperoleh data berat spesimen setiap 24 jam maka dilakukan perhitungan nilai laju korosi. Nilai laju korosi dihitung dari kekurangan berat dari pada berat awal (berat yang hilang) dikalikan dengan 240000 dibagi dengan luas, waktu dan density dari spesimen yang diujika. Sebagai contoh pengujian dengan variasi penambahan *accelerator* 1,8 gram/liter dan temperatur 27°C serta lama perendaman 24 jam maka diketahui:

$$\begin{array}{ll} w & = 0,0045 \text{ gram} ; & l & = 4 \text{ cm} \\ D & = 7,85 \text{ g/cm}^3 ; & r & = 0,025 \text{ cm} \\ T & = 24 \text{ jam} ; & p & = 6 \text{ cm} \\ t & = 0,004 \text{ cm} \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{tot}} &= [(A_{\text{balok}}) - (2 \times A_{\text{lingkaran}}) + (A_{\text{selimut tabung}})] \\
 &= [2 \times (p \times l + p \times t + t \times l)] - \{2 \times \pi \times r^2\} + \{2 \times \pi \times r \times t\} \\
 &= [2 \times (6 \times 4 + 6 \times 0,004 + 4 \times 0,004)] - \{2 \times 3,14 \times 0,025^2\} + \\
 &\quad \{2 \times 3,14 \times 0,025 \times 0,004\} \\
 &= [(48,8) - (0,003925) + (0,00628)] \\
 &= 48,802355 \text{ cm}^2 \\
 \text{Laju korosi} &= \frac{2}{A \times T \times D} \left(\frac{40000 \times w}{240000} \right) \text{ (mg/dm}^2\text{day)} \\
 &= \frac{48,802355 \times 0,0045}{24 \times 7,8} \\
 &= \frac{1080}{9194,3637} \\
 &= 0,117463 \text{ mg/dm}^2\text{day}
 \end{aligned}$$

Data hasil perhitungan nilai laju korosi disajikan dalam Tabel lampiran A1.4. dan Tabel lampiran A1.5 data uji statistik nilai laju korosi terhadap variasi temperatur dan *accelerator*.

4.2 Analisis Statistik

Data ketebalan lapisan yang diperoleh sebagaimana pada Tabel lampiran A1.2 serta data nilai laju korosi yang terdapat pada Tabel lampiran A1.4 kemudian dianalisis dengan ANOVA untuk eksperimen faktorial. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan software SPSS 16.

4.2.1 Pengujian Hipotesis pada Ketebalan Lapisan

1. Pengujian hipotesis *Main Effect* pada ketebalan lapisan

Dengan adanya pengujian hipotesis *Main Effect* pada ketebalan lapisan maka dapat diketahui pengaruh temperatur terhadap ketebalan lapisan serta *accelerator* terhadap ketebalan lapisan. Dengan $\alpha = 0,05$ (5%) maka hipotesis dapat diasumsikan sebagai berikut:

Ho : Tidak ada pengaruh temperatur/*accelerator* terhadap ketebalan lapisan cat.

Ha : Ada pengaruh temperatur/*accelerator* terhadap ketebalan lapisan cat.

Jika taraf signifikan $> \alpha$, maka Ho diterima, Ha ditolak

Jika taraf signifikan $< \alpha$, maka Ho ditolak, Ha diterima

Hasil analisis data untuk pengujian hipotesis ditunjukkan dalam Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Daftar ANOVA eksperimen faktorial ketebalan lapisan

<i>Dependent Variable: Nilai TAB</i>					
<i>Source</i>	<i>Type III Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Corrected Model</i>	14532.736 ^a	11	1321.158	1.557E3	.000
<i>Intercept</i>	338070.042	1	338070.042	3.984E5	.000
<i>Temperatur</i>	8895.126	3	2965.042	3.494E3	.000
<i>Accelerator</i>	4542.464	2	2271.232	2.677E3	.000
<i>Temperatur * Accelerator</i>	1095.145	6	182.524	215.108	.000
<i>Error</i>	30.547	36	.849		
<i>Total</i>	352633.325	48			
<i>Corrected Total</i>	14563.283	47			

a. *R Squared* = .998 (*Adjusted R Squared* = .997)

Dari data pada Tabel 4.1 diperoleh nilai *R Squared* atau koefisiensi determinasi (KD) yang menunjukkan seberapa bagus model regresi dibentuk oleh interaksi variabel bebas dan variabel terikat. *R Squared* yang baik adalah apabila nilainya lebih besar daripada nilai *Adjusted R Squared*. Nilai KD yang diperoleh adalah 99,8% yang mana nilai ini lebih besar dari nilai *Adjusted R Squared* 99,7%. Sehingga dapat ditafsirkan bahwa variabel bebas temperatur/*accelerator* memiliki pengaruh kontribusi sebesar 99,8% terhadap ketebalan lapisan dan 0,2% lainnya dipengaruhi

oleh faktor-faktor lain diluar variabel bebas. Dari tabel tersebut juga dapat kita lihat bahwa nilai $\alpha = 0,05$ dan taraf signifikansi pada temperatur 0,00 yang artinya H_0 ditolak dan H_a diterima (ada pengaruh temperatur terhadap ketebalan lapisan cat) karena taraf signifikansi $< \alpha$. Begitu pula pada faktor *accelerator*. Dengan taraf signifikan sebesar 0,00 yang artinya H_0 ditolak dan H_a diterima (ada pengaruh *accelerator* terhadap ketebalan lapisan cat).

2. Pengujian hipotesis *Interaction Effect* pada ketebalan lapisan

Dengan adanya pengujian hipotesis *Interaction Effect* pada ketebalan lapisan maka dapat diketahui pengaruh interaksi kedua variabel bebas yaitu temperatur dan *accelerator* terhadap variabel terikat yaitu ketebalan lapisan. Dengan $\alpha = 0,05$ (5%) maka hipotesis dapat diasumsikan sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh temperatur dan *accelerator* terhadap ketebalan lapisan cat.

H_a : Ada pengaruh temperatur dan *accelerator* terhadap ketebalan lapisan cat.

Jika taraf signifikan $> \alpha$, maka H_0 diterima, H_a ditolak

Jika taraf signifikan $< \alpha$, maka H_0 ditolak, H_a diterima

Dari data pada Tabel 4.1 dengan nilai $\alpha = 0,05$ didapat bahwa taraf signifikansi untuk interaksi temperatur dan *accelerator* sebesar 0,00. karena taraf signifikansi $< \alpha$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima (Ada pengaruh temperatur dan *accelerator* terhadap ketebalan lapisan cat).

4.2.2 Pengujian Hipotesis pada Nilai Laju Korosi

1. Pengujian hipotesis *Main Effect* pada nilai laju korosi

Dengan adanya pengujian hipotesis *Main Effect* pada nilai laju korosi maka dapat diketahui pengaruh temperatur terhadap nilai laju korosi serta *accelerator* terhadap nilai laju korosi. Dengan $\alpha = 0,05$ (5%) maka hipotesis dapat diasumsikan sebagai berikut:

Ho : Tidak ada pengaruh temperature/*accelerator* terhadap nilai laju korosi.

Ha : Ada pengaruh temperature/*accelerator* terhadap nilai laju korosi.

Jika taraf signifikan $> \alpha$, maka Ho diterima, Ha ditolak

Jika taraf signifikan $< \alpha$, maka Ho ditolak, Ha diterima

Hasil analisis data untuk pengujian hipotesis ditunjukkan dalam Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Daftar ANOVA eksperimen faktorial nilai laju korosi

Dependent Variable:NTAB					
<i>Source</i>	<i>Type III Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Corrected Model</i>	.668 ^a	11	.061	3.110E3	.000
<i>Intercept</i>	3.227	1	3.227	1.652E5	.000
<i>Temperatur</i>	.290	3	.097	4.941E3	.000
<i>Accelerator</i>	.141	2	.070	3.604E3	.000
<i>Temperatur * Accelerator</i>	.238	6	.040	2.030E3	.000
<i>Error</i>	.001	36	1.954E-5		
<i>Total</i>	3.896	48			
<i>Corrected Total</i>	.669	47			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

Dari data pada Tabel 4.2 diperoleh nilai *R Squared* atau koefisiensi determinasi (KD) yang menunjukkan seberapa bagus model regresi dibentuk oleh interaksi variabel bebas dan variabel terikat. *R Squared* yang baik adalah apabila nilainya lebih besar daripada nilai *Adjusted R Squared*. Nilai KD yang diperoleh adalah 99,9% yang mana nilai ini sama dengan nilai *Adjusted R Squared* 99,9%. Sehingga dapat ditafsirkan bahwa variabel bebas temperatur/*accelerator* memiliki pengaruh kontribusi sebesar 99,9% terhadap nilai laju korosi dan 0,1% lainnya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain diluar variabel bebas. Dari tabel tersebut juga dapat

kita lihat bahwa nilai $\alpha = 0,05$ dan taraf signifikansi pada temperature sebesar 0,00 yang artinya H_0 ditolak dan H_a diterima (ada pengaruh temperatur terhadap nilai laju korosi) karena taraf signifikansi $< \alpha$. Begitu pula pada faktor *accelerator*. Dengan taraf signifikan sebesar 0,00 yang artinya H_0 ditolak dan H_a diterima (ada pengaruh *accelerator* terhadap nilai laju korosi).

2. Pengujian hipotesis *Interaction Effect* pada nilai laju korosi

Dengan adanya pengujian hipotesis *Interaction Effect* pada nilai laju korosi maka dapat diketahui pengaruh interaksi kedua variabel bebas yaitu temperatur dan *accelerator* terhadap variabel terikat yaitu nilai laju korosi. Dengan $\alpha = 0,05$ (5%) maka hipotesis dapat diasumsikan sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh temperatur dan *accelerator* terhadap nilai laju korosi.

H_a : Ada pengaruh temperatur dan *accelerator* terhadap nilai laju korosi.

Jika taraf signifikan $> \alpha$, maka H_0 diterima, H_a ditolak

Jika taraf signifikan $< \alpha$, maka H_0 ditolak, H_a diterima

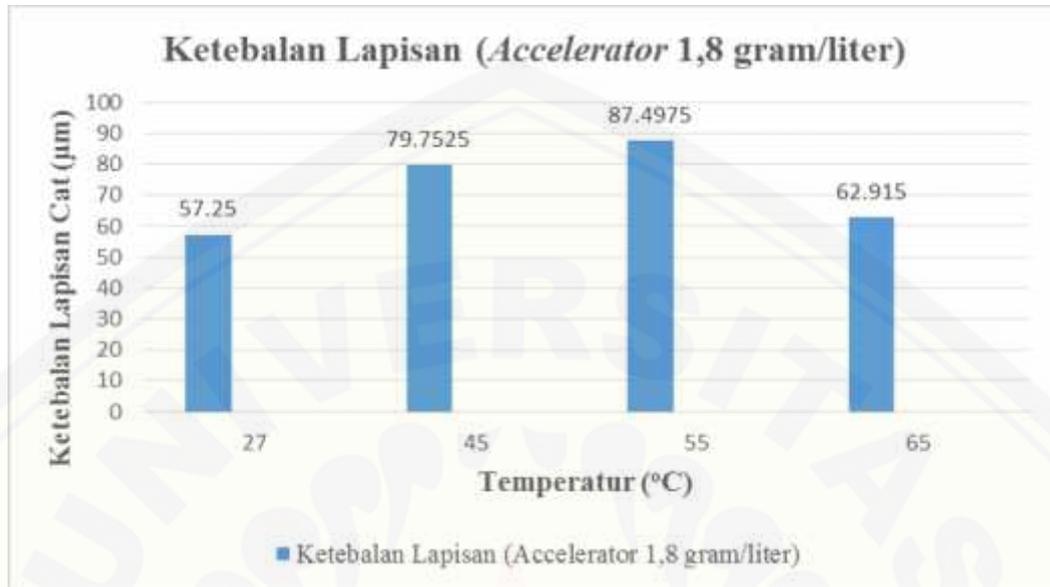
Dari data pada Tabel 4.2 dengan nilai $\alpha = 0,05$ didapat bahwa taraf signifikansi untuk interaksi temperatur dan *accelerator* sebesar 0,00. Karena taraf signifikansi $< \alpha$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima (Ada pengaruh temperatur dan *accelerator* terhadap ketebalan lapisan cat).

4.3 Pembahasan

4.3.1 Ketebalan Lapisan Pengecatan

Dari hasil pengujian ketebalan lapisan pengecatan dengan penambahan *accelerator* 1,8 gram/liter diperoleh data yang berbeda beda untuk beberapa variasi temperatur. Sebagaimana tampak dalam Gambar 4.1 berikut bahwa pada *accelerator* 1,8 gram/liter dengan variasi temperatur 27 °C, 45 °C, 55 °C dan 65 °C diperoleh nilai rata-rata ketebalan lapisan cat berturut-turut sebesar 57,25 μm ,

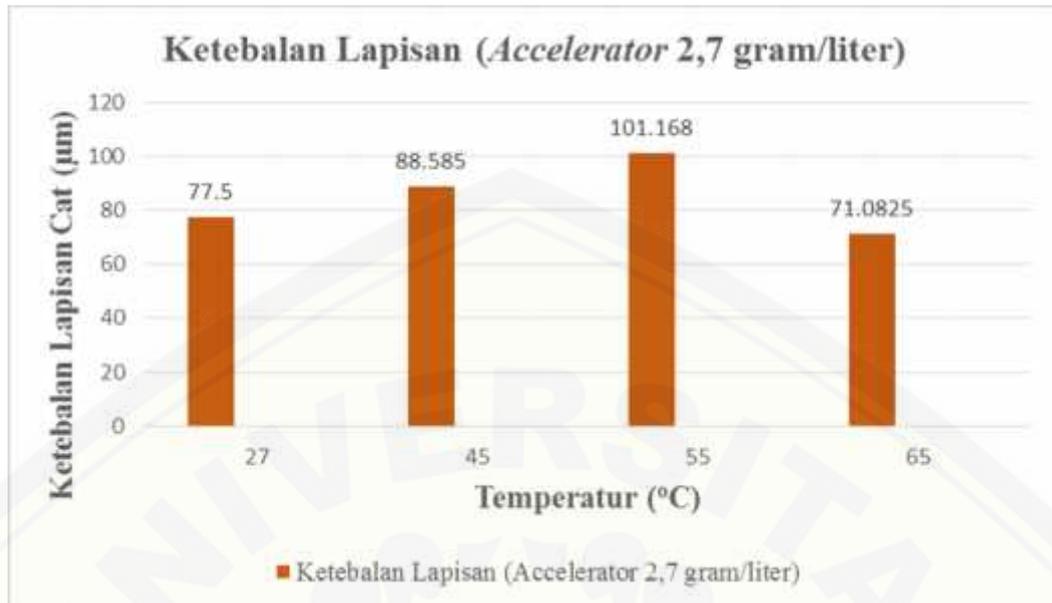
79,7525 μm , 87,4975 μm dan 62,915 μm . Data ditampilkan dalam grafik sebagaimana yang tersaji dalam Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Grafik ketebalan lapisan cat pada penambahan *accelerator* 1,8 gram/liter.

Dari Gambar 4.1 dapat diketahui terjadi peningkatan ketebalan lapisan cat pada *accelerator* 1,8 gram/liter dari temperatur 27 $^{\circ}\text{C}$ ke 45 $^{\circ}\text{C}$ sebesar 25,5025 μm . Pada temperatur 45 $^{\circ}\text{C}$ ke 55 $^{\circ}\text{C}$ terjadi peningkatan ketebalan lapisan sebesar 7,745 μm , sedangkan pada temperatur 55 $^{\circ}\text{C}$ ke 65 $^{\circ}\text{C}$ terjadi penurunan ketebalan lapisan cat sebesar 24,5825 μm .

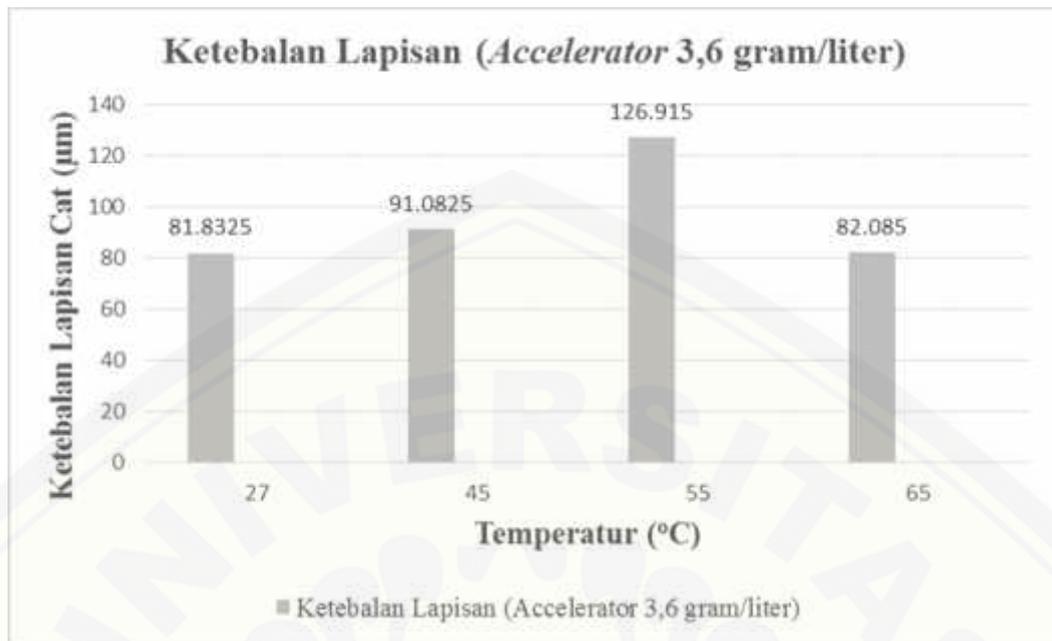
Pada *accelerator* 2,7 gram/liter dengan variasi temperatur 27 $^{\circ}\text{C}$, 45 $^{\circ}\text{C}$, 55 $^{\circ}\text{C}$ dan 65 $^{\circ}\text{C}$ diperoleh nilai rata-rata ketebalan lapisan cat berturut-turut sebesar 77,5 μm , 88,585 μm , 101,168 μm dan 71,0825 μm . Data ditampilkan dalam grafik sebagaimana yang tersaji dalam Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Grafik ketebalan lapisan cat pada penambahan *accelerator* 2,7 gram/liter.

Dari Gambar 4.2 dapat diketahui terjadi peningkatan ketebalan lapisan cat pada *accelerator* 2,7 gram/liter dari temperatur 27 °C ke 45 °C sebesar 11,085 μm . Pada temperatur 45 °C ke 55 °C terjadi peningkatan ketebalan lapisan sebesar 12,583 μm , sedangkan pada temperatur 55 °C ke 65 °C terjadi penurunan ketebalan lapisan cat sebesar 30,0855 μm .

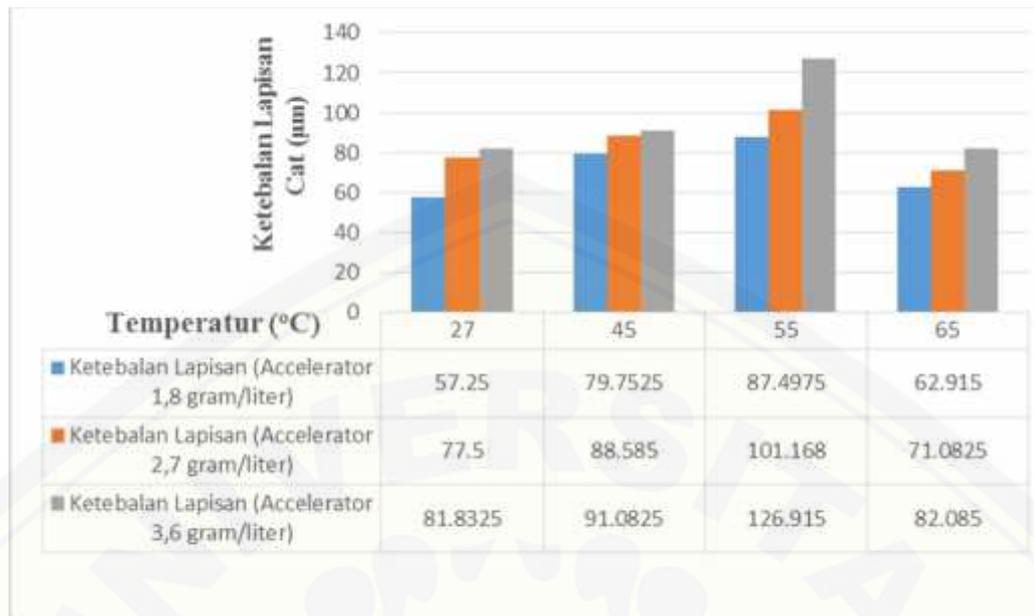
Pada *accelerator* 3,6 gram/liter dengan variasi temperatur 27 °C, 45 °C, 55 °C dan 65 °C diperoleh nilai rata-rata ketebalan lapisan cat berturut-turut sebesar 81,8325 μm , 91,0825 μm , 126,915 μm dan 82,085 μm . Data ditampilkan dalam grafik sebagaimana yang tersaji dalam Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Grafik ketebalan lapisan cat pada penambahan *accelerator* 3,6 gram/liter.

Dari Gambar 4.3 dapat diketahui terjadi peningkatan ketebalan lapisan cat pada *accelerator* 3,6 gram/liter dari temperatur 27 °C ke 45 °C sebesar 9,25 μm. Pada temperatur 45 °C ke 55 °C terjadi peningkatan ketebalan lapisan sebesar 35,8325 μm, sedangkan pada temperatur 55 °C ke 65 °C terjadi penurunan ketebalan lapisan cat sebesar 44,83 μm.

Dari ketiga grafik ketebalan lapisan cat sebelumnya, maka akan diperoleh grafik perbandingan ketebalan lapisan cat yang disajikan dalam Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 Grafik ketebalan lapisan cat.

Dari Gambar 4.4 di atas dapat diketahui bahwa nilai rata-rata ketebalan lapisan tertinggi yaitu 126,915 μm diperoleh dari campuran *accelerator* 3,6 gram/liter pada temperatur 55 °C. hal ini menunjukkan bahwa campuran *accelerator* memberikan pengaruh terhadap ketebalan lapisan cat yang dihasilkan sebagaimana pendapat (James E. Brady, 1990) pada proses *phosphating* larutan *phosphat* akan menghasilkan lapisan anti karat. Karena proses *phosphating* berjalan kimiawi maka dalam prakteknya terdapat penambahan bahan kimia pembantu yaitu *accelerator* yang berfungsi sebagai katalis reaksi dengan jalan memperkecil energi pengaktifan suatu reaksi dan dibentuknya tahap-tahap reaksi yang baru. Dengan menurunnya energi pengaktifan maka pada suhu tertentu reaksi dapat berlangsung lebih cepat dan memberi keoptimalan *coating* pada permukaan logam.

Sedangkan menurut (Charles, 1992) Kenaikan laju reaksi ini dapat dijelaskan dari gerak molekulnya. Molekul-molekul dalam suatu zat kimia selalu bergerak-gerak. Kemungkinan terjadi tabrakan antar molekul yang ada dapat terjadi. Tetapi tabrakan itu belum berdampak apa-apa bila energi (energi pengaktifan) yang dimiliki oleh molekul-molekul itu tidak cukup untuk menghasilkan tabrakan yang efektif dan energi yang diperlukan setiap pengaktifan

tidak selalu sama. Hal ini didukung pula oleh hasil analisis statistik pada Tabel 4.1 bahwa nilai $\alpha = 0,05$ dan taraf signifikan sebesar 0,00 yang artinya H_0 ditolak dan H_a diterima (ada pengaruh *accelerator* terhadap ketebalan lapisan cat) dan taraf signifikansi pada temperatur 0,00 yang artinya H_0 ditolak dan H_a diterima (ada pengaruh temperatur terhadap ketebalan lapisan cat).

Bila ditinjau dari Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 tampak adanya penurunan nilai ketebalan lapisan cat pada temperatur 55 °C ke 65 °C sebesar 24,5825 μm pada *accelerator* 1,8 gram/liter, 30,0855 μm pada *accelerator* 2,7 gram/liter serta 44,83 μm pada *accelerator* 3,6 gram/liter. Dari Gambar 4.4 dapat kita lihat penurunan ketebalan lapisan cat terjadi dalam temperatur 65 °C pada seluruh penambahan *accelerator*. Hal ini dapat diartikan ketebalan lapisan cat optimal terjadi pada suhu 55 °C dengan penambahan *accelerator* 1,8 gram/liter, 2,7 gram/liter dan 3,6 gram/liter serta mengalami penurunan nilai ketebalan lapisan pada temperatur 65 °C. Sedangkan nilai ketebalan lapisan cat terendah yaitu 57,25 μm diperoleh dari campuran *accelerator* 1,8 gram/liter pada temperatur 27 °C. Karena pada komposisi *accelerator* serta temperatur yang rendah tidak dapat menghasilkan ketebalan lapisan sesuai dengan spesifikasi *powder* yang digunakan pada proses pelapisan $> 60 \mu\text{m}$.

Laju reaksi kimia dapat berlangsung secara optimal dan cepat dengan beberapa cara, diantaranya adalah penambahan *accelerator* yang dapat diartikan sebagai senyawa yang dapat mempercepat laju reaksi yang dibutuhkan pada proses *phosphating*. Semakin meningkat penambahan *accelerator* semakin cepat pula reaksi itu dapat berjalan dengan maksimal hal ini dikarenakan *accelerator* mampu memberikan jalan baru bagi reaksi yang memiliki energi aktivasi yang lebih rendah, sehingga lebih banyak partikel yang bertumbukan pada suhu normal dan laju reaksi semakin cepat.

Temperatur juga dapat mempercepat berlangsungnya laju reaksi yang akan dicapai dimana peningkatan temperatur akan meningkatkan energi kinetik partikel-partikel. Penambahan temperatur pada suatu reaksi akan menambahkan energi yang diserap oleh partikel, sehingga energi kinetik partikel menjadi lebih besar dan tumbukan antar partikel akan mempunyai energi yang cukup untuk

melampaui energi pengaktifan. Akibatnya, partikel-partikel bergerak lebih cepat dan energi kinetik yang cukup tinggi akan menyebabkan tabrakan dengan benturan yang lebih besar serta menghasilkan reaksi kimia yang semakin banyak terjadi.

Laju reaksi dapat tercapai ketika energi aktivasi lebih rendah yang dapat diperoleh dari penambahan *accelerator* maupun peningkatan temperatur larutan. Namun, pada suhu tertentu ada molekul-molekul yang bertabrakan secara efektif dan ada yang bertabrakan secara tidak efektif. Dengan kata lain, ada tabrakan yang menghasilkan reaksi kimia, ada yang tidak menghasilkan reaksi kimia. Sehingga diperlukan komposisi yang tepat antara penambahan *accelerator* dan variasi temperature untuk menghasilkan ketebalan lapisan yang optimal ($> 60 \mu\text{m}$) sesuai spesifikasi *powder* tipe *corro-coat* MX 8003. Dapat kita lihat dari Gambar 4.4 hanya variasi *accelerator* 1,8 gram/liter dengan temperatur ruangan menghasilkan ketebalan $< 60 \mu\text{m}$.

Peningkatan ketebalan lapisan yang signifikan pada penambahan *accelerator* dan variasi temperatur terjadi karena adanya interaksi antara variasi temperatur dan penambahan *accelerator* yang saling mempengaruhi, seperti yang terdapat pada Tabel 4.5 dengan nilai $\alpha = 0,05$ didapat bahwa taraf signifikansi untuk interaksi temperatur dan *accelerator* sebesar 0,00. karena taraf signifikansi $< \alpha$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima (Ada pengaruh temperatur dan *accelerator* terhadap ketebalan lapisan cat). Jadi, ketebalan lapisan cat tidak hanya dipengaruhi oleh peningkatan temperatur, namun dipengaruhi pula oleh *accelerator* dan interaksi antara kedua faktor ini.



Gambar 4.5 Perbandingan spesimen setelah *pretreatment* dan setelah *coating*.

Pada Gambar 4.5 diatas variasi (a) temperatur 27 °C dan *accelerator* 1,8 gram/liter terjadi perubahan permukaan spesimen yang kurang baik. Setelah dilakukan proses *pretreatment*, permukaan spesimen berupa minyak dan debu seharusnya mengalami pergantian dengan lapisan *phosphate*. Namun pada saat dilakukan pengeringan, spesimen yang seharusnya bersih dan siap untuk dilakukan *coating* menjadi berkarat (terkorosi) pada beberapa bagian. Terkorosinya spesimen dapat diakibatkan oleh beberapa faktor diantaranya larutan *phosphate* tidak melapisi spesimen secara baik akibat *accelerator* yang ditambahkan terlalu sedikit dengan waktu pencelupan yang sama. Terlalu tinggi temperatur dan *accelerator* yang ditambahkan juga akan menyebabkan terjadinya karat pada lapisan spesimen yang disebabkan oleh larutan *phosphating* sudah melampaui energi aktivasinya. Hal ini yang menyebabkan hasil *coating* pada variasi ini memiliki cacat *pinhole* sebesar 80% dan ketebalan lapisan yang dihasilkan setelah proses *coating* < 60 µm sesuai standart cat yang digunakan.

Sedangkan pada variasi (b) temperatur 55 °C dan penambahan *accelerator* 3,6 gram/liter permukaan spesimen setelah dilakukan proses pengeringan memiliki lapisan permukaan yang baik, sehingga hasil *coating* yang diperoleh pada variasi ini memiliki ketebalan lapisan yang maksimal dibandingkan variasi yang lainnya.

4.3.2 Nilai Laju Korosi

Dari hasil pengujian *salt spray* diperoleh berat yang berbeda-beda setiap waktu pengujian yang telah ditentukan. Pada waktu pengujian *salt spray* selama 7 hari diperoleh berat spesimen seperti yang ditunjukkan pada Tabel A1.3 kemudian dilakukan perhitungan pada setiap data yang peroleh kedalam rumus laju korosi yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel A1.4. Menurut Supardi (1997) terdapat beberapa faktor yang mengakibatkan terjadinya korosi yang terbagi atas tiga bagian, yaitu:

a. Sifat spesimen

- Pengaruh susunan kimia spesimen

Spesimen uji yang digunakan adalah ST 37 yang memiliki kandungan karbon 0,158% dimana semakin meningkat kandungan karbon yang berada dalam spesimen semakin mudah terkorosi spesimen tersebut.

Dilakukan proses *pretreatment* yang mana perlakuan ini akan menghilangkan debu dan lapisan minyak serta menggantikan dengan lapisan anti korosi *pretreatment (phosphating)* yang kemudian dilakukan *coating* menggunakan metode *powder coating* dengan tipe cat *corro-coat MX 8003 (epoxy polyester hybrid)*.

- Pengaruh struktur spesimen,
- Pengaruh perbedaan potensial dan
- Pengaruh bentuk permukaan spesimen

Dari hasil *coating* yang dilakukan akan diperoleh permukaan spesimen uji yang berbeda-beda pada setiap perlakuan baik dari segi

ketebalan lapisan, bentuk permukaan lapisan maupun cacat yang disebabkan saat proses *coating*.

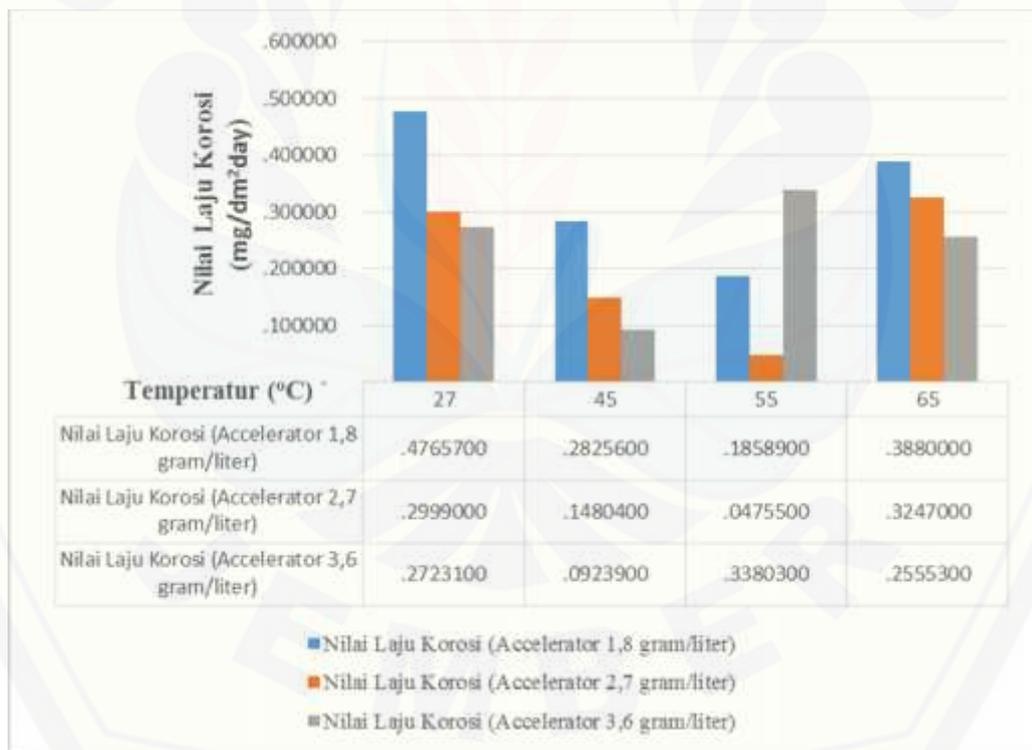
b. Faktor lingkungan

- Lingkungan Air,
- Lingkungan industri dan
- Lingkungan laut

Pada penelitian ini keadaan dikondisikan sesuai dengan lingkungan sekitar laut (pantai) dikarenakan aplikasi dari spesimen uji ini akan digunakan pada lingkungan pantai yang memiliki nilai abrasif lebih tinggi dibandingkan daerah pegunungan atau perkotaan.

c. Adanya reaksi kimia.

Dimana dengan semakin meningkat variasi temperatur dan penambahan *accelerator* akan menurunkan nilai laju korosinya.



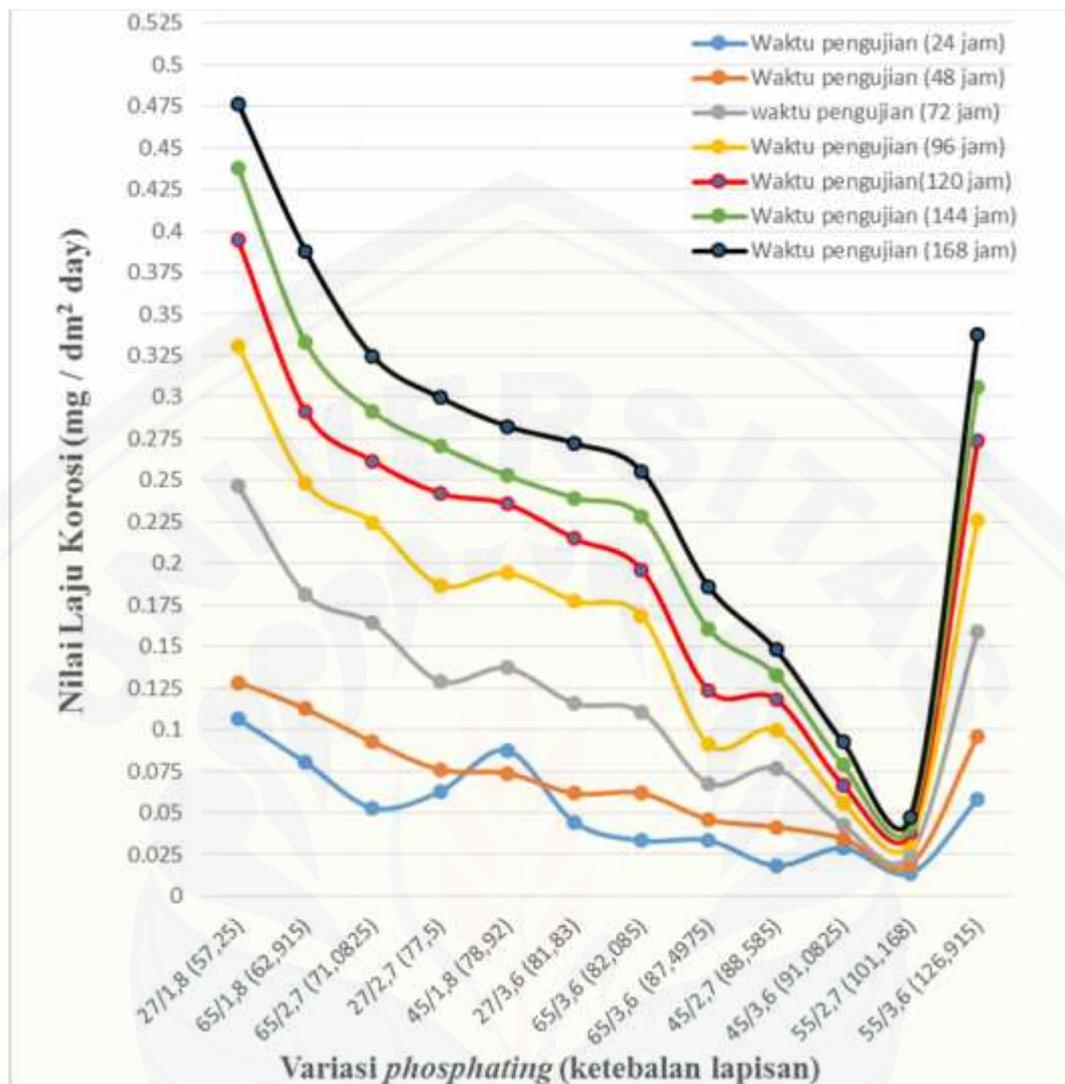
Gambar 4.6 Grafik nilai laju korosi

Dari data taraf signifikan yang diperoleh dari Tabel 4.2 diperoleh bahwa taraf signifikansi pada variasi temperatur dan penambahan *accelerator* sebesar $0,00 < 0,05$ (α) yang artinya H_0 ditolak dan H_a diterima (ada pengaruh temperatur dan

penambahan *accelerator* terhadap nilai laju korosi). Dapat dilihat dari Gambar 4.6 nilai laju korosi tertinggi diperoleh pada variasi temperatur 27 °C dengan penambahan *accelerator* 1,8 gram/liter sebesar 0,4766 mg/dm²day. Pada variasi ini lapisan *phosphate* yang berfungsi sebagai penghambat korosi tidak dapat melapisi spesimen secara baik. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 4.9 dimana spesimen setelah dilakukan proses *pretreatment* sudah menghasilkan lapisan karat pada beberapa bagian yang dilanjutkan dengan proses *coating* sehingga lapisan cat tidak memiliki gaya *adhesi* yang baik antara lapisan cat dengan spesimen yang mengakibatkan nilai laju korosi pada variasi ini tidak efektif.

Sedangkan nilai laju korosi terendah diperoleh pada variasi temperatur 55 °C dengan penambahan *accelerator* 2,7 gram/liter sebesar 0,0475 mg/dm²day. Pada variasi ini penambahan *accelerator* dan temperatur memiliki pengaruh yang sangat baik dimana pada variasi ini larutan *phosphate* dan spesimen uji dapat bereaksi secara optimum sehingga pada proses pengecatan menghasilkan ketebalan 101,168 µm dan kemampuan menahan laju korosi yang sangat baik.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa nilai laju korosi spesimen berbanding terbalik dengan nilai ketebalan lapisan dimana semakin tebal lapisan *coating* semakin menurun pula nilai laju korosi yang dihasilkan. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.7 dibawah ini.

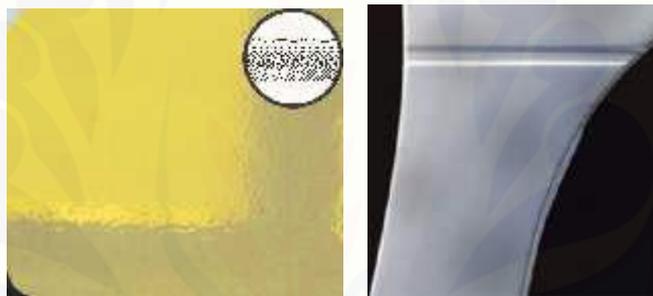


Gambar 4.7 Grafik nilai laju korosi terhadap ketebalan lapisan

Menurut (Yudha K, dkk, 2015) semakin tebal lapisan suatu *coating* tidak menjamin *coating* tersebut dapat melindungi dengan sempurna. Semakin tebal suatu *coating* memiliki resiko kegagalan *coating* lebih besar seperti, berkurangnya fleksibilitas, terjadinya pengerutan, atau pengeringan yang tidak sempurna. Hal ini juga menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan cat juga tidak menjamin nilai laju korosi yang lebih baik dimana pada ketebalan 57,25 µm hingga 101,168 µm mengalami penurunan nilai laju korosinya sebanding dengan ketebalan lapisan yang semakin meningkat.

Pada ketebalan lapisan 126,915 µm nilai laju korosi yang diperoleh sebesar 0,33803 mg/dm²day dimana nilai laju korosi ini mendekati nilai laju

korosi pada ketebalan 71,0825 μm sebesar 0,3247 $\text{mg}/\text{dm}^2\text{day}$. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah gaya *adhesi* yang menurun, cacat akibat terlalu tebal lapisan *coating* serta kekasaran permukaan lapisan setelah dilakukan *coating*. Menurut (Halim A, dkk. 2012) permukaan *coating* yang tidak rata juga akan memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang akhirnya akan berperan sebagai anoda dan katoda. Permukaan *coating* yang halus dan bersih akan menyebabkan korosi sukar terjadi, karena sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anoda dan katoda. Maka dari itu laju korosi akan semakin meningkat seiring bertambah kasarnya permukaan logam. Pada pengecatan di PT. SIP menghasilkan permukaan yang bertekstur kulit jeruk dimana semakin tebalnya lapisannya maka tekstur yang terbentuk semakin bertambah seperti yang terlihat pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Permukaan hasil *coating* tekstur (a) kulit jeruk dan (b) tanpa tekstur.

Hal ini biasanya disebabkan oleh:

1. Tidak keringnya butiran cat secara bersamaan,
2. Vapor yang tidak tercapai (cat yang keluar dari *spray gun* terlalu besar/terlalu kecil),
3. Jarak *spray gun* ke permukaan benda yang dicat terlalu dekat dan,
4. Tekanan udara penyemprotan terlalu tinggi



Gambar 4.9 Perbandingan spesimen setelah *pretreatment*, *coating* dan *salt spray test*.

Dari Gambar 4.9 diatas terlihat bahwa semakin meningkatnya pengaruh dari variasi temperatur dan *accelerator* menyebabkan permukaan lapisan yang akan dicoating memiliki lapisan *phospat* yang cukup baik, sehingga ketebalan lapisan yang dihasilkan semakin meningkat. Permukaan spesimen dengan temperatur 55 °C dan *accelerator* 2,7 gram/liter memiliki permukaan *phospat* lebih merata. Hal ini ditunjukkan pada gambar diatas semakin tebal lapisan *coating* yang terbentuk maka kekasaran permukaan yang dihasilkan juga semakin

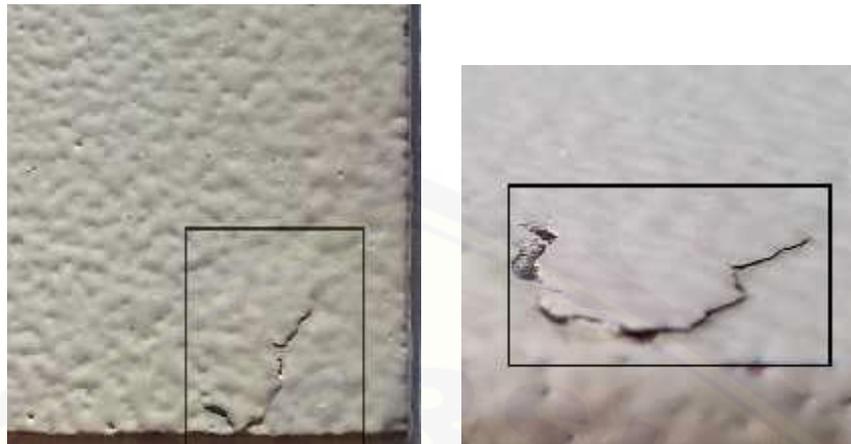
meningkat. Pada variasi (a) korosi terjadi pada seluruh permukaan akibat cacat yang merata diseluruh permukaan spesimen.

Pada variasi (b) dan (c) korosi terjadi didaerah tepi spesimen karena gaya *adhesi*, elektrostatis dan ketebalan lapisan didaerah tepi spesimen lebih rendah dibandingkan dengan daerah tengah spesimen. Hal ini biasanya terjadi pada larutan yang reaktif dan berlangsung dengan waktu yang terlampau lama sehingga gaya adhesi, elktostatis dan ketebalan lapisannya berbeda antara daerah tepid an tengah spesimen.

Kesimpulan yang dapat diambil dari data diatas ketebalan lapisan optimal untuk mendapatkan nilai laju korosi terendah diperoleh pada variasi temperatur 55 °C dan *accelerator* 2,7 gram/liter sebesar 101,168 µm dengan nilai laju korosi 0,04755 mg/dm²day. Pada variasi ini permukaan spesimen yang akan dilakukan proses *coating* memiliki lapisan *phosphat* yang lebih merata dikarenakan ikatan ion antara H₃PO₄ + HNO₂ dengan Fe telah tercapai dengan baik untuk dilakukan proses *coating*. Pada variasi ini tumbukan molekul yang terjadi telah mencapai energi aktivasinya, sehingga larutan *phosphat* dapat melapisi seluruh permukaan specimen, memiliki gaya adhesi yang baik serta memiliki sifat non-metalik dan non-konduktif yang baik untuk proses *coating*. Lapisan *phosphat* yang terlalu tebal juga dapat menyebabkan terjadinya ikatan antara *powder* cat dengan lapisan *phosphat* atau gaya *adhesi* antara cat dengan spesimen menjadi kurang baik (cacat *peeling*). Selain itu pada lapisan cat yang semakin tebal kekasaran maupun tekstur yang dihasilkan tidak cukup baik (tekstur kulit jeruk) untuk menahan korosi.

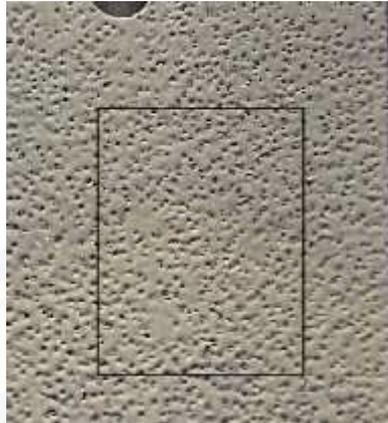
4.3.3 Cacat Pada Lapisan Cat

Dari hasil penelitian diketahui bahwa pada setiap variasi temperatur dan *accelerator* menghasilkan ketebalan lapisan yang berbeda-beda serta menghasilkan nilai laju korosi yang berbeda pula pada setiap ketebalan lapisannya. Sehingga perlu diamati cacat-cacat yang terjadi pada permukaan lapisan cat serta korosi yang terjadi pada lapisan cat yang telah dilakukan pengujian. Gambar 4.10 ini menunjukkan adanya cacat *peeling*.



Gambar 4.10 Cacat *peeling* foto makro dengan perbesaran 4x dan 12x

Cacat *peeling* merupakan kerusakan cat yang disebabkan oleh hilangnya daya rekat antara cat dengan substrat, *topcoat* dengan primer atau primer dengan substrat. Nama lain dari kerusakan ini adalah *loss of adhesion*, *shelling*, *poor bond*, *delamination*, *flaking*, atau *poor adhesion*. Kerusakan ini dapat disebabkan karena proses *phosphating* tidak berjalan dengan baik atau komposisi dari *phosphating* tidak sesuai sehingga lapisan *phospat* tidak dapat mengikat cat yang dilapiskan dengan baik. Proses pengeringan (*curing*) yang terlalu lama juga dapat menyebabkan cacat *peeling*. Pada kondisi seperti ini spesimen yang telah terlapisi akan mudah menyebabkan korosi *pitting*, dimana korosi ini terlokalisasi yang akan membentuk suatu rongga atau lubang pada spesimen. Korosi *pitting* sering dianggap lebih berbahaya jika dibandingkan dengan korosi merata (*uniform*), karena bentuk korosi ini sulit untuk diidentifikasi, karena produk korosi yang terbentuk biasanya akan menutupi rongga-rongga serta sulit untuk diprediksi. Pada Gambar 4.11 menunjukkan adanya cacat *solvent pop*.



Gambar 4.11 Cacat *solvent pop* foto makro dengan perbesaran 4x

Solvent pop merupakan cacat berupa luka atau lecetnya lapisan cat yang disebabkan oleh pengencer yang terjebak dalam lapisan atas atau lapisan bawah, terlebih lagi apabila dipengaruhi oleh pengeringan yang tidak tepat, penggunaan *Thinner* atau *reducer* yang tidak cocok, cat *Water base* yang di aplikasi dan kelembaban yang tinggi dan pengecatan terlalu tebal menyebabkan *solvent* terperangkap di *undercoat*. Pada cacat jenis ini akan sangat mudah untuk terjadi korosi merata (*uniform*) dimana jenis korosi ini laju korosi yang terjadi pada seluruh permukaan logam atau paduan yang terpapar atau terbuka ke lingkungan berlangsung dengan laju yang hampir sama. Hampir seluruh permukaan logam menampakkan terjadinya proses korosi. Cacat jenis ini juga dikenal sebagai *boiling*, *solvent boil*, *boil*, atau *popping*. Gambar 4.12 menunjukkan adanya cacat *runs*.



Gambar 4.12 Cacat *runs* foto makro dengan perbesaran 10x

Cacat *runs* merupakan cacat yang disebabkan oleh terlalu banyaknya cat yang menempel ke permukaan. Penyebabnya adalah pengecatan terlalu tebal dan pengeringan yang tidak sempurna antar pengecatan, *spray gun* terlalu dekat dengan permukaan dan kurang cepat dalam *spraying* menyebabkan penimbunan dan suhu terlalu rendah di tempat pengecatan maupun bahan pengecatan. Pada cacat seperti ini dapat mengakibatkan korosi dimana banyaknya cat yang menempel dapat menyebabkan daya adhesi cat dan substrat tidak dapat melekat dengan kuat sehingga akan menyebabkan terjadinya korosi tegangan (*Stress Corrosion*). Gaya-gaya seperti tarikan (*tensile*) yang disebabkan karena ketebalan yang berbeda atau kompresi (*Compressive*) berpengaruh sangat kecil pada proses pengkaratan. Adanya kombinasi antara regangan tarik (*tensile stress*) dan lingkungan yang korosif, maka akan terjadi kegagalan spesimen berupa retakan yang disebut retak karat regangan. Kasus ini juga dikenal sebagai *overloading*, *curtains*, *gun spits*, *sags*, *sagging* ataupun *drips*. Gambar 4.13 menunjukkan adanya cacat *dirt and dust clear coat*.



Gambar 4.13 Cacat *dirt and dust clear coat* foto makro dengan perbesaran 10x.

Cacat *dirt and dust clear coat* merupakan cacat yang diakibatkan oleh kotoran baik logam sisa preparasi spesimen ataupun benda yang terperangkap di dalam lapisan cat. Namun penyebab cacat ini juga dapat diperoleh dari serbuk powder yang tercampur oleh benda sebelum dimasukkan kedalam tangki serbuk cat. Cacat jenis ini dapat terjadi pada segala jenis pelapisan. Cacat *dirt and dust clear coat* ini dapat dicegah dengan melakukan pengontrolan sebelum dilakukan pelapisan tanpa melakukan kontak dengan spesimen. Spesimen yang terperangkap

diantara lapisan substrat dan lapisan cat akan menyebabkan suatu rongga atau lubang pada spesimen. Gambar 4.14 menunjukkan adanya cacat *cracking/crazing*.



Gambar 4.14 Cacat *cracking/crazing* foto makro dengan perbesaran 10x.

Serangkaian retak yang tidak beraturan, muncul seperti pada lumpur yang mengering. cacat jenis ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor diantaranya cat yang terlalu tebal sehingga pada saat proses *curing* terjadi retakan-retakan, temperature awal yang terlalu tinggi pada saat *curing* dan proses pengeringan lapisan yang tidak merata. Beberapa hal tersebut juga dipengaruhi oleh pengaruh dari variasi temperature dan *accelerator* yang digunakan, karena variasi tersebut dapat mempengaruhi ketebalan lapisan yang akan menempel pada spesimen. Gambar 4.14 menunjukkan adanya cacat *pinholing*.



Gambar 4.15 Cacat *pinholing* foto makro dengan perbesaran 20x.

Cacat *pinholing* merupakan cacat pengecatan berupa lubang saat penyelesaian akhir, atau lubang pada dempul, atau primer yang disebabkan oleh udara, kelembaban atau persiapan permukaan yang tidak baik. Cacat seperti ini terjadi akibat tidak adanya perlakuan mekasik sebelum dilakukannya proses pelapisan, sehingga pada saat proses pengecatan spesimen uji memiliki kekasaran yang berbeda sehingga pada waktu proses pelapisan *powder* yang disemprotkan

tidak dapat menempel dengan sempurna. Pada kondisi seperti ini korosi dapat terjadi dengan mudahnya karena spesimen tidak terlapisi dengan sempurna sehingga dalam kondisi apapun lambat laun akan terjadi korosi pada bagian yang terjadi cacat. Istilah *pinholing* juga dikenal sebagai: *pin holes*, *solvent retents*, *pock marks*, *pitting*, *pops*, ataupun *pin pricks*.



BAB 5. PENUTUP

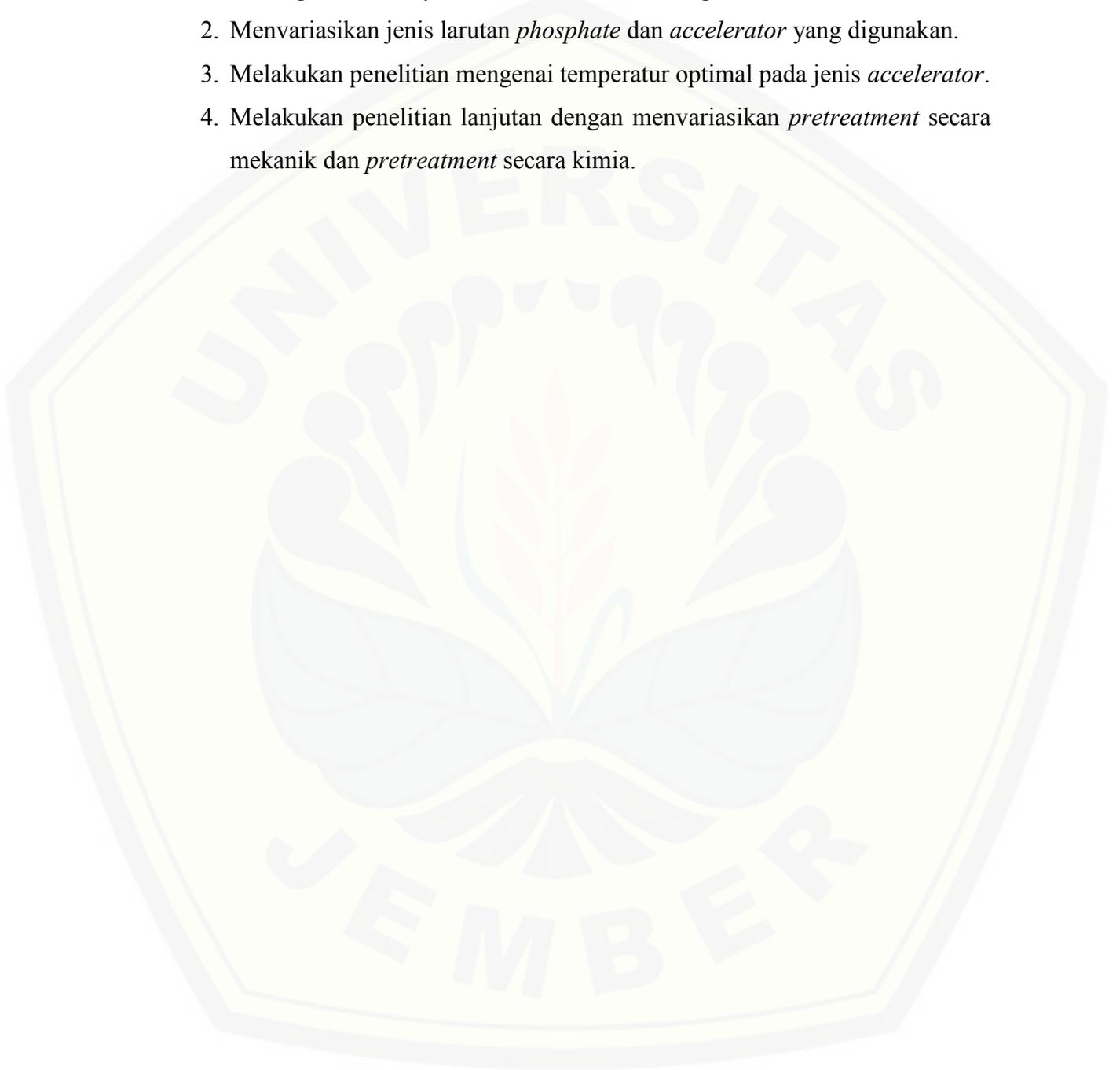
5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil semua perlakuan *phosphating mild steel* ST 37, spesimen memiliki ketebalan lapisan lebih besar dari 60 μm yang memenuhi standart dari tipe cat corro-coat MX 8003 kecuali variasi pada temperatur 27 $^{\circ}\text{C}$ dan penambahan *accelerator* 1,8 gram/liter yang memiliki ketebalan lapisan kurang dari 60 μm yaitu sebesar 57,25 μm .
2. Ketebalan lapisan maksimal diperoleh pada variasi temperatur 55 $^{\circ}\text{C}$ dan *accelerator* 3,8 gram/liter sebesar 126,915 μm .
3. Ketebalan lapisan optimal untuk mendapatkan nilai laju korosi terendah diperoleh pada variasi temperatur 55 $^{\circ}\text{C}$ dan *accelerator* 2,7 gram/liter sebesar 101,168 μm dengan nilai laju korosi 0,04755 $\text{mg}/\text{dm}^2\text{day}$ sedangkan pada variasi temperatur 55 $^{\circ}\text{C}$ dan *accelerator* 3,8 gram/liter menghasilkan ketebalan 126,915 μm diperoleh nilai laju korosi sebesar 0,33803 $\text{mg}/\text{dm}^2\text{day}$ dimana nilai ini mendekati nilai laju korosi pada ketebalan 71,0825 μm sebesar 0,3247 $\text{mg}/\text{dm}^2\text{day}$.
4. Pada variasi temperatur 55 $^{\circ}\text{C}$ dan *accelerator* 2,7 gram/liter menghasilkan permukaan spesimen yang baik untuk dilakukan *coating* dimana seluruh permukaan spesimen dapat terlapisi *phosphate* secara merata sehingga menghasilkan ketebalan lapisan *coating* yang optimal untuk menahan korosi pada lingkungan laut (pantai). Hal ini juga menunjukkan semakin tebal lapisan tidak menjamin nilai laju korosinya.

5.2 Saran

1. Material yang akan dilakukan pengecatan harus dipastikan benar-benar bersih permukaannya dari kotoran atau berkas peralatan mekanik.
2. Menvariasikan jenis larutan *phosphate* dan *accelerator* yang digunakan.
3. Melakukan penelitian mengenai temperatur optimal pada jenis *accelerator*.
4. Melakukan penelitian lanjutan dengan menvariasikan *pretreatment* secara mekanik dan *pretreatment* secara kimia.



DAFTAR PUSTAKA

- Alois S., Boyer, H. E., dan Gall, T. L., 1985. *Metal hand book, Desk Edition*, ASM Ohio.
- Ambiyar, 2008. Teknik Pembentukan *Plat* Jilid 3. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Arrhenius, S. 1889. Ober die Reacktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrucker durch Sa^uren. *Z. Physik. Chem.* 4:226–248
- ASTM Organization, 2003. *Test Methode for salt spray test - Standard ASTM B117*, Annual Book of ASTM Standard. United States.
- Brandy, James E., (1990), *General Chemistry*, 5th edition, John Wiley & Sons, New York, 705.
- Chang, Raymond. 2004. *KIMIA DASAR Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Charles, W. 1992. *Kimia Untuk Universitas*. Gramedia: Jakarta
- Dara, S.S, 2007, *Environmental Chemistry and Pollution Control*, S. Chand & Company Ltd, 7361, Ram Nagar, New Delhi-110 055
- David McKruit, 2001 *Selecting the right temporary coating: Choices abound for tube and pipe applications*, TPJ - THE TUBE & PIPE JOURNAL®.
- Dekrit Halim Akbar. 2014. Pengaruh Kekasaran Permukaan dan Pelapisan Cat Terhadap Laju Korosi. Skripsi. Universitas Brawijaya
- E. M. McCash, (2011). *Surface Chemistry*. Oxford University Press. Oxford
- Forgesen, Amy, 2006. *Corrosion Control through Organic Coatings*, Taylor & Francis Group, New York.
- H.H. Uhlig, W.R. *Revie, Uhlig's Corrosion Handbook, John Wiley and Sons, New York, 2000, p.582.*
- Haddock, Rob. 2002. *Paint Finishes for Metal*
- Jotun, *Jotun Paint School Modul Chapter 2 – What is Paint*, Jotun, Nowregia, 1998.
- Keenan, Dkk. 1989. *Kimia Untuk Universitas*. Erlangga: Bandung

- Kimia SMA dan MA Untuk Kelas XI. Esis (Johari & Rahmawati) 2011*
- Kitti, Surra. 1993. *Kimia Fisika Untuk Universitas*. Gramedia: Jakarta
- S. González, I.C. Mirza Rosca, R.M. Souto, 2001. "Investigation of the corrosion resistance characteristics of pigments in alkyd coatings on steel" Department of Physical Chemistry, University of La Laguna, E-38071 La Laguna, Canary Islands, Spain.
- Sastrohamidjodjo, Hardjono. 2005. *KIMIA DASAR*. Yogyakarta: UGM Press
- Schweitzer, Philip A, 2010. *Fundamental of Corrosion*. CRC Press. London.
- Shreir, L.L. R.A Jarman, G.T Bursten, 1994."Corrosion Control Third Edition". Oxford: Butterworth – Heinemann Ltd.
- Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online).
- The Society for Protective Coating, Systems and Specifications SSPC, *Painting Manual Volume 1 & 2 Eighth Edition*, Pittsburgh, PA, 2012.
- Wicks Zeno W, Jones Frank, and Papas S. Peter, 1999. *Organic Coatings: Science and Technology 2nd Edition*, Willey International.

LAMPIRAN 1. TABEL DATA

Tabel A1.1 Hasil pengujian data tebal lapisan *powder coating* (μm)

No.	Temperatur (°C)	Accelerator (gram/liter)	Harga Ketebalan Lapisan Cat (μm)			Rata-Rata Ketebalan
			Atas	Tengah	Bawah	
1	27 Temperatur Ruang	1,8	55	57	55	55,67
2			56	60	57	57,67
3			60	59	59	59,33
4			56	58	55	56,33
5		2,7	78	79	77	78,00
6			76	79	76	77,00
7			78	79	76	77,67
8			77	77	78	77,33
9		3,6	82	82	80	81,33
10			81	84	83	82,67
11			83	83	81	82,33
12			81	81	81	81,00
13	45	1,8	78	81	89	82,67
14			79	77	81	79,00
15			80	80	79	79,67
16			77	78	78	77,67
17		2,7	89	87	90	88,67
18			90	88	88	88,67
19			87	88	87	87,33
20			90	90	89	89,67
21		3,6	89	93	89	90,33
22			90	90	90	90,00
23			93	91	91	91,67
24			92	92	93	92,33
25	55	1,8	86	89	87	87,33
26			86	88	88	87,33
27			86	87	89	87,33
28			89	86	89	88,00

29	65	2,7	98	102	100	100,00	
30			103	99	105	102,33	
31			104	100	101	101,67	
32			99	100	103	100,67	
33		3,6	127	129	125	127,00	
34			126	126	126	126,00	
35			127	127	125	126,33	
36			129	128	128	128,33	
37		65	1,8	62	65	63	63,33
38				64	64	61	63,00
39				62	62	62	62,00
40				62	63	65	63,33
41	2,7		70	73	71	71,33	
42			71	71	71	71,00	
43			73	71	71	71,67	
44			70	70	71	70,33	
45	3,6	79	83	83	81,67		
46		81	83	85	83,00		
47		84	84	81	83,00		
48		81	79	82	80,67		

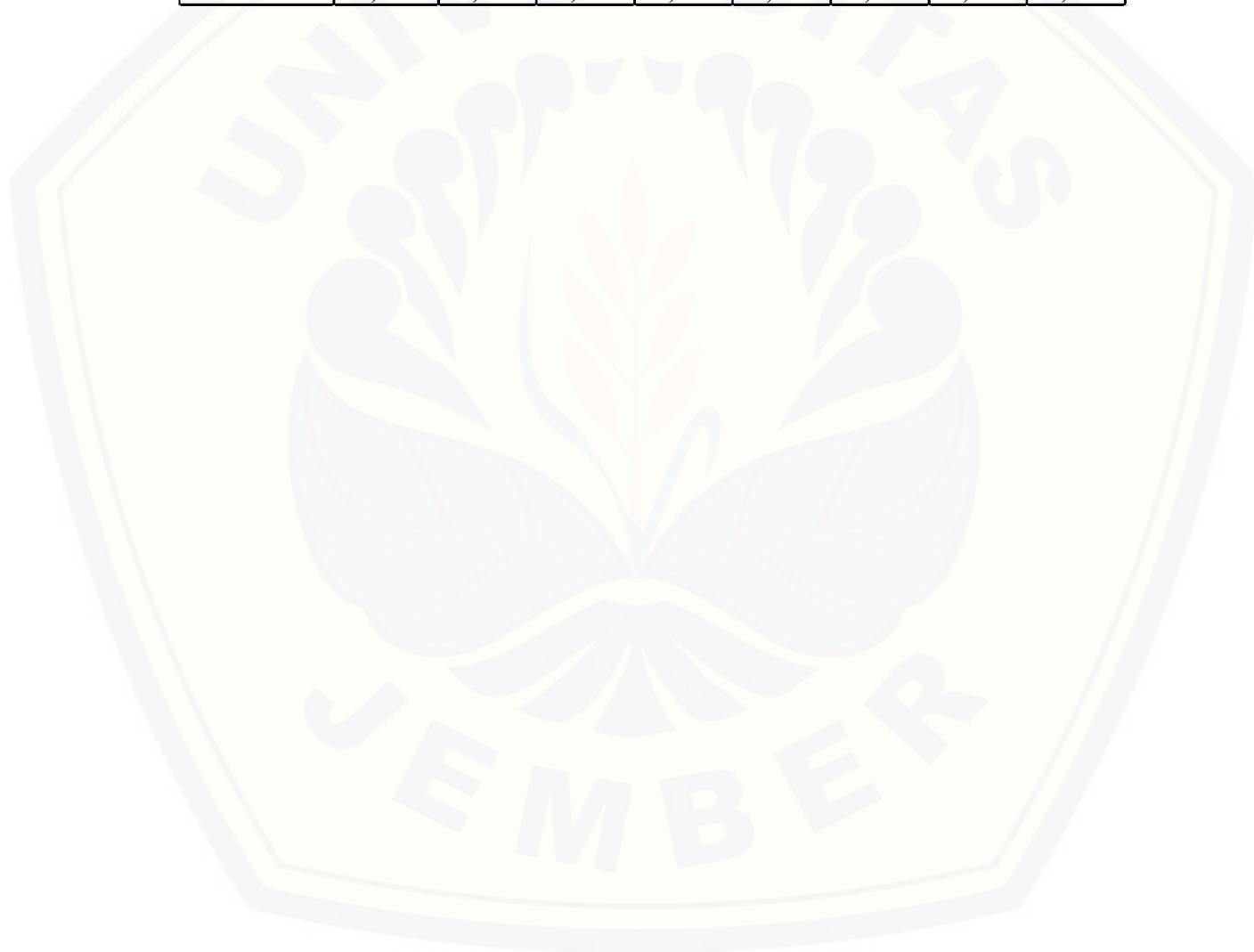
Tabel A1.2 Nilai Ketebalan (μm)

	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)				Jumlah	Rata-rata
	27	45	55	65		
1,8	55,67	82,67	87,33	63,33		
	57,67	79,00	87,33	63,00		
	59,33	79,67	87,33	62,00		
	56,33	77,67	88,00	63,33		
Jumlah	229	319,01	349,99	251,66	1152,99	
Rata-rata	57,25	79,7525	87,4975	62,915		71,854
2,7	78,00	88,67	100,00	71,33		
	77,00	88,67	102,33	71,00		
	77,67	87,33	101,67	71,67		
	77,33	89,67	100,67	70,33		
Jumlah	310	354,34	404,67	284,33	1353,34	
Rata-rata	77,5	88,585	101,168	71,083		84,584
3,6	81,33	90,33	127,00	81,67		
	82,67	90,00	126,00	83,00		
	82,33	91,67	126,33	83,00		
	81,00	92,33	128,33	80,67		
Jumlah	327,33	364,33	507,66	328,34	1527,66	
Rata-rata	81,833	91,083	126,915	82,085		95,479
Jumlah Besar	866,33	1037,68	1262,32	864,33	4033,99	
Rata-rata Besar	72,194	86,473	105,19	72,028		83,972

Tabel A1.3 Hasil Pengukuran Data Pengujian *Salt Spray*

Variasi <i>phosphating</i>	Berat awal (gram)	Berat (gram) pada setiap Waktu (jam)						
		24	48	72	96	120	144	168
R/1,8 57,25	54,2441	54,2396	54,2345	54,2159	54,1895	54,1694	54,1472	54,1165
	54,0493	54,0436	54,0396	54,0141	53,9949	53,9735	53,9478	53,9210
	54,1207	54,1174	54,1108	54,0936	54,0701	54,0410	54,0181	53,9938
	54,0012	53,9984	53,9910	53,9784	53,9581	53,9292	53,8995	53,8728
65/1,8 62,92	54,1624	54,1586	54,1538	54,1400	54,1227	54,1074	54,0871	54,0580
	54,1848	54,1812	54,1765	54,1638	54,1457	54,1270	54,1071	54,0796
	54,0596	54,0575	54,0505	54,0399	54,0235	54,0059	53,9845	53,9568
	53,9087	53,9059	53,9002	53,8884	53,8712	53,8521	53,8304	53,8049
65/2,7 71,08	54,1821	54,1805	54,1749	54,1625	54,1461	54,1313	54,1141	54,0949
	54,3403	54,3394	54,3336	54,3218	54,3034	54,2882	54,2720	54,2536
	54,2057	54,2034	54,1987	54,1860	54,1719	54,1573	54,1398	54,1189
	54,1562	54,1529	54,1487	54,1386	54,1251	54,1070	54,0905	54,0686
R/2,7 77,5	54,1094	54,1071	54,1035	54,0943	54,0816	54,0610	54,0468	54,0278
	54,1613	54,1594	54,1557	54,1459	54,1351	54,1170	54,1013	54,0816
	54,1105	54,1079	54,1045	54,0960	54,0788	54,0672	54,0483	54,0310
	54,1431	54,1403	54,1373	54,1287	54,1142	54,0936	54,0793	54,0622
45/1,8 78,92	54,1423	54,1401	54,1367	54,1286	54,1177	54,1006	54,0879	54,0675
	54,1110	54,1081	54,1056	54,0953	54,0781	54,0632	54,0501	54,0346
	54,0694	54,0677	54,0635	54,0513	54,0346	54,0194	54,0084	53,9923
	54,1321	54,1255	54,1264	54,1166	54,1053	54,0910	54,0759	54,0573
R/3,6 81,83	54,0876	54,0852	54,0827	54,0755	54,0612	54,0506	54,0382	54,0170
	54,3212	54,3199	54,3165	54,3038	54,2956	54,2839	54,2679	54,2477
	54,0085	54,0067	54,0038	53,9966	53,9819	53,9625	53,9509	53,9342
	54,2486	54,2473	54,2440	54,2367	54,2184	54,2042	54,1888	54,1749
65/3,6 82,08	54,2850	54,2837	54,2804	54,2713	54,2586	54,2472	54,2332	54,2168
	54,3368	54,3351	54,3321	54,3248	54,3122	54,2958	54,2820	54,2669
	54,0388	54,0376	54,0340	54,0269	54,0166	54,0056	53,9888	53,9705
	54,0412	54,0403	54,0364	54,0279	54,0111	54,0028	53,9877	53,9735
55/1,8 87,5	53,9695	53,9686	53,9661	53,9613	53,9540	53,9424	53,9297	53,9203
	54,2817	54,2806	54,2780	54,2746	54,2679	54,2585	54,2443	54,2313
	54,2562	54,2549	54,2528	54,2476	54,2419	54,2338	54,2184	54,2061
	54,2464	54,2446	54,2428	54,2392	54,2341	54,2244	54,2138	54,1967
45/2,7 88,67	54,0283	54,0278	54,0253	54,0202	54,0144	54,0075	53,9992	53,9889
	54,0451	54,0446	54,0417	54,0350	54,0288	54,0203	54,0136	54,0063
	54,0443	54,0437	54,0412	54,0350	54,0283	54,0236	54,0140	54,0032
	54,1955	54,1943	54,1923	54,1877	54,1806	54,1712	54,1641	54,1560

45/3,6 91,08	54,1298	54,1284	54,1269	54,1245	54,1213	54,1166	54,1108	54,1042
	54,3211	54,3194	54,3186	54,3166	54,3130	54,3087	54,3036	54,2974
	54,0993	54,0986	54,0970	54,0942	54,0891	54,0842	54,0793	54,0736
	54,1644	54,1638	54,1615	54,1597	54,1571	54,1540	54,1486	54,1403
55/2,7 101,5	54,3811	54,3805	54,3797	54,3785	54,3767	54,3741	54,3720	54,3693
	54,2884	54,2879	54,2870	54,2855	54,2835	54,2813	54,1785	54,2749
	54,2660	54,2656	54,2644	54,2627	54,2599	54,2582	54,2566	54,2548
	54,1633	54,1627	54,1619	54,1605	54,1587	54,1558	54,1527	54,1488
55/3,6 126,92	54,1973	54,1953	54,1902	54,1788	54,1602	54,1405	54,1218	54,1036
	54,3108	54,3087	54,3033	54,2935	54,2778	54,2607	54,2420	54,2216
	54,3212	54,3191	54,3136	54,3033	54,2836	54,2684	54,2529	54,2321
	54,3201	54,3174	54,3129	54,3008	54,2895	54,2701	54,2512	54,2295



Tabel A1.4 Nilai Laju Korosi Total dan Rata-rata (mg/dm²day)

Variasi <i>phosphating</i>	Nilai Laju Korosi (mg / dm ² day)							Jumlah	Rata rata		
	24	48	72	96	120	144	168				
27° C+1,8 gr/lt	0,1175	0,1253	0,2454	0,3563	0,3900	0,4216	0,4758	8,4842			
	0,1488	0,1266	0,3063	0,3550	0,3957	0,4416	0,4784				
57,25 µm	0,0861	0,1292	0,2358	0,3302	0,4161	0,4464	0,4732				
	0,0731	0,1331	0,1984	0,2813	0,3759	0,4424	0,4788				
Jumlah	0,4255	0,5142	0,9858	1,3228	1,5777	1,7519	1,9063				
Rata-rata	0,1064	0,1286	0,2465	0,3307	0,3944	0,4380	0,4766			0,3030	
27° C+2,7 gr/lt	0,0600	0,0770	0,1314	0,1814	0,2527	0,2723	0,3043			5,0689	
	0,0496	0,0731	0,1340	0,1710	0,2313	0,2610	0,2972				
77,5 µm	0,0679	0,0783	0,1262	0,2069	0,2261	0,2706	0,2965				
	0,0731	0,0757	0,1253	0,1886	0,2584	0,2776	0,3017				
Jumlah	0,2506	0,3041	0,5168	0,7478	0,9684	1,0815	1,1996				
Rata-rata	0,0626	0,0760	0,1292	0,1870	0,2421	0,2704	0,2999	0,1810			
27° C+3,6 gr/lt	0,0626	0,0640	0,1053	0,1723	0,1932	0,2149	0,2633	4,5045			
	0,0339	0,0613	0,1514	0,1671	0,1947	0,2319	0,2741				
81,83 µm	0,0470	0,0613	0,1035	0,1736	0,2401	0,2506	0,2771				
	0,0339	0,0600	0,1035	0,1971	0,2318	0,2602	0,2748				
Jumlah	0,1775	0,2467	0,4638	0,7100	0,8598	0,9575	1,0892				
Rata-rata	0,0444	0,0617	0,1159	0,1775	0,2150	0,2394	0,2723			0,1609	
45° C+1,8 gr/lt	0,0574	0,0731	0,1192	0,1605	0,2177	0,2367	0,2789			5,0547	
	0,0757	0,0705	0,1366	0,2147	0,2495	0,2649	0,2849				
78,92 µm	0,0444	0,0770	0,1575	0,2271	0,2610	0,2654	0,2875				
	0,1723	0,0744	0,1349	0,1749	0,2146	0,2445	0,2789				
Jumlah	0,3498	0,2950	0,5482	0,7772	0,9428	1,0115	1,1303				
Rata-rata	0,0874	0,0737	0,1370	0,1943	0,2357	0,2529	0,2826	0,1805			
45° C+2,7 gr/lt	0,0131	0,0392	0,0705	0,0907	0,1086	0,1266	0,1469	2,5419			
	0,0131	0,0444	0,0879	0,1064	0,1295	0,1370	0,1447				
88,67 µm	0,0157	0,0405	0,0809	0,1044	0,1081	0,1318	0,1533				
	0,0313	0,0418	0,0679	0,0972	0,1269	0,1366	0,1473				
Jumlah	0,0731	0,1658	0,3071	0,3987	0,4730	0,5321	0,5922				
Rata-rata	0,0183	0,0414	0,0768	0,0997	0,1182	0,1330	0,1480			0,0908	
45° C+3,6 gr/lt	0,0365	0,0378	0,0461	0,0555	0,0689	0,0827	0,0955			1,5971	
	0,0444	0,0326	0,0392	0,0529	0,0647	0,0761	0,0884				
91,08 µm	0,0183	0,0300	0,0444	0,0666	0,0788	0,0870	0,0958				
	0,0157	0,0378	0,0409	0,0476	0,0543	0,0687	0,0899				
Jumlah	0,1149	0,1383	0,1705	0,2225	0,2668	0,3145	0,3695				
Rata-rata	0,0287	0,0346	0,0426	0,0556	0,0667	0,0786	0,0924	0,0570			

55° C+1,8 gr/lt	0,0235	0,0444	0,0713	0,1011	0,1415	0,1732	0,1835		
	0,0287	0,0483	0,0618	0,0901	0,1211	0,1627	0,1879		
87,5 µm	0,0339	0,0444	0,0748	0,0933	0,1169	0,1644	0,1868		
	0,0470	0,0470	0,0626	0,0803	0,1149	0,1418	0,1853		
Jumlah	0,1331	0,1840	0,2706	0,3648	0,4944	0,6421	0,7436	2,8326	
Rata-rata	0,0333	0,0460	0,0677	0,0912	0,1236	0,1605	0,1859		0,1012
55° C+2,7 gr/lt	0,0157	0,0183	0,0226	0,0287	0,0365	0,0396	0,0440		
	0,0131	0,0183	0,0252	0,0320	0,0371	0,0431	0,0503		
101,5 µm	0,0104	0,0209	0,0287	0,0398	0,0407	0,0409	0,0418		
	0,0157	0,0183	0,0244	0,0300	0,0392	0,0461	0,0541		
Jumlah	0,0548	0,0757	0,1009	0,1305	0,1535	0,1697	0,1902	0,8753	
Rata-rata	0,0137	0,0189	0,0252	0,0326	0,0384	0,0424	0,0475		0,0313
55° C+3,6 gr/lt	0,0522	0,0927	0,1610	0,2421	0,2965	0,3285	0,3494		
	0,0548	0,0979	0,1505	0,2153	0,2616	0,2993	0,3326		
126,92 µm	0,0548	0,0992	0,1557	0,2454	0,2756	0,2971	0,3323		
	0,0705	0,0940	0,1679	0,1997	0,2610	0,2997	0,3378		
Jumlah	0,2323	0,3837	0,6352	0,9025	1,0948	1,2247	1,3521	5,8253	
Rata-rata	0,0581	0,0959	0,1588	0,2256	0,2737	0,3062	0,3380		0,2080
65° C+1,8 gr/lt	0,0992	0,1122	0,1949	0,2591	0,2871	0,3276	0,3893		
	0,0940	0,1083	0,1827	0,2552	0,3018	0,3380	0,3923		
62,92 µm	0,0548	0,1188	0,1714	0,2356	0,2803	0,3267	0,3833		
	0,0731	0,1109	0,1766	0,2447	0,2955	0,3406	0,3871		
Jumlah	0,3211	0,4503	0,7257	0,9945	1,1647	1,3330	1,5520	6,5412	
Rata-rata	0,0803	0,1126	0,1814	0,2486	0,2912	0,3332	0,3880		0,2336
65° C+2,7 gr/lt	0,0418	0,0940	0,1705	0,2349	0,2652	0,2958	0,3252		
	0,0235	0,0874	0,1610	0,2408	0,2720	0,2971	0,3233		
71,08 µm	0,0600	0,0914	0,1714	0,2206	0,2527	0,2867	0,3237		
	0,0861	0,0979	0,1531	0,2030	0,2569	0,2858	0,3267		
Jumlah	0,2114	0,3707	0,6561	0,8992	1,0467	1,1655	1,2988	5,6484	
Rata-rata	0,0529	0,0927	0,1640	0,2248	0,2617	0,2914	0,3247		0,2017
65° C+3,6 gr/lt	0,0339	0,0600	0,1192	0,1723	0,1973	0,2254	0,2543		
	0,0444	0,0613	0,1044	0,1605	0,2140	0,2384	0,2607		
82,08 µm	0,0313	0,0626	0,1035	0,1449	0,1733	0,2175	0,2547		
	0,0235	0,0626	0,1157	0,1964	0,2005	0,2328	0,2525		
Jumlah	0,1331	0,2467	0,4429	0,6741	0,7852	0,9140	1,0221	4,2181	
Rata-rata	0,0333	0,0617	0,1107	0,1685	0,1963	0,2285	0,2555		0,1506
Jumlah Besar	2,4772	3,3751	5,8236	8,1448	9,8278	11,0981	12,4459	53,1924	
Rata-rata Besar	0,2064	0,2813	0,4853	0,6787	0,8190	0,9248	1,0372		0,6332

Tabel A1.5 Data uji statistik nilai laju korosi terhadap variasi uji

Accelerator (gram/liter)	Temperatur (°C)				Jumlah	Rata-rata
	27	45	55	65		
1,8	0,47582	0,27893	0,18347	0,38931		
	0,47843	0,2849	0,18794	0,39229		
	0,47321	0,28751	0,18682	0,38334		
	0,4788	0,27893	0,18533	0,38707		
Jumlah	1,90626	1,13026	0,74356	1,55201	5,33209	
Rata-rata	0,47657	0,28256	0,18589	0,388		0,3332553
2,7	0,30429	0,14692	0,044	0,32517		
	0,2972	0,14469	0,05034	0,3233		
	0,29646	0,15326	0,04177	0,32368		
	0,30168	0,1473	0,05407	0,32666		
Jumlah	1,19962	0,59216	0,19018	1,29881	3,28077	
Rata-rata	0,2999	0,14804	0,04755	0,3247		0,205048
3,6	0,26327	0,09546	0,34941	0,25432		
	0,27408	0,08838	0,33263	0,26066		
	0,27706	0,09584	0,33225	0,25469		
	0,27483	0,08987	0,33785	0,25245		
Jumlah	1,08924	0,36954	1,35213	1,02212	3,83303	
Rata-rata	0,27231	0,09239	0,33803	0,25553		0,2395645
Jumlah Besar	4,19512	2,09197	2,28587	3,87293		
Rata-rata Besar	0,34959	0,17433	0,19049	0,32274		0,2592893

Tabel A1.7 Spesifikasi *Cat Powder*

Product Data Sheet									
Corro-Coat MX Series 8									
Product Description	<p>Corro-Coat MX Series 8 is a versatile epoxy-polyester hybrid powder coating developed to provide attractive decorative finishes combined with protective and functional properties.</p> <p>Corro-Coat MX Series 8 offers excellent mechanical and chemical performance with superior flow and finish. It provides good colour stability during curing. Epoxy-polyester hybrid coatings are discouraged for applications where resistance to UV light is a prerequisite.</p>								
Application Areas	<p>Corro-Coat MX Series 8 is recommended for interior applications. It features a large spectrum of finishes and gloss levels. Typical application areas are domestic appliances, indoor metal furniture and fixtures, shelves, lighting equipment, wire work, heating radiators, wheel rims (as primer), and hand tools.</p> <p>Corro-Coat MX Series 8 can be successfully applied to ferrous and non ferrous substrates. Special formulations are available or custom made to meet the requirements for low surface friction, thin film, porous substrates and other special applications.</p>								
Pre-treatment	<p>The overall quality of the coating system is largely dependent on the type and quality of the pre-treatment. The recommended types of pre-treatment for the most frequently used substrates are:</p> <table border="0"> <tr> <td>Aluminum</td> <td>Chromate conversion</td> </tr> <tr> <td>Steel</td> <td>Zinc phosphate</td> </tr> <tr> <td>Zinc coated steel</td> <td>Zinc phosphate or chromate conversion</td> </tr> <tr> <td>Final rinse (deionized)</td> <td>The last running water from the object should be tested at 20°C. The readings obtained should measure below 30µS/cm.</td> </tr> </table>	Aluminum	Chromate conversion	Steel	Zinc phosphate	Zinc coated steel	Zinc phosphate or chromate conversion	Final rinse (deionized)	The last running water from the object should be tested at 20°C. The readings obtained should measure below 30µS/cm.
Aluminum	Chromate conversion								
Steel	Zinc phosphate								
Zinc coated steel	Zinc phosphate or chromate conversion								
Final rinse (deionized)	The last running water from the object should be tested at 20°C. The readings obtained should measure below 30µS/cm.								
Curing Schedules	Corro-Coat MX Series 8 can be formulated for curing temperatures from 160°C to 200°C object temperature. For detailed information please contact a technical or sales representative at Jotun Powder Coatings.								
Colour Selection	Corro-Coat MX Series 8 is available in a wide assortment of custom made colours, including RAL and NCS.								
Finish	Corro-Coat MX Series 8 is available in smooth and textured finishes. The smooth finish is available in a gloss range from 15% to 95% (angle 60° measured according to EN ISO 2813).								
Powder Application	Corro-Coat MX Series 8 is available for Corona or Tribo charging equipment.								
Storage Conditions	Keep in a dry cool area. Maximum temperature 25°C. Maximum relative humidity 60%.								

Technical Data

The technical data provided below are typical for Corro-Coat MX Series 8 applied to 0.8 mm zinc-phosphated cold rolled steel panels (60 micron film thickness). Typical values when tested have not necessarily been recently revised. Values may vary with colour, gloss level and texture variances.

Description	Norm	Series 8
Adhesion	EN ISO 2409 (2mm)	Cross-cut rating Q10 (100% adhesion).
Impact resistance	ASTM D 2794 (5/8" ball)	Most grades exceed 60 inch pounds without film cracking.
Cupping test	EN ISO 1520	Most grades exceed 5mm without film cracking.
Flexibility	EN ISO 1519	Cylindrical Mandrel bend test 3 - 12mm without film cracking.
Film hardness	EN ISO 2815	Indentation resistance according to Buchholz: > 80.
Salt spray resistance	ASTM B 117	Measured with respect to blistering and adhesion loss after 300 hours.
Resistance to humid atmospheres	DIN 50017	Measured with respect to blistering and adhesion loss after 1000 hours.

Tabel A1.8 Spesifikasi standar *Pretreatment* PT Sinar Industri Panel

Specifications of Metal Synthetic Treatment (Steel)

Process	1	2	3	4
	Pickling	Water Rinse	Surfacing	Freephating
Chemicals	Deoxider CS 1-002	City water	Surf. Coat CS 7-071	Phospor CS 15-008 Silicate CS 12-014 Accelerator CS 9-018
Temp. (°C)	Room	Room	Room	Room
Dipping Time	>12'	1'	1-2'	10-15'
Tank Capacity (l)	200	200	200	200
Make Up (kg)	60	-	0.4	CS 15-008 = 15 (TA) 2 RT/200l CS 12-014 = 0.7 (PA) 2 RT/200l CS 9-018 = 0.54 (AC) 2 RT/200l
Control point (pH)	FA > 10 Fe Content < 50 ppm	Cont. < 2	8-10 pH	FA < 1.5 TA < 2.5 AC < 3.5
Replenishing (kg)	5.5 kg/10 l up	Over Flow	Make Up every 2 weeks	CS 15-008 = 0.57 kg/10 l up (TA) CS 12-014 = 0.18 kg/10 l down (PA) CS 9-018 = 0.26 kg/10 l up (AC)
Control Method	1 ml sampel 100 ml air 3-5 tetes IS-2 TS-3 Yellow - Blue	100 ml sampel 3-5 drops IS-1 TS-1 Colorless - Pink	pH meter/paper	In 10 ml sample 3-5 drops IS-2 TS-1 Yellow - Blue TA 10 ml sample 3-5 drops IS-1 TS-1 Colorless - Pink AC 50 ml sample 1 gr RP-1 Using by saccharometer

Technical Assistant
PT. Duta Family Bekasi
Kompleks Pergudangan ASTRO B-8

Tabel A1.9 Tabel informasi jumlah sampling per-kategori pada ketebalan lapisan

Between-Subjects Factors

	Value Label	N
Temperatur	1	27
	2	45
	3	55
	4	65
Accelerator	1	1,8
	2	2,7
	3	3,6

Tabel A1.10 Tabel informasi rata-rata dan standar deviasi pada ketebalan lapisan

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Nilai TA3

Te...	Ac...	Mean	Std. Deviation	N
AA 27	1.8	57.2500	1.11716	4
	2.7	77.5000	.43120	4
	3.6	81.8325	.79466	4
	Total	72.1942	11.23229	12
AA 45	1.8	78.9175	.17550	4
	2.7	88.6700	.11650	4
	3.6	90.9150	1.03100	4
	Total	86.1675	5.10160	12
AA 55	1.8	87.4975	.33500	4
	2.7	1.0150E2	1.03566	4
	3.6	1.2691E2	1.03100	4
	Total	1.0530E2	17.05886	12
AA 65	1.8	62.9150	.12952	4
	2.7	71.0825	.57139	4
	3.6	82.0850	1.13268	4
	Total	72.0275	8.23713	12
Total	1.8	71.6450	12.54897	16
	2.7	84.6881	11.96623	16
	3.6	95.4369	19.16734	16
	Total	83.9233	17.10276	48

Tabel A1.11 Tabel informasi jumlah sampling per-kategori pada nilai laju korosi

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Temperatur	1	27	12
	2	45	12
	3	55	12
	4	65	12
Accelerator	1	1,8	16
	2	2,7	16
	3	3,6	16

Tabel A1.12 Tabel informasi rata-rata dan standar deviasi pada nilai laju korosi

Descriptive Statistics

Dependent Variable: NTAB

Te...	Ac...	Mean	Std. Deviation	N
27	1,8	...	.00260029	4
	2,7	...	.00372218	4
	3,6	...	.00615812	4
	Total	...	.09459407	12
45	1,8	...	.00433327	4
	2,7	...	.00366392	4
	3,6	...	.00381916	4
	Total	...	.08346159	12
55	1,8	...	.00193541	4
	2,7	...	.00566584	4
	3,6	...	.00800219	4
	Total	...	.12402180	12
65	1,8	...	.00377274	4
	2,7	...	.00153437	4
	3,6	...	.00355776	4
	Total	...	.05657550	12
Total	1,8	...	.11296412	16
	2,7	...	.11709671	16
	3,6	...	.09349734	16
	Total	...	.11931078	48

LAMPIRAN 2. GAMBAR DAN ALAT PENGUJIAN



Pemotongan spesimen



Timbangan digital 1/100g



Persiapan *pretreatment*



Proses *pretreatment*



Spesimen setelah *pretreatment*



Spraying gun



Proses *coating* pada *spraying booth*



Mesin *oven*



Display temperatur oven



Spesimen setelah dioven



Thickness gauge test



Spesimen setelah coating



Tekanan pada compressor *salt spray test*



chamber salt spray test



Salt spray test



Termocontrol pada alat uji salt spray



Larutan (HCl) *degreasing*



Larutan (Prepalene PLX-HG) *surfacing*



Larutan (HNO₂) *accelerator*



Larutan (H₃PO₄) *phosphating*



Cat Powder tipe *corro-coat* MX 8003