

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 PENGUJIAN KOMPOSISI

Dari pengujian dengan alat *spectrometer* yang telah dilakukan pada sampel uji, komposisi yang terdapat di dalam sampel uji dapat dilihat pada Lampiran 1, dan secara umum terdapat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Komposisi

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Komposisi	99.409	0.0714	0.0131	0.254	0.0105	0.0139	0.0192	0.006
Unsur	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
Komposisi	0.0183	0.0434	0.0096	0.052	0.002	0.002	0.0024	0.050
Unsur	Pb	Sn	B	Ca	Zr	As	Bi	
Komposisi	0.0250	0.0058	0.0010	0.0002	0.006	0.0108	0.0300	

4.2 PENGUKURAN KETEBALAN LAPISAN

Ketebalan lapisan organik dilakukan dengan menggunakan alat *De Flesko coating thickness measurement*. Pengukuran dilakukan di tiga sisi lapisan organik, yaitu sisi kanan, tengah, dan kiri. Hasil pengukuran ketebalan yang didapat ditunjukkan oleh Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Ketebalan Lapisan

Sampel Uji	Ketebalan (mm)			Ketebalan rata-rata (mm)
	t_1	t_2	t_3	
A	0,24	0,22	0,2	0,22
B	0,27	0,28	0,25	0,26

C	0,23	0,155	0,21	0,19
D	0,32	0,23	0,22	0,25
E	0,25	0,26	0,30	0,27
F	0,21	0,17	0,30	0,22
G	0,18	0,15	0,26	0,19
H	0,17	0,18	0,27	0,20
I	0,23	0,22	0,19	0,21

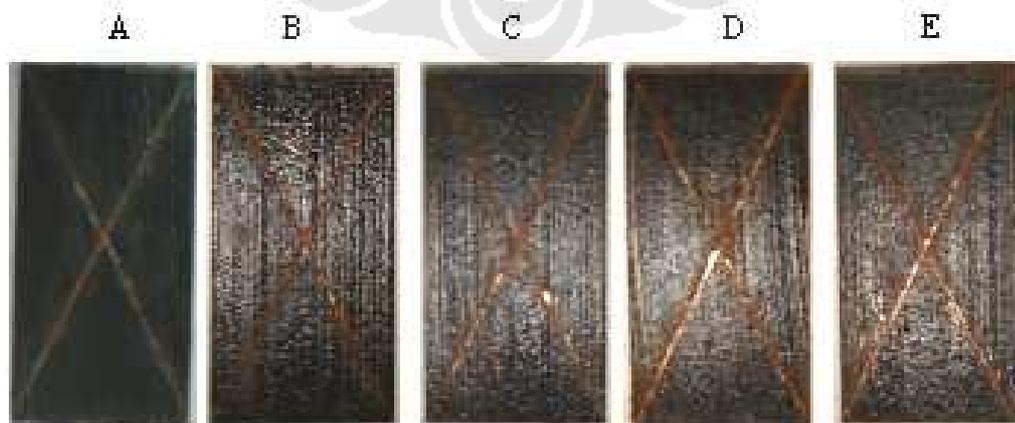
4.3 UJI SEMBUR GARAM (*SALT SPRAY TEST*)

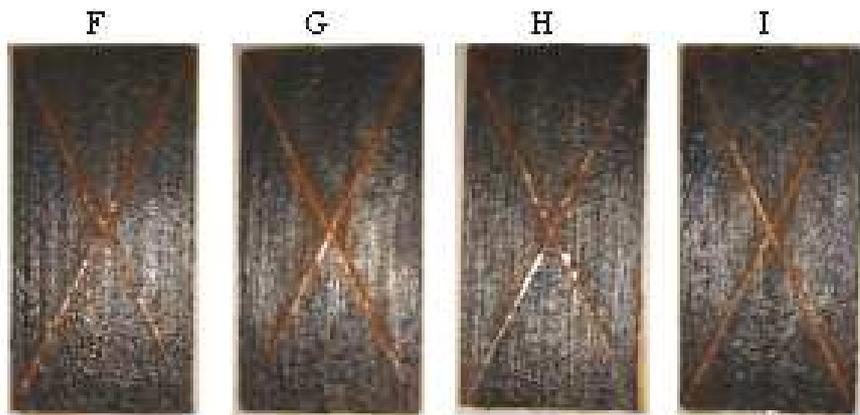
Pengujian sembur garam dilakukan selama 96 jam, dengan waktu pengamatan pada jam ke-48, 72, dan 96. Data yang didapat dari pengujian ini ialah lebar daerah *scratch* (X) setelah dilakukan penggoresan pada bagian daerah tersebut. Data tersebut kemudian dicocokkan menurut standar ASTM B 117-03 untuk meranking tingkat penambahan lebar daerah *scratch*. Besar pelebaran dan perankingan dapat dilihat pada Tabel 4.3. Sedangkan pengamatan visual sampel uji dapat dilihat pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.3. Di mana Gambar 4.1 merupakan pengamatan pada jam ke 48, Gambar 4.2 merupakan pengamatan pada jam ke 72, dan Gambar 4.3 merupakan pengamatan pada jam ke-96.

Tabel 4.3. Hasil Uji Sembur Garam: Peringkat Pelebaran Goresan

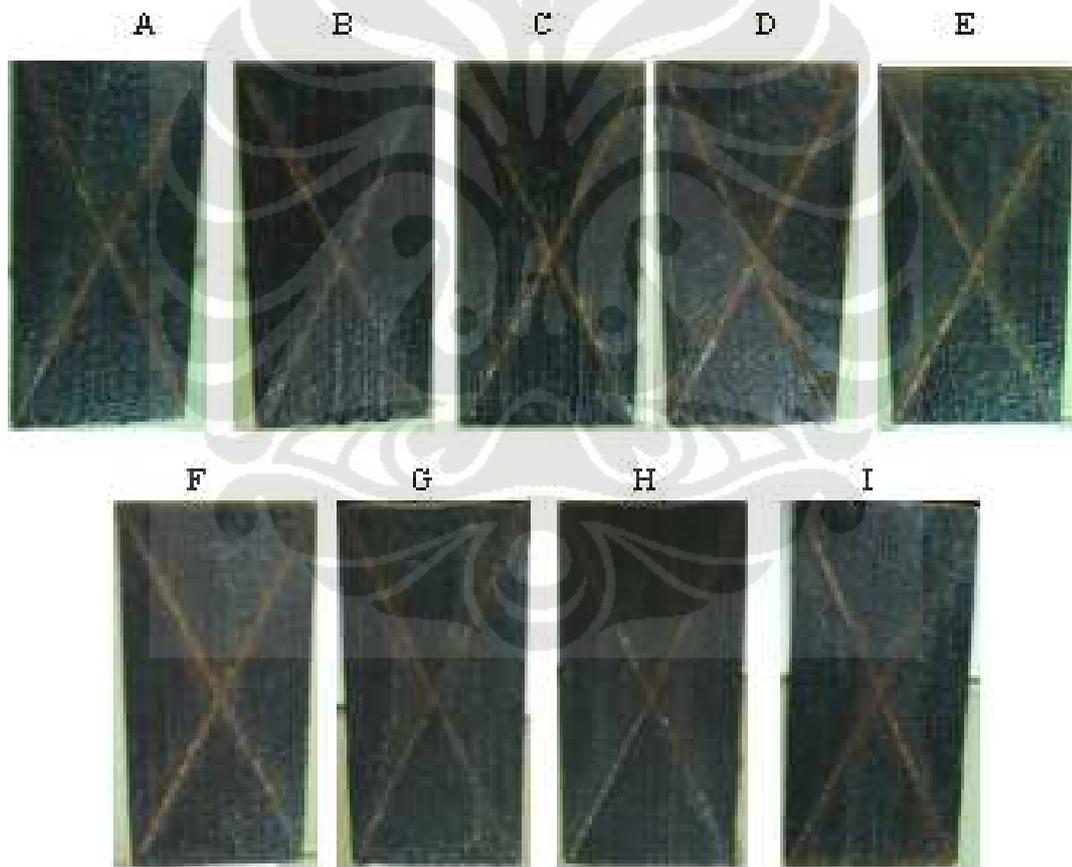
Sampel Uji	Waktu Pemaparan (jam)	Pelebaran Goresan (mm)	Peringkat
A	48	0,00	10
	72	0,00	10
	96	0,09	9
B	48	0,00	10
	72	0,00	10
	96	0,12	9
C	48	0,00	10
	72	0,00	10

	96	0,04	9
D	48	0,00	10
	72	0,00	10
	96	0,10	9
E	48	0,00	10
	72	0,00	10
	96	0,09	9
F	48	0,00	10
	72	0,00	10
	96	0,12	9
G	48	0,00	10
	72	0,00	10
	96	0,11	9
H	48	0,00	10
	72	0,00	10
	96	0,09	9
I	48	0,00	10
	72	0,00	10
	96	0,07	9

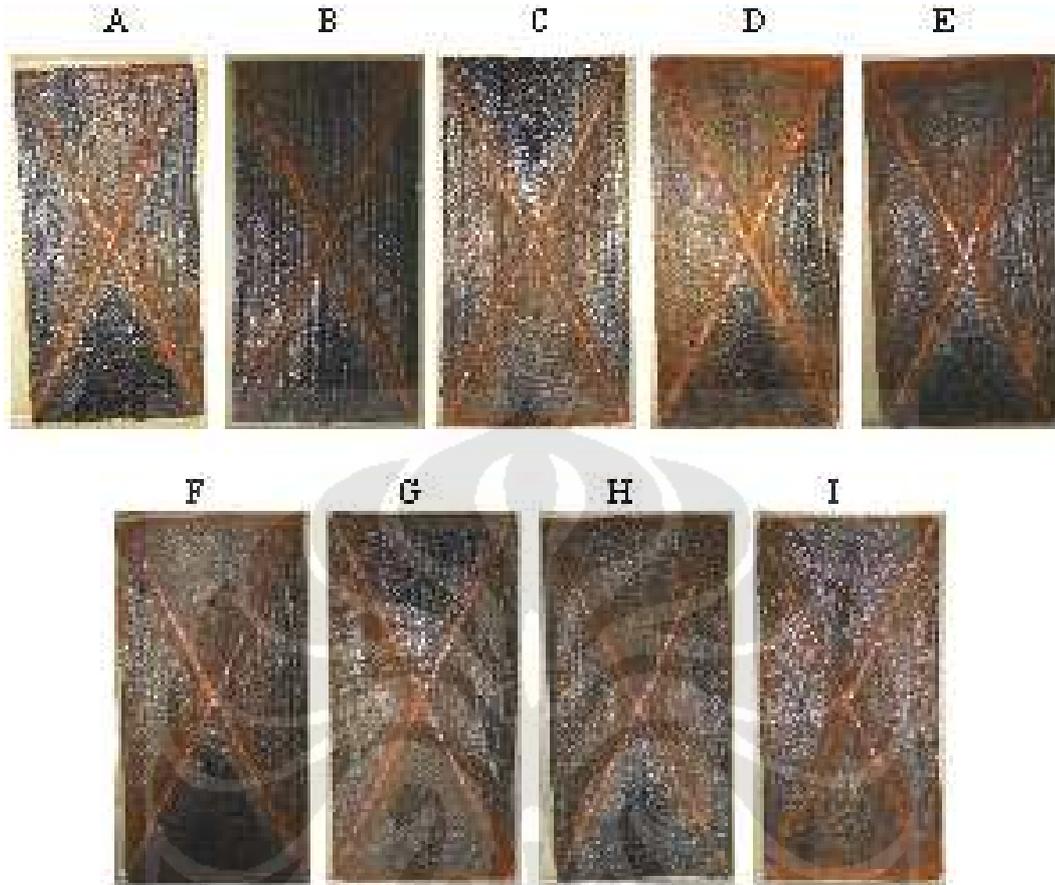




Gambar 4.1. Permukaan Lapisan Film Setelah Uji Sembur Garam Selama 48 Jam



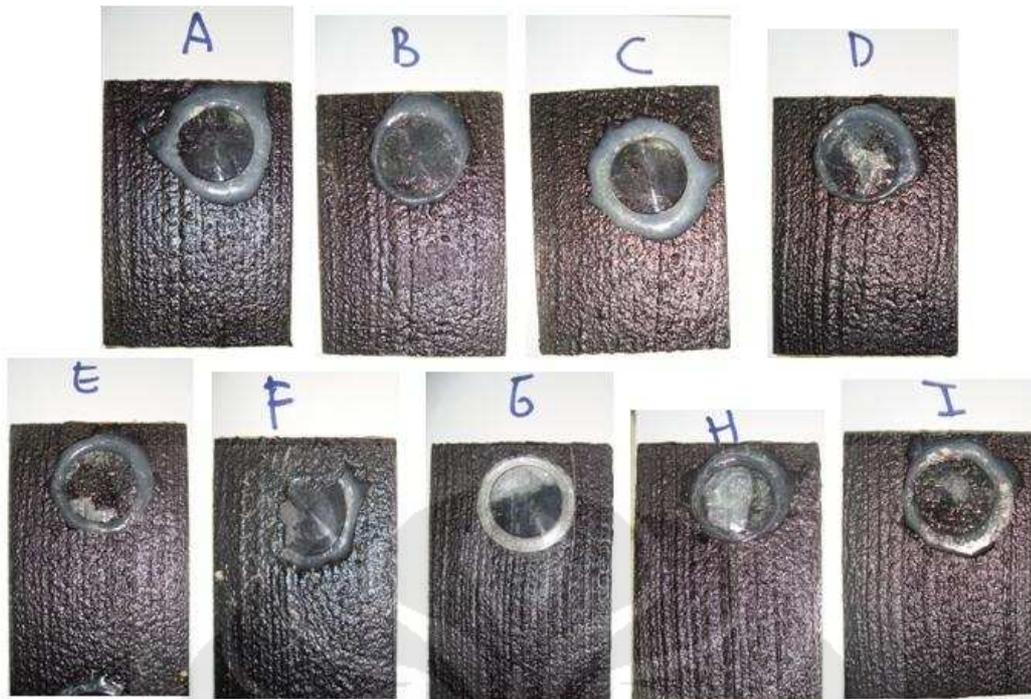
Gambar 4.2. Permukaan Lapisan Film Setelah Uji Sembur Garam Selama 72 Jam



Gambar 4.3. Permukaan Lapisan Film Setelah Uji Sembur Garam Selama 96 Jam

4.4 UJI ADESI

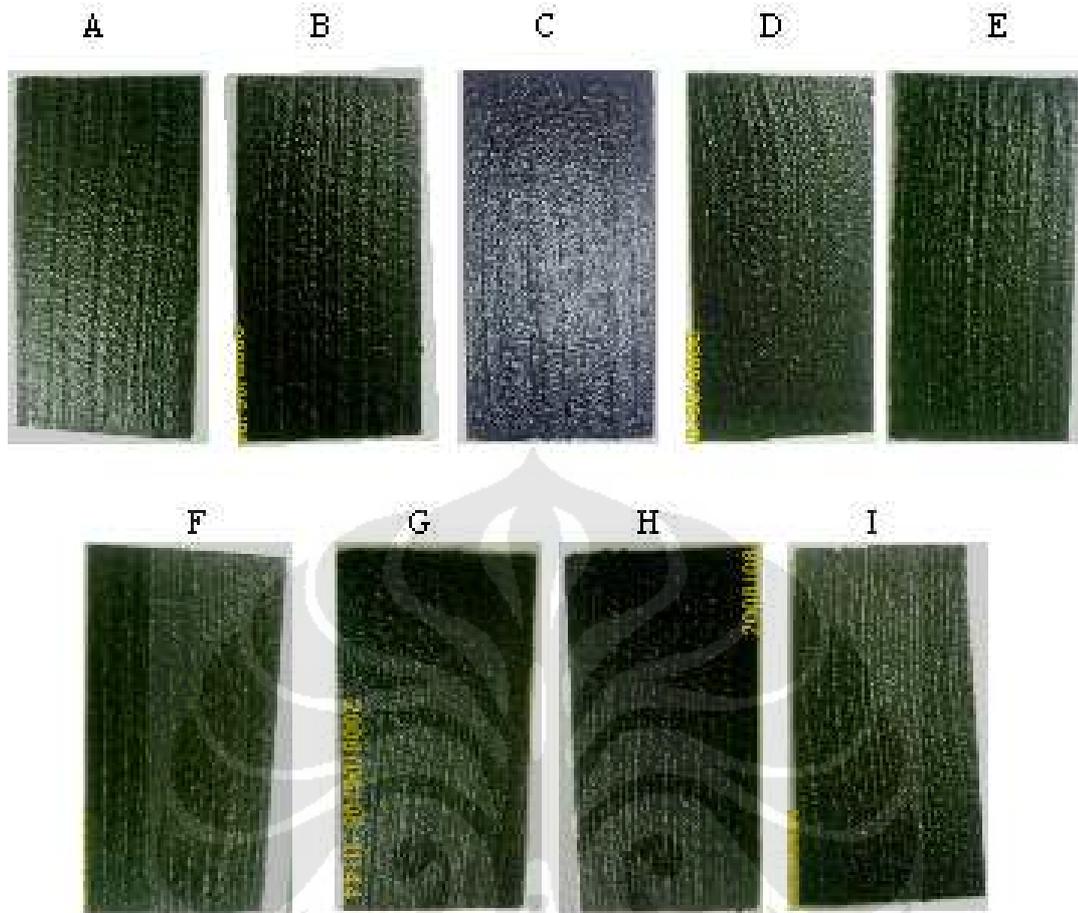
Pengujian adesi dilakukan dengan memberikan beban pada *dolly* yang telah terikat pada permukaan lapisan film untuk melepaskan lapisan film dari permukaan logam dasar. Beban maksimal dari alat yang digunakan ialah sebesar $3,5 \text{ N/mm}^2$. Dari pengujian ini, semua lapisan film yang ada pada semua sampel uji tidak ada yang terangkat dari substrat maupun yang rusak pada lapisan film itu sendiri. Gambar setelah pengujian *pull-off adhesion* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Pemukaan Samepl Uji Setelah Uji Adesi

4.5 UJI KETAHANAN PANAS

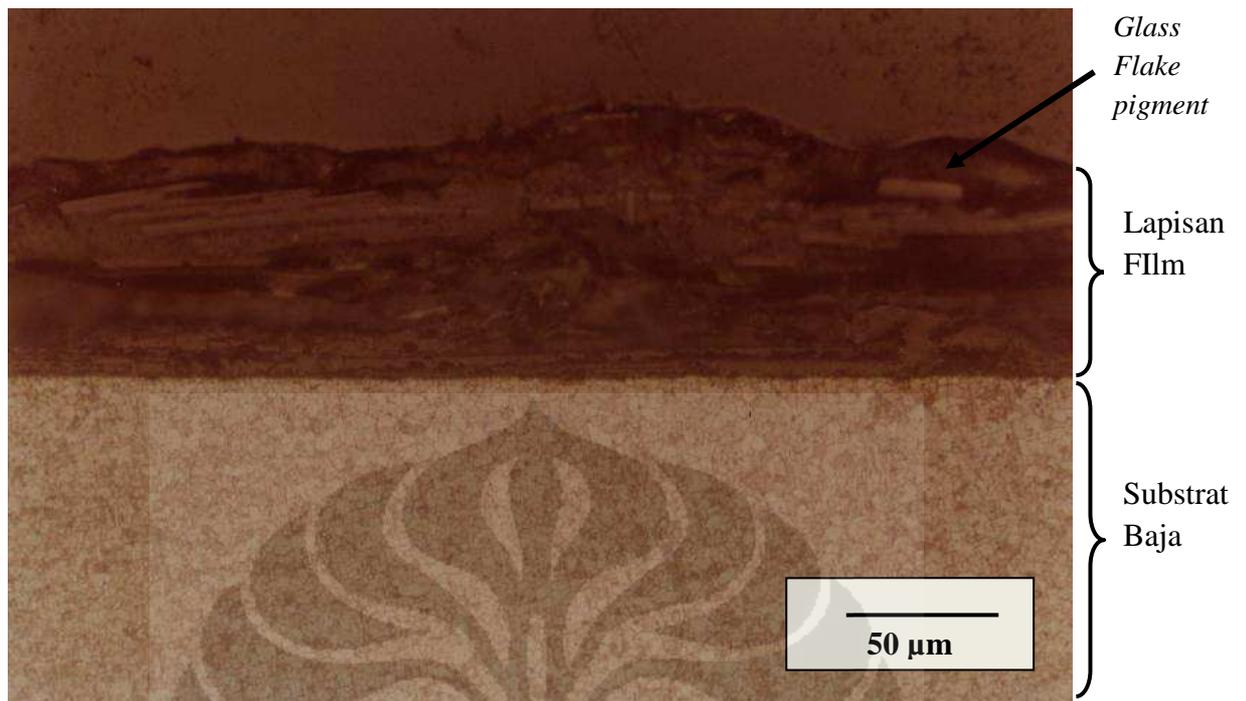
Pengujian ketahanan panas dilakukan dengan memanaskan sampel uji yang telah terlapis *glass flake epoxy* di dalam oven dengan temperatur 150 °C selama 15 menit. Hasil pengamatan visual dari masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Permukaan Lapisan Film Setelah Uji Ketahanan Panas

4.6 PENGAMATAN METALOGRAFI

Pengamatan metalografi dilakukan pada salah satu sampel uji, yaitu Sampel Uji G. Dari pengamatan metalografi yang telah dilakukan, foto lapisan film dan juga lapisan *interface* antara lapisan film dan substrat baja dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Struktur Lapisan Film dan Lapisan *Interface* Antara Lapisan Film dan Substrat (Perbesaran 100x)

BAB V

PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan korosi, kekuatan adesi, dan ketahanan panas dari *organic coating* dengan jenis *glass flake epoxy coating* pada substrat baja karbon. Untuk itu dilakukan beberapa pengujian pada sampel uji yang telah terlapisi *glass flake epoxy coating*. Pengujian yang dilakukan ialah uji sembur garam (*salt spray test*), uji adesi (*pull-off adhesion test*), dan uji ketahanan panas pada temperatur 150 °C selama 15 menit, serta pengamatan mikrostruktur dengan mikroskop optik. Pengukuran ketebalan lapisan, yaitu *dry film thickness measurement*, juga dilakukan untuk mengetahui besar ketebalan lapisan film pada substrat baja.

5.1 UMUM

Di dalam pelapisan *glass flake epoxy*, terdapat dua komponen, yaitu *base* dan *activator*. Karakteristik fisik dari *base* ialah berwarna hitam dan kental. Sedangkan *activator* berwarna bening kecoklatan dan tampak seperti gel. Setelah diukur menurut komposisi volumenya masing-masing, maka kedua komponen tersebut dicampur hingga merata. Kemudian campuran tersebut diaplikasikan pada permukaan sampel uji dengan menggunakan kuas.

Hasil pelapisan organik setelah proses *curing* selama 7 hari dapat dilihat pada Gambar 5.1. Pada gambar tersebut terlihat permukaan lapisan memiliki suatu tekstur dan terlihat tidak rata. Hal tersebut dikarenakan pengaplikasian lapisan organik dilakukan dengan menggunakan kuas (*brush*). Jadi, permukaan sampel uji menjadi tidak rata/memiliki tekstur. Tekstur tersebut memang dapat terjadi dalam pengaplikasian zat lapis organik dengan menggunakan kuas [16].



Gambar 5.1 Permukaan lapisan *glass flake epoxy* pada substrat baja setelah proses *curing* selama 7 hari

Pengukuran ketebalan lapisan dilakukan setelah lapisan kering, di mana pengukurannya dinamakan *dry film thickness measurement*. Dari pengukuran tersebut didapat nilai ketebalan yang berbeda pada masing-masing sampel uji. Namun, hampir 80% dari sampel uji memiliki lapisan dengan ketebalan 0,2 mm (200 μm). Ketebalan ini memang tidak mencapai ketebalan minimum yang biasanya dibutuhkan oleh pelapisan dengan pigmen *glass flake*, yaitu sebesar 500 μm . Hal ini memang dapat terjadi karena pengaplikasian menggunakan kuas memang menghasilkan ketebalan yang rendah sehingga dibutuhkan proses pelapisan selanjutnya [16].

5.2 UJI ADESI

Pengujian adesi pada penelitian ini dilakukan dengan metode *Pull-Off Adhesion Test*, di mana *dolly* yang telah merekat pada permukaan lapisan film diberi beban tarik. Besarnya beban tarik yang membuat lapisan film terlepas dari permukaan substrat merupakan nilai dari kekuatan adesi. Dari pengujian ini didapatkan hasil bahwa pada semua sampel uji tidak ada lapisan film yang terangkat dari substrat baja hingga beban tarik 3,5 N/mm^2 , seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4. Ini berarti bahwa kekuatan adesi dari *glass flake epoxy coating* yang digunakan pada penelitian ini ialah lebih besar dari 3,5 N/mm^2 . Namun tidak dapat diketahui dengan pasti nilainya karena alat yang

digunakan pada penelitian ini hanya memiliki kapasitas beban tarik maksimal sebesar $3,5 \text{ N/mm}^2$.

Kekuatan adesi lapisan film pada substrat dipengaruhi oleh ikatan mekanik dan ikatan kimia antara lapisan film dengan substrat. Dari pengujian adesi ini dapat terjadi pengangkatan lapisan film dari substrat maupun rusaknya lapisan film itu sendiri. Saat lapisan film terangkat dari substrat, maka krusakannya dapat dikatakan sebagai *adhesion failure*. Sedangkan saat ada bagian lapisan film yang terangkat, maka krusakannya dikatakan *cohesive failure* [7].

5.2.1 Pengaruh Perbedaan Grit Amplas Terhadap Kekuatan Adesi

Preparasi permukaan yang telah dilakukan bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang bebas dari kontaminan serta menciptakan kekasaran pada permukaan. Dengan meningkatnya nomor grit amplas, ukuran partikel *abrasive* akan semakin kecil. Partikel yang berukuran kecil akan menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan partikel yang berukuran besar. Permukaan yang lebih kasar akan menghasilkan adesi yang lebih baik [17]. Saat permukaan semakin kasar, maka pori/celah/lubang yang ada pada permukaan substrat semakin dalam sehingga saat pengaplikasian, *coating* dapat masuk ke dalam celah tersebut dan mengikat substrat dengan lebih baik. Maka terjadilah *mechanical interlocking* antara *coating* dan substrat baja. Namun, saat *coating* tidak berpenetrasi dengan baik ke dalam substrat, maka kontak antara *coating* dan substrat menjadi kurang. Hal itu dapat menimbulkan *void* antara *coating* dan substrat di mana udara terjebak di dalamnya [7].

Selain *mechanical interlocking*, untuk terjadi adesi antara *coating* dengan substrat maka juga dibutuhkan *wetting* (pembasahan) oleh *coating* pada permukaan substrat. *Wetting* akan terjadi saat tegangan permukaan *liquid (coating)* lebih kecil dibandingkan tegangan permukaan substrat. Umumnya permukaan logam memiliki tegangan permukaan yang tinggi sehingga *coating* dapat membasahi permukaan substrat. Namun, saat permukaan substrat tidak bersih (terdapat kontaminan), maka *wetting* tersebut dapat terganggu. Karena kontaminan memiliki tegangan permukaan yang rendah, maka proses *wetting* dari

coating pada substrat akan lebih sulit [9]. Hal ini akan mempengaruhi adesi antara *coating* dengan substrat.

Karena pengujian adesi pada penelitian ini hanya menggunakan beban tarik maksimal sebesar $3,5 \text{ N/mm}^2$, maka tidak dapat diketahui besarnya beban yang dapat merusak lapisan film, baik itu kerusakan antara lapisan film dengan substrat maupun pada ikatan film itu sendiri. Dan juga penelitian ini belum dapat membuktikan pengaruh preparasi permukaan dengan penggunaan perbedaan grit amplas yang berbeda terhadap kekuatan adesi lapisan film. Namun, pada penelitian yang dilakukan oleh Khanna [3], kekuatan adesi dari *glass flake epoxy coating* dengan kandungan 5 %pigmen ialah sebesar $1,09 \text{ N/mm}^2$.

5.2.2 Pengaruh Perbedaan Rasio Komposisi Pencampuran Resin dan Hardener Terhadap kekuatan Adesi Lapisan

Pada penelitian ini belum bisa diperlihatkan pengaruh perbedaan rasio komposisi pencampuran *base* dan *activator* terhadap kekuatan adesi lapisan film pada substrat baja. Namun, sistem pelapisan *amine-cured epoxy* merupakan *coating* yang memiliki kekuatan adesi yang sangat baik pada substrat baja [11].

Selain ikatan mekanik, kekuatan adesi *coating* pada substrat baja dipengaruhi oleh ikatan kimia yang terjadi antara *coating* dengan substrat baja. Ikatan kimia tersebut dapat terjadi apabila terdapat suatu *reactive chemical group* yang dapat berikatan kuat pada permukaan substrat dan juga pada *coating* [7]. *Silane* yang terdapat pada komponen *activator* pada sistem *glass flake epoxy* yang digunakan pada penelitian ini merupakan zat reaktif tersebut. Unsur *Silicone* reaktif terhadap uap air. Sehingga bila bertemu maka akan bereaksi dan membentuk membentuk suatu gugus fungsi yang nantinya bila bertemu permukaan logam akan membentuk ikatan yang kuat dengan logam [18]. Jadi *silane* akan berikatan kuat dengan *base* dan juga dengan permukaan baja.

Untuk membentuk ikatan yang kuat, baik di dalam lapisan film itu sendiri maupun *coating* dengan substrat, maka proses *crosslinking* yang terjadi antara *base* dan *activator* harus berjalan dengan baik. Jadi, komposisi pencampuran antara *base* dan *activator* harus tepat agar sifat adesi yang baik yang dimiliki *epoxy coating* dapat tercapai.

Rasio komposisi pencampuran dari *base* dan *activator* merupakan rasio perbandingan antara berat ekuivalen kedua zat tersebut. Di mana berat ekuivalen suatu polimer merupakan berat molekulnya dibagi jumlah *primary reactive functional group* yang ada pada polimer tersebut [9]. Dalam hal ini cincin *epoxy* merupakan *primary reactive functional group* yang ada pada resin *epoxy*. Rasio pencampuran tersebut dilakukan untuk menghasilkan proses *crosslinking* yang sempurna antara *base* dan *activator*. Dengan begitu akan didapat sifat-sifat yang diinginkan dari sistem tersebut. Apabila terdapat kelebihan pada salah satu komponen, baik *activator* maupun *base*, maka proses *crosslinking* akan berjalan tidak sempurna karena ada komponen yang tidak bereaksi dengan komponen lainnya. Hal itu membuat sifat mekanik dari sistem pelapisan akan menurun [19].

Untuk sistem *glass flake epoxy coating* yang digunakan pada penelitian ini rasio pencampuran *base* dan *aktivatornya* ialah sebesar 3,5:1. Berarti komposisi pencampuran tersebut merupakan komposisi yang tepat untuk membuat proses *crosslinking* berjalan sempurna sehingga mendapatkan sifat fisik dan mekanik yang diinginkan.

5.3 UJI SEMBUR GARAM (SALT SPRAY TEST)

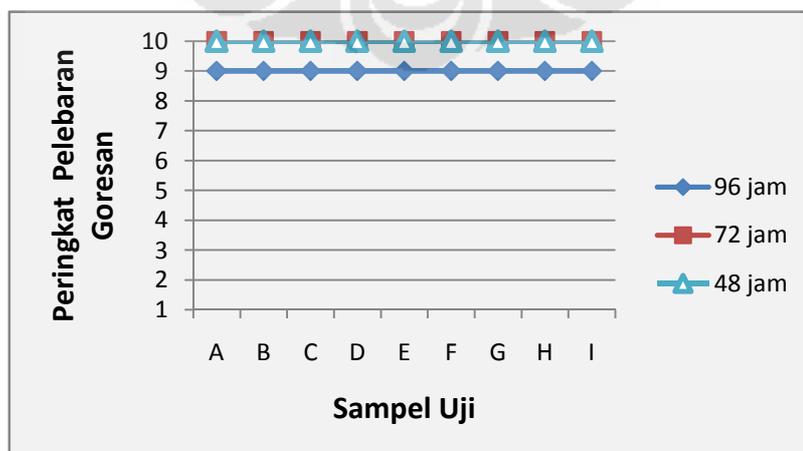
Pengujian sembur garam dilakukan untuk mengetahui ketahanan korosi dari pelapisan *glass flake epoxy* pada substrat baja. Goresan diagonal yang dibuat pada lapisan hingga permukaan substrat terlihat digunakan sebagai tempat inisiasi korosi. Menurut literatur [8], korosi akan terjadi di bawah lapisan film pada sisi lapisan yang rusak dan sisi dekat lapisan yang rusak. Hal itu dapat membuat *coating* tidak lagi dapat memproteksi substrat dengan baik. Gambar 4.1 hingga 4.3 menunjukkan pengamatan visual dari permukaan lapisan yang telah terpapar semburan garam selama 48, 72, dan 96 jam.

Permukaan lapisan pada tiap-tiap sampel setelah pengujian *salt spray* tidak ada yang mengalami *blistering* (pelepuhan). Pigmen *glass flake* yang ada di dalam lapisan film, seperti yang terlihat pada Gambar 4.6, membuat oksigen, uap air, serta garam NaCl sulit untuk berpenetrasi ke dalam permukaan substrat baja. Karena pigmen tersebut membuat suatu lapisan padat yang bertumpuk-tumpuk

satu sama lain sehingga membuat suatu mekanisme penghalangan untuk masuknya air dan zat kimia lainnya [6].

Dari masing-masing waktu pengamatan, didapat hasil pelebaran goresan pada masing-masing sampel uji, yang ditunjukkan oleh Tabel 4.3. Dari hasil tersebut terlihat bahwa untuk waktu pemaparan 48 dan 72 jam, tidak terjadi perubahan lebar goresan pada masing-masing sampel uji yang memiliki proses preparasi permukaan dan komposisi lapisan yang berbeda-beda. Itu berarti tidak ada lapisan film yang terkelupas dari substrat baja. Sedangkan untuk waktu pemaparan 96 jam, terdapat penambahan lebar goresan yang berbeda-beda pada tiap-tiap sampel uji. Penambahan lebar goresan terkecil ialah sebesar 0,04 mm yang terjadi pada sampel uji C. Dan pelebaran goresan terbesar ialah sebesar 0,12 mm yang terjadi pada sampel uji B.

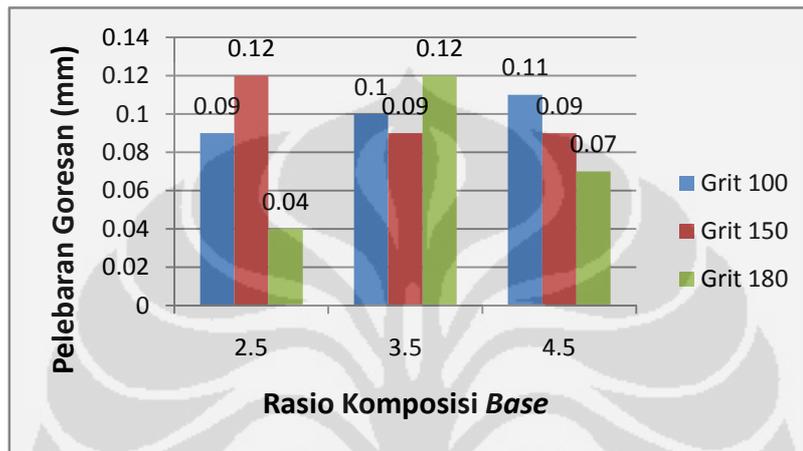
Setelah dilakukan evaluasi menurut ASTM B 117-05 maka didapat hasil berupa grafik antara sampel uji dengan peringkat pelebaran goresan, yang dapat dilihat pada Gambar 5.2. Dari grafik tersebut terlihat bahwa untuk pemaparan selama kurun waktu 48 dan 72 jam, nilai peringkat pelebaran goresan dari semua sampel uji ialah 10. Sedangkan untuk waktu pemaparan selama 96 jam, nilainya ialah 9. Menurut penelitian yang dilakukan oleh A.S.Khanna [3], nilai peringkat pelebaran goresan setelah waktu pemaparan 2000 jam ialah 10. Hal itu menandakan bahwa sistem pelapisan *glass flake epoxy* pada substrat baja dapat digunakan di lingkungan garam NaCl.



Gambar 5.2. Perankingan Hasil Uji Sembur Garam

5.3.1 Pengaruh Perbedaan Grit Amplas Terhadap Ketahanan Korosi

Dari hasil pengujian sembur garam dibuat grafik antara komposisi *base* dengan pelebaran goresan untuk masing-masing grit amplas. Karena untuk waktu pemaparan 48 dan 72 jam tidak ada perbedaan lebar goresan, maka hanya dibuat grafik untuk waktu pemaparan 96 jam seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.3. Dari grafik tersebut terlihat perbedaan hasil pada masing-masing komposisi *base*.



Gambar 5.3. Hubungan Antara Perbedaan Grit Amplas dan Pelebaran Goresan pada Masing-masing Rasio Komposisi *Base* untuk Waktu Pemaparan 96 jam

Untuk komposisi *base* sebesar 2,5, nilai pelebaran goresan bertambah dengan bertambahnya nomor grit amplas. Namun pada grit 180 nilainya menurun. Untuk komposisi *base* sebesar 3,5, nilai pelebaran goresan meningkat dari grit 100 ke grit 180. Namun pada grit 150 nilainya mengalami penurunan. Dan untuk komposisi *base* sebesar 4,5, nilai pelebaran goresan terus menurun dengan meningkatnya nomor grit amplas. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Yusuf [20], semakin besar nomor grit amplas, maka nilai pelebaran goresan akan semakin meningkat.

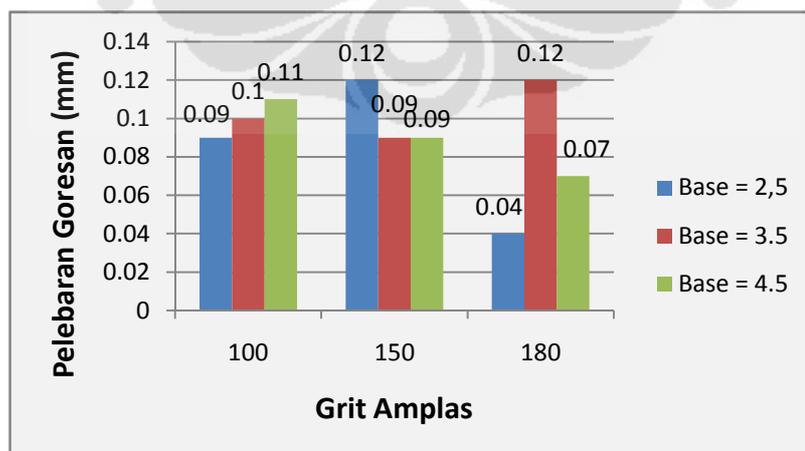
Permukaan substrat pada daerah goresan yang terpapar langsung oleh semburan garam akan mengalami korosi. Produk korosi tersebut terus terbentuk sehingga menutupi bagian *coating* yang cacat, dan merusak ikatan antara *coating* dengan substrat sehingga terjadi *blistering*. Hal itu dapat menyebabkan peristiwa *cathodic delamination* (kehilangan adesi) pada lapisan film di sekitar daerah

goresan [8]. Namun karena adesi lapisan organik dengan substrat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan, maka dengan permukaan yang kasar, lapisan organik dapat merekat lebih baik dibandingkan dengan permukaan yang halus [9]. Sehingga karat tidak mudah merusak *mechanical interlocking* antara lapisan film dengan substrat.

Hasil pengujian yang menunjukkan penurunan nilai pelebaran goresan dengan meningkatnya nomor grit amplas mungkin disebabkan oleh faktor tertentu. Pada proses preparasi permukaan yang telah dilakukan, hanya proses pengamplasan yang diaplikasikan pada substrat. Jadi kemungkinan celah/pori pada permukaan substrat yang kasar terisi oleh kontaminan hasil pengamplasan. Sehingga lapisan film tidak merekat kuat pada substrat.

5.3.2 Pengaruh Perbedaan Rasio Komposisi Pencampuran Resin dan Hardener Terhadap Ketahanan Korosi

Hubungan antara komposisi *base* dengan nilai pelebaran goresan dapat dilihat pada Gambar 5.4. Pada grit 100, dengan meningkatnya komposisi *base*, nilai pelebaran goresan semakin meningkat. Hal yang sama juga terlihat pada grit 180, namun terjadi penurunan nilai pada komposisi *base* 4,5. Pada grit 150, nilai pelebaran goresan menurun pada komposisi 3,5, dan naik kembali pada komposisi 4,5.



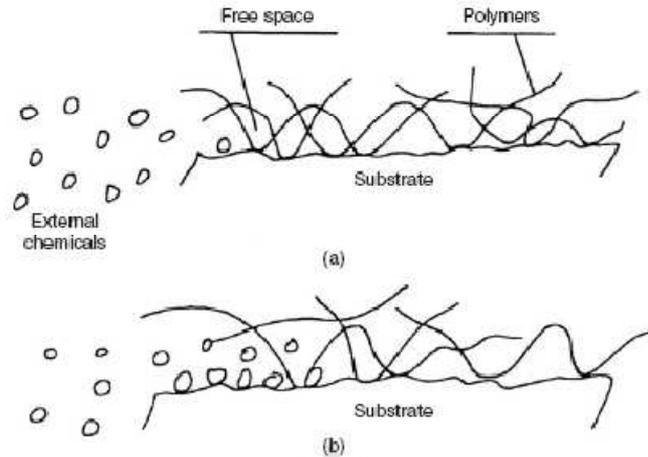
Gambar 5.4. Hubungan Antara Perbedaan Komposisi *Base* dan Pelebaran Goresan pada Masing-masing Grit Amplas untuk Waktu Pemaparan 96 jam

Untuk membentuk lapisan proteksi pada substrat, maka *coating* harus memiliki ikatan yang kuat, baik di dalam *coating* itu sendiri maupun *coating* dengan substrat. Dengan proses *crosslinking* yang terjadi saat *base* direaksikan dengan *activator*, maka akan terbentuk *cured-resin* (lapisan film) di mana ikatan yang terjadi didalamnya kuat sehingga memberikan sifat-sifat yang diinginkan untuk memproteksi substrat, seperti tahan terhadap uap air dan zat kimia [11]. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya, proses *crosslinking* yang tidak sempurna akan menghasilkan sifat mekanik yang juga tidak sebaik yang diinginkan.

Sifat proteksi korosi dari *coating* pada substrat dapat dilihat dari ketahanannya terhadap uap air, oksigen, maupun zat-zat lainnya yang dapat berpenetrasi ke dalam substrat [8]. Apabila mudah berpenetrasi ke dalam *coating* sehingga menyentuh substrat logam, maka lama-kelamaan zat-zat tersebut akan terakumulasi pada lapisan *interface* antara *coating* dengan substrat. Hal ini dapat merusak ikatan antara *coating* dengan substrat sehingga *coating* kehilangan adhesinya pada substrat. Peristiwa ini dapat menyebabkan *coating* mengalami *blistering* (pelepuhan) yang dapat meluas ke daerah sekitarnya, sehingga *coating* tidak lagi melindungi substrat dengan baik.

Pada penelitian ini, peristiwa *blistering* tersebut tidak terjadi pada satupun lapisan pada semua sampel uji setelah pengujian sembur garam. Hal ini dimungkinkan oleh adanya pigmen penghalang berupa *micro glass flake* yang terkandung di dalam *coating*. Jadi uap air, oksigen, serta garam sulit berpenetrasi ke dalam *coating* sehingga zat-zat tersebut sulit untuk mencapai substrat baja. Selain itu, sifat dari resin *epoxy* itu sendiri sudah memiliki ketahanan yang baik terhadap uap air dan zat-zat kimia [6].

Amine-cured epoxy merupakan sistem yang memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap air dan larutan garam [20]. Namun, saat permukaan lapisan film ada yang tergores sehingga substrat terpapar langsung oleh lingkungan di mana substrat itu berada, maka uap air, oksigen, dan zat-zat lainnya akan dengan mudahnya masuk ke dalam lapisan *interface*. Hal itu akan membuat ikatan antara *coating* dan substrat rusak, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.5. Hal ini dapat diperparah saat *amine-cured epoxy* yang terbentuk tidak sempurna sehingga ikatan pada *interface* akan lebih mudah rusak.



Gambar 5.5. Rusaknya Ikatan pada *Interface* pada sisi lapisan film yang rusak karena zat dari lingkungan. (a) *Coating* berada pada substrat; (b) *coating* terlepas dari substrat. [10]

Dari Gambar 5.4 terlihat bahwa nilai pelebaran goresan tertinggi ialah pada sampel uji dengan lapisan yang memiliki rasio komposisi *base* sebesar 3,5. Seharusnya rasio komposisi tersebut, yang merupakan rasio komposisi yang diberikan dari produsen *coating* yang digunakan pada penelitian ini, memberikan hasil yang paling baik dibandingkan dengan rasio komposisi lainnya. Hasil yang didapat tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor keberhasilan saat pengaplikasian *coating* pada substrat. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya, saat *coating* tidak berpenetrasi sempurna ke dalam celah pada permukaan substrat, maka akan terdapat *void* antara *coating* dan substrat. Sehingga akan mempermudah rusaknya ikatan antara *coating* dengan substrat.

5.4 Uji Ketahanan Panas

Setelah pemanasan pada temperatur 150 °C selama 15 menit di dalam oven pemanas, lapisan film pada semua sampel uji tidak mengalami kerusakan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.5. Material *thermoset coating* itu sendiri biasanya dapat digunakan untuk aplikasi temperatur yang tidak terlalu tinggi [10].

Menurut penelitian yang dilakukan Yusuf [20], parameter dalam pengujian ketahanan panas ialah terbentuknya *pin hole* (lubang jarum) pada permukaan

lapisan film dan juga pengelupasan lapisan film dari substrat. *Pin hole* dapat terjadi akibat adanya gas atau uap air yang terperangkap saat proses pengaplikasian *coating* pada permukaan substrat logam. Gas-gas yang terperangkap tersebut dapat berasal dari bahan-bahan yang mudah menguap, seperti *solvent*. Sedangkan pengelupasan lapisan film dapat disebabkan oleh preparasi permukaan yang kurang sempurna serta tidak sempurnanya proses pengeringan (*curing*) dari lapisan film.

Saat material diberi panas, maka vibrasi dari atom-atom yang ada di dalamnya meningkat. Apabila panas yang diberikan mencapai intensitas tertentu, maka vibrasi tersebut akan meningkat sehingga akan merusak ikatan yang ada di dalam material. Rusaknya ikatan tersebut akan mengurangi sifat mekanik dari material itu sendiri. [21]

Untuk waktu yang tidak terlalu lama (beberapa menit atau beberapa jam), *amine-cured epoxy* memiliki ketahanan panas yang sangat baik terhadap temperatur tinggi. Saat pemaparan panas tersebut, mobilitas dari molekul-molekul yang ada di dalamnya akan meningkat. Dan saat waktu pemaparan meningkat, maka ikatan yang ada di dalam *coating* maupun ikatan *coating* dengan substrat akan menjadi lemah. *Coating* akan menjadi getas dan akan kehilangan kekuatan kohesinya. Selain itu, saat waktu pemanasan meningkat, maka penetrasi dari zat kimia serta uap air juga akan meningkat karena ikatan di dalam *coating* yang lemah akibat pemanasan. [10]

Kecepatan terdegradasinya ikatan yang ada di dalam *coating* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti temperatur, jenis *coating*, dan jenis substrat [10]. Karena pada penelitian ini lapisan film tidak ada yang mengalami kerusakan, maka berarti temperatur 150 °C merupakan temperatur yang masih dapat diaplikasikan pada *glass flake epoxy coating* yang digunakan pada penelitian ini. Pigmen *micro glass flake* yang ada di dalamnya memang diperuntukkan bagi aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap temperatur tinggi. Pigmen tersebut memiliki koefisien ekspansi termal yang rendah sehingga memungkinkannya memiliki adesi yang baik saat terkena *thermal shock* [6].