

Pengaruh Waktu Celup Terhadap Sifat Adhesive, Ketebalan, Dan Ketahanan Korosi Lapisan Pada Baja API 5L Grade B Dengan Metode Hot Dip Galfan (Zn-5% Al)

Ibrahim, Agung Purniawan, Wikan Jatimurti

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: agung_pur@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Baja menjadi sangat mudah terkorosi ketika berada dalam lingkungan yang korosif. Coating merupakan salah satu metode proteksi korosi untuk baja. Coating menggunakan metode hot dip galfan dapat dijadikan solusi untuk proteksi korosi pada baja. Kualitas hasil coating ditentukan oleh beberapa factor diantaranya adalah sifat adhesive, ketebalan dan ketahanan korosi, dimana ketiganya dipengaruhi oleh waktu pencelupan. Penelitian ini menganalisis pengaruh waktu celup terhadap sifat adhesive, ketebalan, dan ketahanan korosi lapisan. Waktu celup yang digunakan adalah 1,5,9, dan 13 meni pada temperatur 450oC. Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian SEM, Metallography, XRD, Thickness Test, Adhesive Test, dan Weight loss. Berdasarkan hasil pengujian, nilai ketebalan maksimum adalah 288.9µm, nilai kekuatan adhesive maksimum adalah 8,05 Mpa, dan nilai ketahanan korosi yang paling optimum adalah 0.0229mmpy. Nilai ketebalan dan sifat adhesive yang dihasilkan dipengaruhi oleh intermetallic layer yang terbentuk. Waktu pencelupan 1 menit memiliki struktur mikro intermetallic layer yang berbeda dibandingkan dengan variable waktu celup yang lainnya. Senyawa intermetallic yang terbentuk adalah Fe2Al5.

Kata Kunci—Hot dip Zn-5%Al, waktu celup, Ketebalan, Sifat Adhesive, Ketahanan korosi

I. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas merupakan industri sumber daya Energi terbesar di dunia. Kebutuhan minyak dan gas yang terus meningkat setiap tahunnya menjadi alasan bagi industri minyak dan gas di dunia secara terus menerus melakukan proses eksplorasi dan eksploitasi sumber daya minyak dan gas. Pertumbuhan industri minyak dan gas di Indonesia sangatlah cepat. Dalam dunia industri minyak dan gas, peristiwa korosi merupakan peristiwa yang sangat sering terjadi. Korosi adalah kerusakan pada suatu material akibat bereaksi dengan lingkungan [1]. Pipa penyalur merupakan salah satu komponen yang sangat dibutuhkan dalam industri minyak dan gas. Salah satu jenis baja yang digunakan untuk aplikasi *pipeline* adalah Baja API 5L. Kehadiran korosi dalam pipa penyalur yang terbuat dari logam (baja) di dunia industri minyak dan gas ini sendiri merupakan hal yang tidak diinginkan karena sangat merugikan, baik dari segi ekonomi ataupun keselamatan kerja. Miliaran dolar yang dihabiskan setiap tahunnya untuk mengganti struktur, mesin, dan komponen, yang terkorosi termasuk atap logam, tabung kondensor, pipa, dan banyak item

lain [2]. Salah satu penyebab korosi adalah faktor lingkungan, lingkungan yang korosif dapat mengakibatkan logam terkorosi.

Baja merupakan logam yang sangat sering digunakan dalam komponen-komponen alat di dunia industri minyak dan gas. Dalam aplikasinya di industri minyak dan gas baja digunakan hampir di semua komponen peralatan yang digunakan, diantaranya adalah pipa penyalur, Storage tank, konstruksi platform offshore, dan lain sebagainya. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem proteksi bagi baja yang digunakan oleh industry minyak dan gas dalam lingkungan yang korosif. Ada banyak cara yang digunakan untuk memproteksi baja dari korosi, diantaranya adalah coating (pelapisan). Coating atau pelapisan adalah cara yang paling sering digunakan untuk mengatasi korosi [3].

Hot Dip galvanizing merupakan salah satu metode teknik pelapisan (coating) dengan menggunakan konsep anoda tumbal untuk melindungi suatu logam dari korosi. *Hot Dip Galvanizing* menggunakan unsur Seng (Zn) sebagai anoda tumbal untuk memproteksi baja dari korosi. Dengan metode *Hot Dip* ini sering digunakan untuk material-material (baja) yang berukuran besar seperti pipa, plat, dan lain sebagainya. Penggunaan Seng (Zn) sebagai anoda tumbal dikarenakan Seng (Zn) memiliki nilai potensial elektroda yang lebih rendah dibandingkan dengan baja sehingga baja terproteksi dari korosi dalam lingkungan yang korosif. *Hot dip galvanizing* adalah proses pelapisan baja menggunakan pelapis logam yang memiliki titik lebur lebih rendah dari pada titik lebur baja. Proses galvanizing digunakan cara pencelupan baja ke dalam lelehan *zinc* pada temperatur 450oC sehingga terbentuk ikatan metalurgi antara zinc cair dengan permukaan baja menghasilkan lapisan intermetalik paduan Fe – Zn [4].

Dalam penelitian kali ini Hot Dip Galvanizing ditambahkan dengan 5% unsur aluminium (Al) dengan variasi waktu pencelupan. Penggunaan unsur aluminium karena aluminium memiliki kemampuan proteksi yang lebih baik dari seng (Zn). Anoda korban aluminium mempunyai kelebihan yaitu reliability yang lebih lama dan juga mempunyai karakteristik arus dan berat yang lebih ringan dibandingkan dengan anoda korban paduan seng [5].

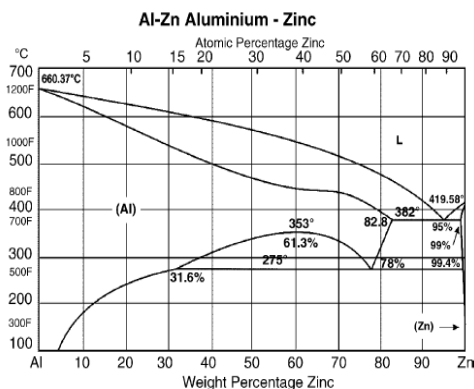
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Hot Dip Galvan

Perlindungan korosi struktur di bawah tanah ataupun di atas tanah dengan menggunakan metode pelapisan adalah salah satu dari beberapa metode yang ada. Metode lain termasuk proteksi katodik, modifikasi lingkungan, pemilihan dan desain material. Pelapisan yang memiliki ketahanan korosi yang baik harus memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Memiliki nilai kerekatan yang tinggi
- Diskontinuitas minimum pada pelapisan (porositas)
- Ketahanan terhadap aliran electron yang tinggi
- Ketebalan yang cukup
- Laju difusi ion seperti Cl^- dan H_2O yang rendah [6].

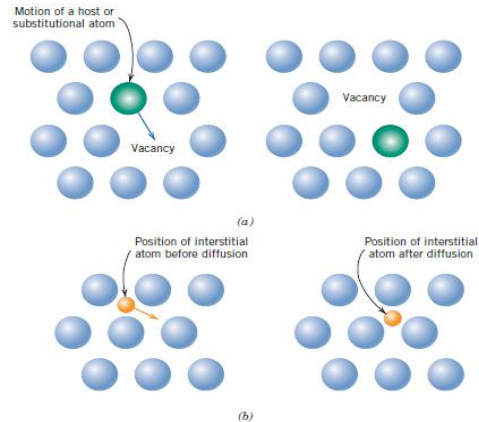
Alumunium adalah logam yang ringan,, ketahanan korosi dari suatu material menjadi lebih baik jika dipadukan dengan alumunium, dipengaruhi oleh komposisinya, menjadi paduan yang kuat dengan perlakuan panas atau *cold work*. Diantara keuntungan untuk aplikasi khusus adalah kepadatan rendah, ketahanan korosi yang baik, kemudahan fabrikasi, dan keragaman bentuk. Alumunium jika digunakan dalam jumlah yang besar maka memperbaiki sifat ketahanan korosi. Hal ini menyebabkan pelapisan Zn-Al dikembangkan, dengan mengkombinasikan ketahanan korosi yang baik dari Al dan proteksi galvanik dari Zinc. Dewasa ini, paduan hot dip galvanizing dengan 5% dan 55% Al sudah muali banyak digunakan. Paduan 5% Al memiliki beberapa keuntungan penting yang bisa ditawarkan, yang pertama adalah karena komposisi eutektiknya, dan memiliki temperature leleh yang rendah yaitu 382°C dan memiliki fluiditas yang tinggi. Yang kedua adalah, *coating* memiliki keuletan yang tinggi [7]. Proses solidifikasi pada lapisan galvan diawali dengan proses pengintian fasa (*nucleation*) selanjutnya fasa tumbuh (*growth*), proses ini terjadi di antara substrat dengan logam cair.



Gambar 1. Diagram Fasa Al-Zn [8].

B. Difusi

Dalam proses *hot dipping*, ketika substrat logam dicelupkan ke dalam logam cair, lapisan paduan terbentuk pada *interface* dengan difusi dari kedua substrat logam dan logam cair. Pelekatan dari hasil pelapisan dari lapisan antara lapisan paduan. Kondisi dari lapisan paduan sangat mempengaruhi kekuatan mekanik dan sifat kimia dari lapisan *coating*, jadi lapisan paduan ditentukan berdasarkan tujuan dari penggunaannya [2].



Gambar 2. Mekanisme Difusi Vakansi dan Difusi Interstisi.

Difusi pada solid dapat terjadi apabila atom-atom di dalamnya memiliki cukup energy untuk berpindah dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah hingga mencapai sebuah kesetimbangan/homogeny. Umumnya difusi pada solid dibagi atas beberapa jenis, ada yang berdasarkan proses terjadinya, maupun mekanisme terjadinya. Berdasarkan proses terjadinya difusi pada solid terbagi menjadi dua jenis yaitu Interdifusi dan self diffusion, sedangkan berdasarkan mekanismenya difusi pada solid terbagi atas dua jenis yaitu difusi Interstisi dan difusi substitusi. Difusi vakansi dan substitusi, Difusi vakansi merupakan difusi yang terjadi akibat adanya vakansi pada atom sehingga kekosongan atom tersebut diisi oleh atom dari material lain, kekosongan atom tersebut dapat terjadi saat atom terkena radikal bebas ataupun kehabisan energy saat bergerak ke tempat lain. Difusi substitusi adalah mekanisme difusi dimana atom-atom suatu material bertukar posisi dengan atom-atom dari material lain [9].

III. METODE PENELITIAN

A. Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja API 5L Grade B, anode Seng, dan Alumunium.

B. Preparasi

Preparasi pada penelitian ini meliputi preparasi spesimen uji (Baja API 5L Grade B) yaitu dengan memotong specimen dengan dimensi $5 \times 3 \times 0.3$ cm dan menghilangkan pengotor seperti *scale*, produk korosi, dan lain-lain dengan metode *grinding*.

C. Pengujian-pengujian

Pengujian-pengujian yang dilakukan pada penelitian ini antara lain pengujian *weight loss*, SEM (Scanning Electron Microscope), *Metallography*, *Thickness Test*, *Adhesive Test* dan XRD (X-Ray Diffraction).

Pengujian *weight loss* dilakukan dengan waktu perendaman selama sepuluh hari di dalam lingkungan NaCl 3,5%. Sebelum melakukan perendaman dan pemutaran spesimen ditimbang massa awal dan luas area yang tercelup. Setelah perendaman selama 10 hari, produk korosi yang terbentuk kemudian dibersihkan dengan teknik *brushing* dan ditimbang kembali sebagai massa akhir. Selisih massa ini kemudian dapat diketahui laju korosi baja tersebut dengan persamaan

$$\text{Laju korosi (CR)} = \frac{K \times W}{A \times t \times D}$$

Dengan, CR adalah laju korosi (mm/y), K adalah konstanta (8.76×10^4), W adalah selisih massa awal dan akhir (gram),

A adalah luas area yang tercelup (cm^2), T adalah waktu ekspos (jam), dan D adalah Massa jenis spesimen (g/cm^3).

Pengujian menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) untuk mengetahui ketebalan dari lapisan hasil hot dip dari Zn-5%Al serta untuk karakterisasi morfologi lapisan coating, pengujian dilakukan dengan alat uji SEM dagang FEI Inspect S50.

Pengujian menggunakan mikroskop optic bertujuan untuk mengetahui bagaimana struktur mikro dari *layer-layer* yang terbentuk ketika proses pelapisan. Pengujian ini menggunakan larutan etsa berupa 5% HNO_3 dan 95% methanol dan menggunakan kertas gosok *grade* 80-2000 untuk proses *grinding* dengan perbesaran gambar 10x dan 20x perbesaran.

Pengujian ketebalan deposit lapisan hasil coating yang terbentuk setelah proses hot dip. Pengujian ketebalan deposit lapisan coating dilakukan dengan menggunakan alat uji ketebalan DFT (*Dry-Film Thickness*). Pengukuran ketebalan dilakukan pada tiga titik yaitu pada setiap ujung spesimen dan titik tengah dari spesimen. Pengukuran tiga titik dilakukan agar didapatkan sebaran ketebalan di seluruh permukaan spesimen.

Pengujian kelekatan lapisan coating terhadap benda kerja yang dilapisinya. dilakukan dengan melakukan uji pull-off menggunakan alat PosiTest AT-M Adhesion Tester.

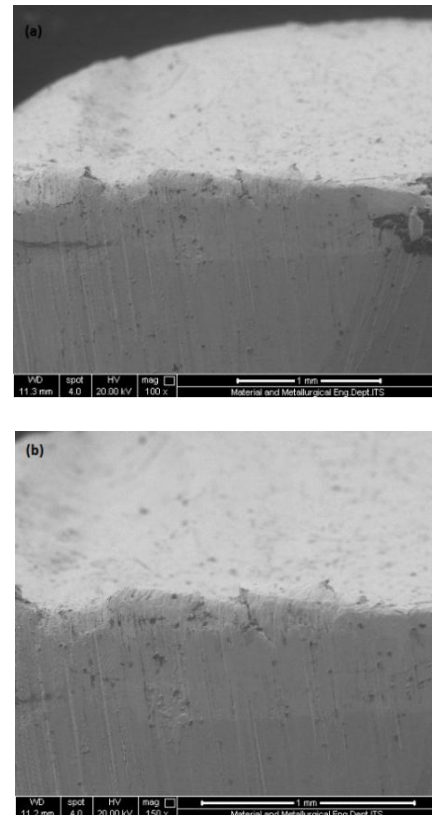
Pengamatan dengan menggunakan alat X-ray Diffraction (XRD) bertujuan untuk mengkarakterisasi senyawa intermetallic dan senyawa-senyawa lain yang terbentuk dipermukaan baja akibat proses pelapisan. Prinsip kerja dari alat XRD adalah dengan

memanfaatkan radiasi sinar-x yang ditembakkan ke specimen uji dengan sudut tertentu.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengamatan Mikro

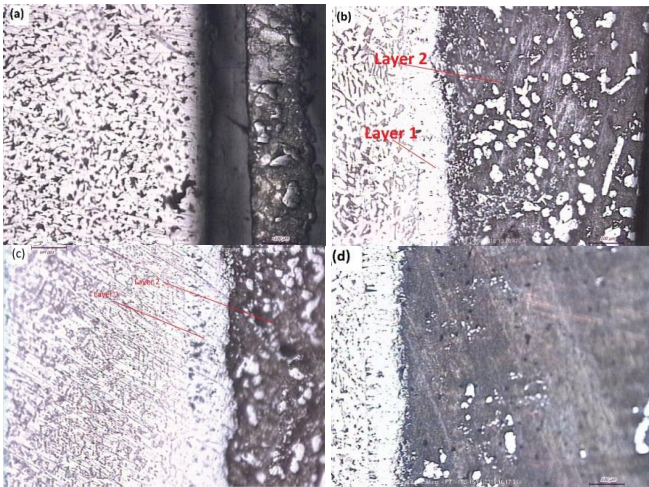
Pengamatan dengan skala mikro ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui morfologi dan struktur mikro lapisan galvan yang terdeposit ke dalam substrat spesimen uji. Pengamatan secara mikro ini dilakukan terhadap tampak melintang (*cross section*) pada lapisan galvan. Hasil pengamatan mikro dengan SEM dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Gambar Cross Section dengan Perbesaran 100x (b) Perbesaran 150x waktu celup 5 menit dengan menggunakan SEM

Hasil pengamatan mikro menunjukkan lapisan galvan terdeposit dengan baik artinya tidak ada rongga yang terbentuk di antara spesimen uji (baja) dengan lapisan galvan. Lapisan galvan yang terbentuk jika dilihat pada Gambar 3 berwarna lebih terang sedangkan spesimen uji (baja) yang berwarna lebih gelap.

Analisis skala mikro juga dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik (*metallography*), hal ini dilakukan untuk menganalisis struktur mikro pada *layer-layer* yang terbentuk selama proses pelapisan. Hasil pengamatan menggunakan mikroskop optik dapat dilihat pada Gambar 4.

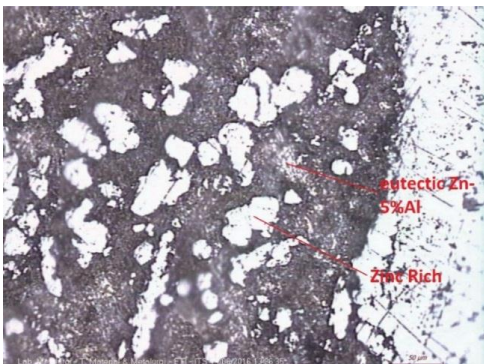


Gambar 4. Struktur Mikro Galvanic Coating untuk Semua Variabel (a) 1 Menit, (b) 5 Menit, (c) 9 Menit, (d) 13 Menit dengan Perbesaran 10x

Judul gambar harus diletakkan pada bagian bawah dari Layer 1 merupakan lapisan yang paling dekat dengan substrat baja. layer 1 ini merupakan lapisan intermetallic yang terbentuk dengan mekanisme difusi atom. Peristiwa difusi atom ini terjadi akibat adanya gradient (perbedaan) konsentrasi atom-atom, selain itu peristiwa difusi ini juga disebabkan oleh adanya panas yang diberikan ketika proses aplikasi coating, sehingga panas menjadi energi bagi atom-atom untuk berdifusi.

Proses difusi pada atom Al berdifusi dari molten metal ke dalam permukaan baja. Mekanisme difusi atom Al adalah substitusi solid solution, dengan memanfaatkan vakansi (kekosongan) atom pada struktur kristal. Difusi substitusi ini terjadi karena jari-jari atom Fe dengan Al tidak jauh berbeda, nilai electron valensi Al lebih kecil dari Fe, keelektronegatifan Al lebih kecil dibandingkan keelektronegatifan Fe. Substitusi solid solution terjadi apabila jari-jari atom berukuran hampir sama (tidak lebih dari 15%) [10].

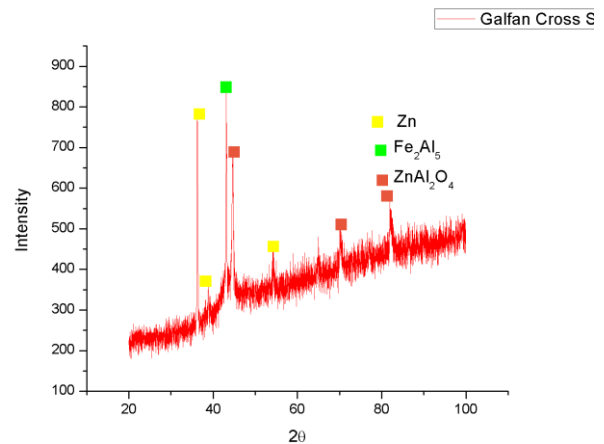
Layer 2 merupakan lapisan galvanic coating. Berdasarkan Gambar 4 maka dapat dilihat bahwa ada dua fasa yang berbeda yang dihasilkan pada lapisan galvanic. Fasa tersebut adalah fasa yang kaya Zn (β) dan fasa hasil reaksi eutektik. Fasa β memiliki warna cerah, sedangkan fasa hasil reaksi eutektik adalah lamellar. Struktur mikro galvanic coating dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur Mikro Lapisan Galvanic 9 menit dengan Perbesaran 20x

B. Hasil Pengujian X-Ray Diffraction

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk setelah proses hot dip galvanic coating dan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada specimen uji yang sudah mengalami pengujian korosi. Pengujian ini dilakukan pada sample uji dengan variable waktu celup 13 menit. Grafik hasil pengujian XRD dapat dilihat pada Gambar 6.

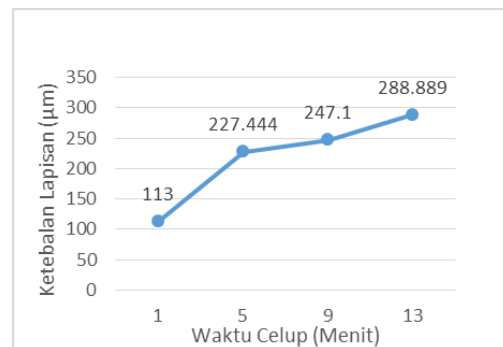


Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian XRD Spesimen Uji 13 menit

Pada pengujian ini ditemukan 2 senyawa dan 1 unsur yang memiliki peak tertinggi. Pada sample uji hasil proses coating, senyawa yang memiliki nilai peak tertinggi adalah Fe_2Al_5 , Zn, dan ZnAl_2O_4 . Dari kedua hasil pengujian XRD ini dapat dilihat senyawa ZnAl_2O_4 bertindak sebagai lapisan pasif (*passive film*). Senyawa ini terbentuk disebabkan oleh reaksi oksidasi dengan O_2 . Sedangkan Fe_2Al_5 merupakan senyawa intermetallic yang terbentuk pada substrat dengan galvanic coating (difusi atom Al ke dalam substrat).

C. Hasil Pengujian Ketebalan (Thickness Test)

Pengukuran ketebalan dilakukan pada tiga titik yang berbeda pada setiap sample uji, dimana titik uji ketebalan berada pada kedua bagian sudut dan bagian tengah dari sample uji. Dari ketiga nilai ketebalan yang dihasilkan di rata-rata sehingga didapatkan nilai ketebalan akhir dari sample uji. Hasil pengukuran ketebalan bisa dilihat pada Gambar 7.

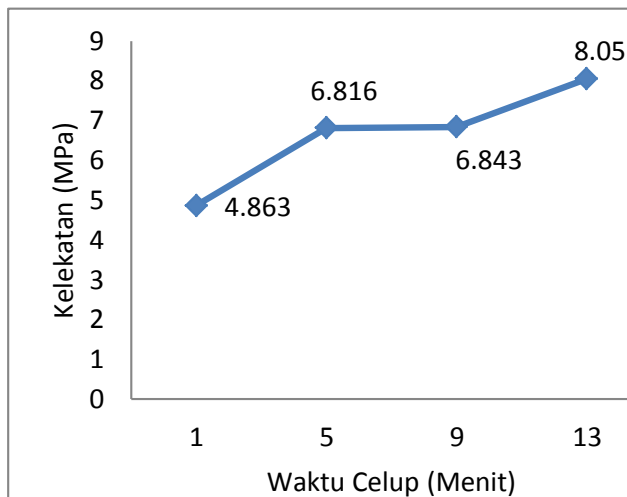


Gambar 7. Grafik Pengaruh Waktu Celup Terhadap Nilai Ketebalan

Berdasarkan data nilai ketebalan yang sudah diperoleh pada Gambar 7 maka dapat disimpulkan bahwa kenaikan nilai ketebalan dipengaruhi oleh lama waktu pencelupan yang diberikan, dimana waktu celup yang menghasilkan ketebalan yang paling optimum adalah 13 menit. Kenaikan nilai ketebalan yang berbanding lurus dengan lama waktu pencelupan ini sudah sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Menurut Ramadian [11], variasi lama pencelupan dan temperatur logam cair mempengaruhi peningkatan ketebalan dan berat lapisan. Semakin lama waktu pencelupan dan semakin tinggi temperturnya maka semakin tebal lapisan yang terbentuk serta berat lapisan meningkat. Kenaikan nilai ketebalan terjadi secara signifikan pada waktu celup 5 menit karena waktu celup yang terlalu singkat bagi variable satu menit untuk melakukan difusi ke dalam substrat karena ketika baja dicelupkan ke dalam molten metal baja dalam keadaan temperatur kamar sehingga dibutuhkan waktu untuk memanaskan baja agar memudahkan proses difusi.

D. Hasil Pengujian Kelekatan (Adhesive Test)

Pengujian kelekatan atau *adhesive* bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan lekat lapisan coating yang menempel pada substrat spesimen uji (baja). Pengujian ini dilakukan terhadap semua spesimen uji yang sudah dilapisi dengan metode hot dip galvan dengan berbagai variasi waktu celup, yaitu 1, 5, 9, dan 13 menit. Hasil pengujian kelekatan dapat dilihat pada Gambar 8.



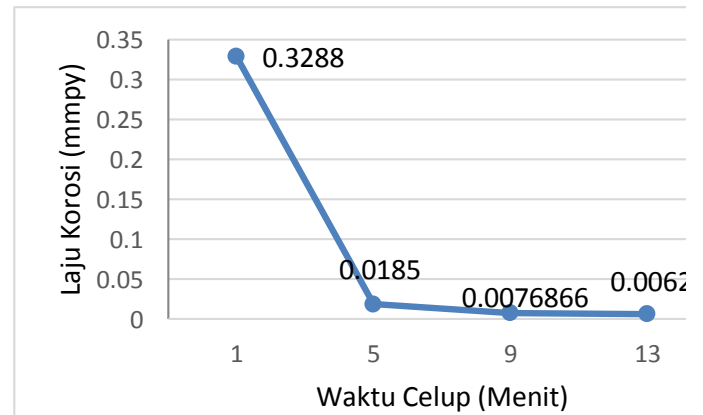
Gambar 8. Grafik Pengaruh Waktu Celup Terhadap Nilai Kelekatan

Jika diamati berdasarkan data pengujian maka nilai kelekatan yang didapatkan tidak besar, hal ini terjadi karena ketika proses pengujian, lapisan coating tidak terlepas dari substrat melainkan hanya ada bagian coating dari lapisan yang terlepas dari lapisan coating. Peristiwa ini disebut dengan failure cohesion. Sehingga nilai yang didapatkan merupakan nilai kelekatan dengan jenis kegagalan kohesi. Fenomena kegagalan kohesi ini (cohesion failure) terjadi pada semua specimen uji untuk semua variable waktu celup. Kegagalan kohesi ini bisa terjadi karena ikatan di interface substrat dengan coating (lapisan intermetallic) terjadi ikatan metalurgi, sedangkan ikatan yang terbentuk diantara layer permukaan coating dengan layer berikutnya tidak lebih

kuat dibandingkan ikatan metalurgi yang terbentuk pada lapisan intermetallic dengan substrat.

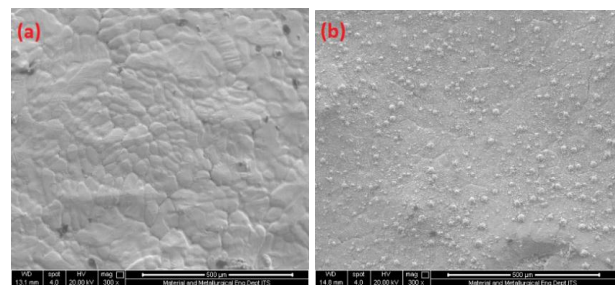
E. Hasil Pengujian Ketahanan Korosi

Pengujian ketahanan korosi lapisan ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan korosi lapisan galvan terhadap lingkungan yang korosif. Hasil pengujian ketahanan korosi dalam NaCl 3.5% dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Pengaruh Waktu Celup Terhadap Nilai Ketahanan Korosi

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa lapisan galvan yang terbentuk ketika dicelupkan ke dalam molten metal selama satu menit memiliki laju korosi paling tinggi, yaitu sebesar 0,3288 mppy. Hal ini disebabkan oleh lapisan coating yang terbentuk untuk waktu celup 1 menit belum mampu mengcover seluruh permukaan baja. Morfologi permukaan coating setelah dikorosikan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Morfologi Permukaan Lapisan Galvan (a) Sebelum dan (b) Setelah Terkorosi dalam NaCl 3,5% dengan Perbesaran 300x Variabel Waktu Celup 5 Menit.

Jika melihat morfologi permukaan lapisan galvan pada gambar yang telah terkorosi dalam lingkungan NaCl 3,5% selama 10 hari secara mikro dengan perbesaran 300x maka dapat diamati perbedaan yang terjadi. Perubahan itu disebabkan oleh terbentuknya lapisan pasif yang disebabkan oleh logam aluminium, lapisan pasif ini menghambat peristiwa korosi pada lapisan. Menurut Panossian [11], aluminium dan lapisan paduan aluminium memiliki kecenderungan untuk membentuk lapisan pasif dalam lingkungan yang tidak terlalu banyak mengandung ion klorida.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, maka disimpulkan bahwa :

1. Penambahan lama waktu celup pada proses hot dip galvan memberikan pengaruh terhadap nilai ketebalan lapisan yang diperoleh, semakin lama waktu pencelupan maka nilai ketebalan lapisan semakin tinggi. Nilai ketebalan tertinggi adalah 288,9 μm
2. Penambahan lama waktu celup pada proses hot dip galvan memberikan pengaruh terhadap sifat adhesive, semakin lama waktu pencelupan maka nilai adhesive lapisan semakin tinggi.
3. Penambahan lama waktu celup pada proses hot dip galvan menghasilkan ketahanan korosi yang relatif sama (0.0185-0,0063 mmpy) jika spesimen uji tercover dengan baik (laju korosi rendah).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua yang telah memberikan bantuan baik berupa moril ataupun materil selama penulis melakukan penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada staff laboratorium metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dan CV. Cipta Agung yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fontana, Mars G. 1987. Corrosion Engineering 3rd Edition. Ohio: Fontana Corrosion Center W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems* (Book style). Belmont, CA: Wadsworth (1993) 123–135.
- [2] Schweitzer, Philip A. 2006. Paint and Coating Applications and Corrosion Resistance. New York: Taylor & Francis Group. B. Smith, "An approach to graphs of linear forms (Unpublished work style)," belum dipublikasikan.
- [3] Kurniawan, Yudha. et al. 2015. Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon. *Jurnal Teknik ITS*.
- [4] Yulianto, Sulis. et al. 2012. Pengaruh Waktu Tahan Hot Dip Galvanized Terhadap Sifat Mekanik, Tebal Lapisan, dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknik Mesin UMJ vol (2)C*. J. Kaufman, Rocky Mountain Research Lab., Boulder, CO, komunikasi pribadi, (1995, May).
- [5] Tsai, Tai Ming. 1995. Protection of Steel Using Aluminum Sacrificial Anodes in Artificial Seawater. *Journal of Marine Science and Technology*, Volume 4, No.1, Tahun 1995, halaman 17 – 21. M. Young, *The Technincal Writers Handbook*. Mill Valley, CA: University Science (1989).
- [6] Ahmad, Zaki. 2006. Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control. Elsevier Science & Technology Books.
- [7] Rocha, L A. 1991. Microstructure, Growth Kinetics, and Corrosion Resistance of Hot-Dip Galvanized Zn-5%Al Coatings. *Journal of National Association of Corrosion Engineers*.
- [8] Osorio, Wislei Riuper. 2004. The Effect of The Dendritic Microstructure on The Corrosion Resistance of Zn-Al Alloys. *Journal of Alloys and Compound*
- [9] Callister, William D. 2010. Materials Science and Engineering Introduction 8th Edition. USA: John Willey & Son's Inc
- [10] Ramadian, Angga. et al. Pengaruh Temperatur dan Lama Celup pada Proses Hot Dip Galvanizing Elemen Pemanas Cold End Layer Air Heater PT PJB UP Gresik Unit 1. *Jurnal Teknik*
- [11] Panossian, Z. et al. 2005. Steel Cathodic Protection Afforded by Zinc, Alumunium and Zinc/Alumunium Alloy Coatings in The Atmosphere. *Journal of Surface & Coatings Technology*