

PENGARUH KONSENTRASI *THINNER* TERHADAP KETAHANAN KOROSI LAPISAN EPOKSI PADA BAJA KARBON RENDAH

THE EFFECT OF THINNER CONCENTRATION ON CORROSION RESISTANCE OF EPOXY COATING ON LOW CARBON STEEL

Asep Ridwan Setiawan^{*1,a)}, Egi Setiawan^{1,b)}

¹Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

Email: ^{a)}asep.ridwans@material.itb.ac.id, ^{b)}egistwn22@gmail.com

Diterima: 5 Juni 2018

Direvisi: 2 Juli 2018

Disetujui: 10 Juli 2018

ABSTRAK

Lapisan epoksi sering digunakan untuk melindungi baja karbon dari korosi. Namun baja yang diberi lapisan epoksi dapat terserang korosi. Prosedur pelapisan yang kurang baik, preparasi permukaan, pemilihan komposisi lapisan dan kerusakan mekanis adalah beberapa faktor yang dapat menyebabkan rusaknya lapisan epoksi pada baja. Pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh konsentrasi *thinner* terhadap ketahanan korosi lapisan epoksi. Lapisan epoksi dengan konsentrasi *thinner* yang bervariasi diaplikasikan pada substrat baja menggunakan metoda *spray*. Konsentrasi *thinner* yang divariasikan adalah 0, 15 dan 30 % volume. Pengukuran ketebalan, kekasaran, kekerasan dan permeabilitas pelapisan dilakukan sebagai data pendukung. Ketahanan korosi lapisan ini diuji pada lingkungan NaCl 5% dengan pengujian korosi siklus kabut garam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel dengan konsentrasi *thinner* 15% memiliki nilai daya lekat paling tinggi yaitu 1,875 MPa. Pengujian korosi siklus kabut garam menunjukkan bahwa lapisan epoksi dengan 15% *thinner* memiliki ketahanan korosi *underfilm* yang sangat baik, dengan X_{max} 0,64 mm dan Y_{max} 0,69 mm. Seiring dengan peningkatan konsentrasi *thinner*, ketebalan dan kekasaran permukaan lapisan menurun. Hasil pengujian FTIR menunjukkan bahwa penambahan *thinner* tidak mempengaruhi struktur kimia dari lapisan epoksi yang terbentuk.

Kata kunci: pelapisan, daya lekat, ketahanan korosi, *thinner*

ABSTRACT

Epoxy coating is frequently used to protect steel substrate from corrosion. However, it was found that the epoxy coated steel was also very often attacked by corrosion. Insufficient coating procedure, substrate preparation, selection of coating composition and mechanical damage are several factors which might contribute to the epoxy coating failure. In this work, the effect of thinner concentration on epoxy coating resistance to corrosion was studied. Epoxy coating was applied onto carbon steel substrate using conventional spray method. The concentration of thinner used for this study were 0; 15 and 30% volume. The thickness, surface roughness, hardness and permeability of epoxy coating were evaluated. The corrosion resistance of epoxy coating was evaluated in 5% NaCl solution using salt spray test. The epoxy coating with addition of 15% thinner had the highest adhesiveness, i.e 1.875 MPa. Salt spray test indicated that the epoxy coating with the addition of 15% thinner had very good underfilm corrosion resistance, with X_{max} 0.64 mm, and Y_{max} 0.69 mm. Moreover, the increase of thinner concentration in epoxy coating decrease the thickness and surface roughness of epoxy coating formed. FTIR result showed that the addition of thinner onto epoxy coating did not modify the epoxy chemical structures.

Keywords: coating, adhesiveness, corrosion resistance, thinner

PENDAHULUAN

Industri otomotif merupakan salah satu pengguna pelat baja karbon rendah sebagai bahan baku utamanya. Pelat baja karbon rendah banyak digunakan untuk struktur rangka kendaraan seperti *frame*, *chassis*, ataupun *body* kendaraan. Baja memiliki beberapa kelebihan antara lain harga yang relatif murah dan sifat mekanik yang dapat diandalkan. Permasalahan yang seringkali timbul pada penggunaan baja karbon rendah adalah korosi [1].

Korosi merupakan proses yang paling umum menyebabkan terjadinya kegagalan pada material [2]. Secara definisi, korosi adalah proses penurunan sifat dari material, umumnya logam, karena terjadinya reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungannya [3]. Proses korosi pada dasarnya tidak bisa dicegah, namun dapat dilakukan pengontrolan dengan berbagai cara, yaitu pemilihan material yang tepat, desain yang efektif, proteksi elektrokimia, inhibitor, dan pelapisan [4].

Pelapisan atau *coating* merupakan metode pengontrolan korosi dengan cara melapisi permukaan material sehingga substrat tidak kontak dengan lingkungan. Biasanya metode ini diaplikasikan dalam bentuk lapisan organik. Kondisi di lapangan pada lingkungan ekstrim menunjukkan bahwa baja yang telah dilakukan pelapisan dapat mengalami kecacatan yang dapat merusak lapisan atau yang disebut dengan *blistering* dan delaminasi. Cacat tersebut dapat terjadi karena proses preparasi permukaan yang tidak baik, komposisi pembuatan lapisan yang tidak tepat, pemilihan jenis lapisan yang keliru, aplikasi pelapisan yang tidak tepat, proses pengeringan yang tidak sempurna setelah pelapisan, proteksi yang tidak efektif terhadap lapisan yang sangat agresif, dan juga kerusakan mekanis yang disebabkan karena proses *handling* atau *maintenance* yang salah.

Lapisan organik memberikan perlindungan dengan cara menjadi penghalang. Namun, semua lapisan organik permeabel terhadap air dan oksigen. Tingkat transmisi rata-rata air melalui lapisan organik adalah 10-100 kali lebih besar dari konsumsi pada permukaan yang impermeabel. Di kondisi normal lapisan organik menghabiskan setengah masanya dalam kondisi kelembaban yang tinggi [5].

Untuk membuat lapisan yang efektif, material substrat harus terisolasi dengan baik. Sifat lapisan yang baik dipengaruhi oleh

beberapa kategori seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Penelitian ini akan fokus pada sifat dan performa lapisan yang dipengaruhi oleh komposisi kimia dari lapisan.

Komposisi kimia dari lapisan adalah sebuah sistem campuran yang kompleks, terdapat padatan yang terlarut (*solute*) dalam pelarut cair (*solvent*). *Solvent* adalah cairan yang berperan melarutkan atau mendispersi komponen-komponen pembentuk film (*resin*, *pigment* dan/atau *additive*) yang akan menguap terbuang ke lingkungan selama proses pengeringan. Pada saat pembuatan lapisan, *solvent* memberi kontribusi sedemikian rupa sehingga campuran mempunyai kekentalan yang tepat untuk proses pengadukan, pencampuran, penggilingan dan lain-lain. Konsentrasi *solvent* yang tepat juga memberi pengaruh optimal pada mekanisme penguapan *solvent* itu sendiri, sehingga akan membentuk film yang maksimal karakteristiknya, baik tekstur permukaannya, sifat kilapnya maupun kecepatan keringnya [5].

Berdasarkan hal itu, penelitian ini dilakukan untuk mengamati pengaruh konsentrasi *solvent*, dalam hal ini *thinner* terhadap performa dan ketahanan korosi lapisan epoksi yang diaplikasikan pada baja karbon rendah.

BAHAN DAN METODE

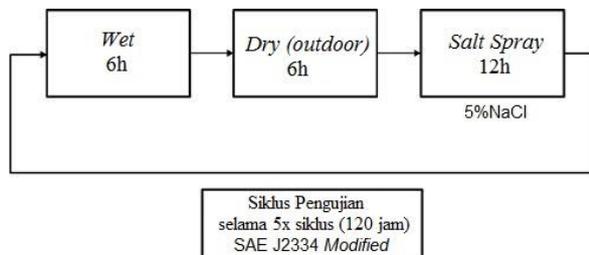
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelapis epoksi primer dan baja karbon rendah. Substrat yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan ketebalan 1,2 mm yang dipotong menjadi dimensi 10 x 5 cm. Setelah pelapisan, lapisan epoksi yang dibuat dikarakterisasi melalui pengujian FTIR, pengukuran ketebalan, kekasaran, daya tahan gores, uji daya lekat, dan uji siklus sembur kabut garam.

Material pelapis epoksi yang digunakan pada penelitian ini adalah epoksi primer sebagai komponen A dan *hardener* sebagai komponen B. Rasio pencampuran kedua komponen adalah 4:1. Pelarut yang digunakan adalah *thinner high gloss* dengan variasi konsentrasi *thinner* adalah 0, 15 dan 30 % volume. Proses pelapisan dilakukan dengan metode *conventional air spray*, pada temperatur kamar.

Karakterisasi FTIR dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan konsentrasi pelarut terhadap ikatan kimia yang terbentuk pada lapisan epoksi. Pengukuran ketebalan dilakukan pada semua sampel lapisan epoksi.

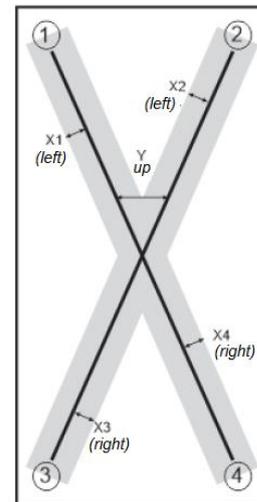
Pengukuran dilakukan dengan 2 metode yaitu menggunakan metode *ultrasonic testing* dan teknik metalografi. Pengukuran kekasaran permukaan lapisan dilakukan menggunakan metode *stylus roughness test* dengan alat *Stylus Mitutoyo Surftest SJ-301*. Pengujian kekerasan lapisan dilakukan dengan metode *pencil hardness test*, mengacu pada ASTM D6333 [6]. Pengujian daya lekat dilakukan dengan menggunakan *pull-off test* dengan standar ASTM D4541 [7], untuk mengetahui nilai daya lekat lapisan epoksi dengan masing-masing variabel konsentrasi pelarut.

Pengujian korosi dilakukan dengan metoda immersi dan *cyclic salt spray test*. Uji immersi dilakukan selama 14 hari untuk mengetahui kualitas lapisan epoksi berdasarkan tingkat *blistering* yang terjadi. Pengujian dilakukan mengacu pada ASTM D714 [8]. Uji siklus sembur kabut garam (*cyclic salt spray test*) dilakukan menggunakan larutan NaCl 5% selama 120 jam. Sebelum pengujian siklus sembur kabut garam, lapisan epoksi digores dengan *cutter* membentuk huruf X seperti pada Gambar 2 sehingga substrat baja karbon terlihat. Pengujian dilakukan untuk mengetahui ketahanan lapisan terhadap pertumbuhan korosi di bawah lapisan (*underfilm corrosion*). Pengujian dilakukan mengacu pada standar SAE J2334 [9] *modified* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengujian Korosi Siklus Sembur Kabut Garam

Setelah pengujian korosi kabut garam, lebar goresan pada lapisan epoksi sebelum dan setelah pengujian diukur untuk melihat pertumbuhan korosi yang terjadi dibawah lapisan. Pengukuran penambahan lebar goresan dilakukan dengan menggunakan mikroskop. Skema pengukuran ditunjukkan pada Gambar 2.

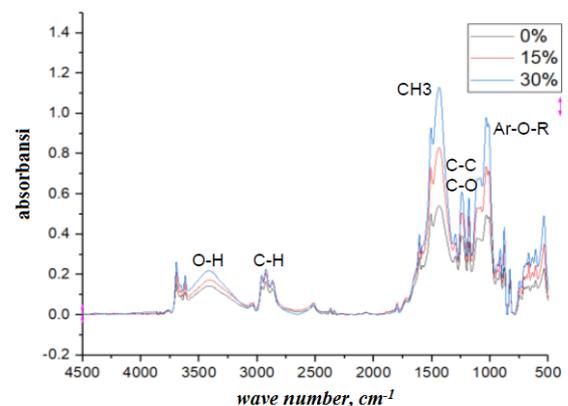


Gambar 2. Skema Pengukuran Lebar Goresan Korosi (*Scribe Creep*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian FTIR pada lapisan epoksi yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR, terlihat bahwa penambahan konsentrasi *thinner* pada lapisan epoksi tidak mempengaruhi struktur kimia lapisan epoksi yang terbentuk.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa sekitar $3300-3400\text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan O-H, dan di 2925 cm^{-1} terdapat ikatan C-H. Pada sekitar 1453 cm^{-1} menunjukkan ikatan CH_3 *asymmetrical bend*, pada 1376 cm^{-1} menunjukkan CH_3 *symmetrical*, pada 1296 cm^{-1} menunjukkan ring epoksi C-C dan C-O, juga pada 1243 cm^{-1} menunjukkan ikatan Ar-O-R *asymmetrical*, dan pada 1036 cm^{-1} menunjukkan Ar-O-R *symmetrical*. Gugus fungsi yang ditemukan dari hasil FTIR, menunjukkan bahwa semua sampel merupakan lapisan epoksi.

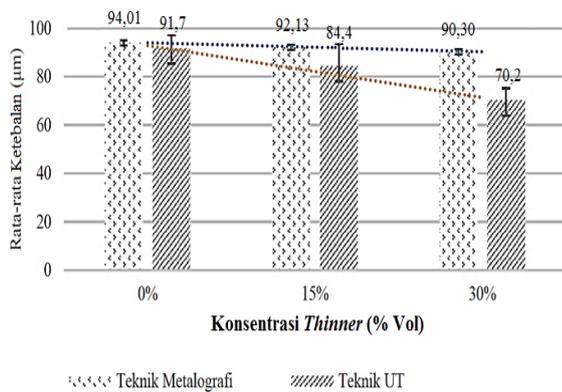


Gambar 3. Spektrum FTIR Lapisan Epoksi

Ikatan C-H berkaitan dengan grup *methylene* dari ring epoksi. Keberadaan *thinner* pada lapisan epoksi tidak mengubah jenis ikatan yang ada dan senyawa yang terbentuk.

Pada penelitian ini pelarut yang digunakan adalah *thinner high gloss*. Komposisi pelarut jenis ini didominasi oleh *xylene*. Pada Gambar 3, dapat terlihat bahwa perbedaan *peak* absorbansi yang paling tinggi ada pada bilangan gelombang sekitar 1400 cm^{-1} ; pada bilangan gelombang tersebut terdapat senyawa CH_3 . Hal ini mengindikasikan bahwa pelarut *thinner* tidak mengalami penguapan dengan sempurna, sehingga ketika dilakukan pengujian FTIR, senyawa pada *thinner* ikut menyerap sinar inframerah dari peralatan FTIR. Semakin tinggi konsentrasi *thinner* yang diberikan pada lapisan epoksi, semakin banyak pula *thinner* yang terjebak karena tidak mengalami penguapan, sehingga dapat dilihat dari Gambar 3 bahwa penambahan 30% *thinner* menghasilkan *peak* absorbansi CH_3 paling tinggi.

Hasil pengukuran ketebalan lapisan epoksi ditunjukkan pada Gambar 4. Ketebalan lapisan epoksi yang dihasilkan diukur dengan dua metoda yaitu menggunakan teknik metalografi dan peralatan *ultrasonic test* (UT). Pada kedua metode pengukuran tersebut, dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya konsentrasi *thinner* pada lapisan epoksi menyebabkan penurunan ketebalan lapisan epoksi yang dihasilkan. Semakin tinggi konsentrasi *thinner* yang ditambahkan, semakin luas daya sebar lapisan. Hal ini menjadikan lapisan epoksi yang dihasilkan cenderung lebih tipis.



Gambar 4. Hasil Pengukuran Ketebalan Lapisan

Hasil pengukuran ketebalan dengan metode UT menunjukkan sedikit perbedaan dengan pengamatan metalografi. Hal ini bisa terjadi akibat adanya fenomena atenuasi selama pengukuran UT akibat terdapatnya porositas pada lapisan.

Pengukuran kekasaran dilakukan sebagai analisis kuantitatif dari kekasaran permukaan yang teramati secara visual. Hasil pengukuran kekasaran permukaan dari lapisan epoksi ditunjukkan pada Tabel 1, dengan R_a adalah kekasaran rata-rata dari permukaan lapisan. R_t merupakan jarak antara R_a terhadap permukaan tertinggi sedangkan R_p merupakan jarak antara R_a terhadap permukaan terendah.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

Lapisan Epoksi	R_a (µm)	R_t (µm)	R_p (µm)
Thinner 0%	1,26	16,04	4,72
Thinner 15%	1,25	11,39	3,96
Thinner 30%	1,10	7,24	3,21

Berdasarkan Tabel 1, nilai R_a , R_t , dan R_p menurun seiring dengan naiknya konsentrasi *thinner* pada lapisan epoksi. Hal ini disebabkan karena partikel epoksi akan terlarut oleh *thinner* yang ditambahkan sewaktu pencampuran. Turunnya nilai kekasaran permukaan lapisan dapat menurunkan ketahanan gores, sehingga lapisan mudah rusak.

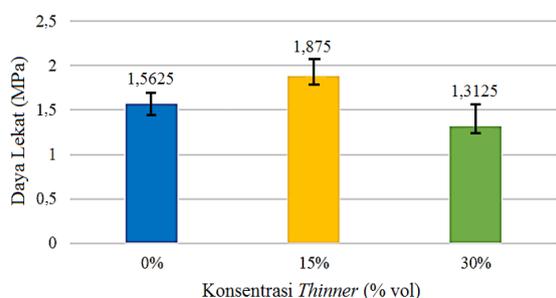
Hasil pengujian kekerasan lapisan epoksi dengan variasi konsentrasi *thinner* ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2, kekerasan lapisan dari ketiga sampel ada diatas 34,9 HK hasil konversi dari penggunaan *pencil test* tipe 9H. Ketiga sampel tidak tergores sama sekali ketika dilakukan penggosresan dengan pensil 9H. Hal ini berkaitan dengan daya lekat adhesi dan kohesi dari lapisan epoksi itu sendiri.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Lapisan Epoksi

Lapisan	Pencil Hardness	HK
Thinner 0%	9H	> 34,9
Thinner 15%	9H	> 34,9
Thinner 30%	9H	> 34,9

Binder merupakan salah satu komponen lapisan yang dalam penelitian ini adalah epoksi. Epoksi berperan penting dalam penentuan kekuatan daya lekat dengan substrat yaitu dengan mekanisme *mechanical interlocking* maupun ikatan kimia.

Untuk mendapatkan nilai dari daya lekat yang baik, sebelum pengujian, sampel lapisan epoksi dibersihkan permukaannya dari debu dan pengotor. Kemudian *pin dolly* ditempelkan pada lapisan, sehari sebelum dilakukan pengujian daya lekat. Hasil pengujian daya lekat lapisan dengan variasi konsentrasi *thinner* ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya lekat paling tinggi dimiliki oleh lapisan epoksi dengan penambahan *thinner* 15%. Sedangkan daya lekat yang paling rendah dimiliki oleh lapisan epoksi dengan penambahan *thinner* 30%. Hal ini disebabkan karena makin banyak pori pada lapisan epoksi seiring dengan naiknya konsentrasi *thinner*, sehingga partikel epoksi yang menempel pada substrat lebih sedikit dibandingkan dengan komposisi pelarut yang lain.



Gambar 5. Hasil Pengujian Daya Lekat Lapisan

Pengamatan visual setelah pengujian daya lekat pada lapisan menunjukkan bahwa kerusakan yang terjadi pada lapisan epoksi dengan penambahan *thinner* 0% dan 15% memiliki modulus kerusakan *cohesive failure* (gagal pada ikatan *coating* dengan *coating*). Sedangkan sampel lapisan epoksi dengan penambahan *thinner* 30% memiliki kerusakan *adhesive failure* (gagal pada ikatan *coating*-substrat). Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan epoksi dengan penambahan *thinner* 0% dan 15% memiliki ikatan mekanik (*mechanical interlocking*) yang baik antara lapisan dengan substrat [5]. Sedangkan pada lapisan epoksi dengan 30% *thinner*, terjadi kerusakan dengan modulus *adhesive failure* pada beberapa bagian. Hal ini mengindikasikan bahwa ikatan mekanik yang dimiliki antara lapisan-substrat jauh lebih rendah daripada ikatan antar partikel *coating*. Besar kemungkinan bahwa lapisan epoksi dengan penambahan *thinner* 30% memiliki pori yang banyak sehingga jumlah ikatan antar lapisan-substrat lebih sedikit.

Pengujian imersi dilakukan selama 14 hari dengan tujuan untuk mengetahui ketahanan lapisan epoksi terhadap *blistering*. *Blister* muncul karena adanya air yang terperangkap dalam lapisan. Air dapat masuk ke lapisan melalui pori-pori lapisan dan akhirnya membentuk *blister*.

Berdasarkan standar ASTM D714 terdapat beberapa tingkatan ukuran dan jumlah *blister* yang ada. Tingkatan ukuran *blister* sendiri dimulai dari skala sepuluh hingga nol, dengan ukuran sepuluh yang menandakan tidak adanya *blister* pada permukaan. Kemudian untuk tingkatan jumlah *blister* ditandai mulai dari *few*, *medium*, *medium dense*, hingga *dense*.

Dengan mengacu pada standar, diketahui bahwa penambahan konsentrasi pelarut 0% memiliki tingkat *blistering* paling rendah. Sedangkan tingkat *blistering* paling tinggi dimiliki oleh lapisan dengan konsentrasi *thinner* 30%. Hal ini berkaitan dengan porositas yang dimiliki oleh tiap sampel lapisan. *Blister* muncul akibat adanya air yang masuk melalui pori lalu terperangkap dan akhirnya terjadi pembengkakan. Lapisan epoksi dengan konsentrasi *thinner* 30% memiliki tingkat porositas paling tinggi diantara semua sampel lapisan. Hal ini terlihat dari banyaknya *blister* yang terbentuk, dan memiliki *rating* tingkat *blistering* rendah [8].

Pertumbuhan lebar goresan pada lapisan epoksi setelah pengujian siklus sembur kabut garam di larutan NaCl 5% selama 120 jam ditunjukkan pada Tabel 3. Pelebaran goresan tertinggi dimiliki oleh sampel lapisan epoksi dengan *thinner* 30%, yaitu sebesar 471,6 μm . Sedangkan nilai pelebaran goresan terkecil dimiliki oleh sampel lapisan epoksi dengan *thinner* 15%, yaitu sebesar 439,5 μm . Mengacu pada ASTM D1654 [10], pertumbuhan lebar goresan pada ketiga sampel lapisan epoksi memiliki *rating* 9, artinya pertambahan lebar goresan berkisar antara 0-500 μm , dan tergolong nilai *rating* yang sangat baik.

Tabel 3. Pertumbuhan Lebar Goresan pada Lapisan

Lapisan Epoksi	Lebar Goresan (μm)				Rating
	H+0	H+1	H+3	H+5	
<i>Thinner</i> 0%	0	183,6	368,1	451,5	9
<i>Thinner</i> 15%	0	139,3	337,7	439,5	9
<i>Thinner</i> 30%	0	224,8	331,1	471,6	9

Selanjutnya dilakukan pengukuran lebar korosi yang berkembang dibawah lapisan epoksi (*underfilm corrosion*). Pengukuran dilakukan dengan mengukur daerah yang mengalami korosi dibawah lapisan epoksi, dimulai dari daerah goresan pada lapisan. Sebelumnya lapisan epoksi yang ada dihilangkan dulu (proses delaminasi), sehingga daerah terkorosi dibawah lapisan bisa terlihat. Hasil pengukuran *scribe creep*, yaitu

daerah korosi yang berkembang disekitar goresan pada lapisan epoksi (*underfilm corrosion*) ditunjukkan pada Tabel 4. Nilai *scribe creep* tertinggi dimiliki oleh sampel lapisan epoksi dengan *thinner* 30% yaitu sebesar 1,4 mm. Sedangkan nilai *scribe creep* terkecil dimiliki oleh sampel lapisan epoksi dengan *thinner* 15%, yaitu sebesar 0,64 mm.

Tabel 4. Hasil Pengukuran *Scribe Creep*

Lapisan Epoksi	X ₁ (mm)		X ₂ (mm)		X ₃ (mm)		X ₄ (mm)		Y (mm)		X _{max} (mm)	Y _{max} (mm)
	L	R	L	R	L	R	L	R	up	under		
<i>Thinner</i> 0%	0,34	0,66	0,42	0,54	0,87	0,76	0,63	0,42	0,7	0,75	0,87	0,75
<i>Thinner</i> 15%	0,41	0,44	0,44	0,57	0,46	0,56	0,5	0,64	0,64	0,69	0,64	0,69
<i>Thinner</i> 30%	1,02	1,3	1	1,08	1,01	1,4	0,94	1,27	1,31	0,63	1,4	1,31

Nilai pertumbuhan lebar goresan dan nilai *scribe creep* (*area underfilm corrosion*) pada masing-masing sampel berkaitan dengan daya lekat lapisan. Pertumbuhan lebar goresan dan nilai *scribe creep* terendah dimiliki oleh lapisan epoksi dengan penambahan *thinner* 15%. Artinya lapisan ini memiliki ketahanan korosi paling baik. Sampel lapisan tersebut juga memiliki daya lekat paling tinggi. Semakin kuat daya lekat lapisan dengan substrat menyebabkan pertumbuhan korosi yang terjadi di bawah permukaan lapisan menjadi lebih lambat. Hal sebaliknya juga ditunjukkan oleh sampel lapisan epoksi dengan penambahan *thinner* 30%. Lapisan ini memiliki nilai pertumbuhan lebar goresan dan *scribe creep* paling tinggi. Sampel ini pun memiliki daya lekat terhadap substrat paling rendah. Semakin rendah daya lekat lapisan terhadap substrat menyebabkan pertumbuhan *underfilm corrosion* lebih cepat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: [1]

- a. Makin meningkatnya konsentrasi *thinner* pada lapisan epoksi menyebabkan penurunan ketebalan dan kekasaran permukaan dari lapisan epoksi yang dihasilkan.
- b. Lapisan epoksi yang memiliki daya lekat dan ketahanan korosi paling baik adalah lapisan dengan penambahan *thinner* sebesar 15%.
- c. Nilai kekerasan untuk semua sampel lapisan epoksi yang dibuat pada penelitian ini lebih

tinggi daripada 34,9 HK atau setara dengan kekerasan pensil 9H.

- d. Sifat permeabilitas dari lapisan yang paling rendah dimiliki oleh sampel lapisan dengan penambahan *thinner* sebesar 0% karena memiliki *blister* paling sedikit ketika uji imersi.
- e. Hasil pengukuran *scribe creep*, menunjukkan bahwa sampel lapisan epoksi dengan penambahan *thinner* sebesar 15% memiliki ketahanan *underfilm corrosion* yang paling baik, yaitu dengan X_{max} 0,64 mm dan Y_{max} 0,69 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. M. Muhammad and A. Purniawan, “Pengaruh Komposisi Pelarut dan Ketebalan Cat Epoksi Terhadap Daya Lekat dan Tingkat Pelepuhan (Blistering) pada Lingkungan NaCl yang Diaplikasikan pada Baja Karbon”, no., pp. 144–149, November, 2015.
- [2] R. W. Revie and H. H. Uhlig, “Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering”. New Jersey: Wiley Interscience, 2008.
- [3] J. William D. Callister, “Materials Science and Engineering SI Version”, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2011.
- [4] D. Jones, “Principles and prevention of corrosion”. New York: MacMillan, 1993.
- [5] P. E. Philip A. Schweitzer, “Paint and Coatings Applications and Corrosion Resistance”. New York: Taylor & Francis Group, 2006.

- [6] ASTM International, "Standard Test Method for Film Hardness by Pencil Test", West Conshohocken, PA, *ASTM D3363-05(2011)e2.*, 2011.
- [7] ASTM International, "Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers", West Conshohocken, PA., *ASTM D4541-17*, 2017.
- [8] ASTM International, "Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints", West Conshohocken, PA., *ASTM D714-02(2017)*, 2017.
- [9] SAE International, "Laboratory Cyclic Corrosion Test, Materials", Processes and Parts Council., *SAE J2334*, 2016.
- [10] ASTM International, "Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments", West Conshohocken, PA., *ASTM D1654-08(2016) e1*, 2016.

