

# Pengaruh Waktu Celup Proses Hot Dip Galvalum (Al55%-Zn-Si) terhadap Sifat Adhesive, Ketebalan Lapisan dan Ketahanan Korosi pada Baja API 5L Grade B

Syarif Alamudi, Agung Purniawan, dan 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**—Kualitas coating ditentukan oleh beberapa variabel diantaranya ketebalan coating, kekekatannya, serta mampu meningkatkan proteksi pada substrat. Pada penelitian kali ini diteliti pengaruh waktu celup terhadap ketebalan coating, kekekatan, serta fenomena korosi yang ada. Bahan yang digunakan sebagai substrat adalah baja API 5L Grade B yang dilapisi dengan paduan Al55%-Zn-1,5%Si (Galvalum). Proses coating dilakukan dengan metode hot-dip menggunakan rentang waktu 1, 5, 9, 13 menit. Hasil dari penelitian ini lalu diuji dengan uji OES, SEM, ketebalan (DFT), kekekatan, korosi dan XRD. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa ketebalan dan kekekatan coating berbanding lurus dengan lama waktu celup hot dip yang memiliki nilai tertinggi masing-masing pada waktu celup 13 menit. Sementara untuk laju korosi masih terjadi peningkatan signifikan pada waktu celup 5 menit dan setelahnya cenderung stagnan.

**Kata Kunci** – Hot dip Al55%-Zn-Si, galvalum, waktu celup, baja API 5L Grade B

## I. PENDAHULUAN

Industri adalah salah satu penggerak ekonomi yang vital didunia. Keperluan tenaga kerja yang tinggi serta kebutuhan material pada suatu industri membuatnya menjadi sektor penting yang tak bisa dipandang sebelah mata. Salah satu bidang perindustrian yang perkembangannya makin pesat dari tahun ketahun adalah industri dibidang energi khususnya industri perminyakan dan gas. Permintaan yang meningkat akan keperluan produk industri ini membuat industri minyak dan gas makin berkembang dan makin banyak mengeksplorasi tempat-tempat yang mampu menunjang perindustrian tersebut untuk memenuhi kebutuhan minyak dan gas dunia.

Pada berbagai industri termasuk industri minyak dan gas, komponen dan alat-alat yang paling umum digunakan hampir semuanya menggunakan material baja. Pada industri ini baik pipa minyak/gas, *storage tank*, konstruksi *platform offshore* dan sebagainya menggunakan material baja. Seperti yang diketahui, sebagian *plant* pengeboran minyak berada dilingkungan air laut (*offshore*), sehingga berada dilingkungan yang korosif. Untuk menekan kerugian akibat korosi maka dilakukan berbagai macam cara proteksi korosi yang salah satunya menggunakan coating. Pada aplikasinya,

coating adalah proteksi paling dini untuk perlindungan korosi.

Salah satu metode coating yang paling lama digunakan adalah metode hot dip, dan hot dip galvanizing adalah salah satu metode hot dip yang dikenal hasil coatingnya sangat baik dalam memperlambat laju korosi secara signifikan meskipun dalam lingkungan air laut. Hot dip galvanizing menggunakan logam Zinc (Zn) sebagai anoda tumbal untuk proteksi. Aplikasinya sering digunakan pada pipa, plat dan sebagainya. Zn digunakan karena potensial selnya lebih rendah dari Fe. Pada penelitian ini logam pelapis yang digunakan adalah paduan Aluminium dan Zinc dengan komposisi Al55%-Zn atau biasa disebut dengan Galvalum. Aluminium ditambahkan karena proteksinya yg lebih baik dari Zn.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Preparasi Spesimen

Preparasi spesimen dilakukan dalam beberapa langkah, antara lain pipa baja API 5L Grade B di-roll terlebih dahulu menjadi bentuk pelat, spesimen dipotong dengan ukuran 5 x 4 x 0,3 cm. Spesimen diberi lubang dengan cara dibor untuk tempat kawat pengait saat proses pencelupan.

### B. Pembuatan Paduan Galvalum

Proses pembuatan material 55%Al-Zn-1,5%Si yaitu dengan menimbang ingot zink, ingot aluminium dan ingot paduan Al-10,5% Si dengan menggunakan timbangan analitik dengan berat yang diinginkan yaitu gram dengan komposisi ingot zink sebesar 130,5 gram, ingot aluminium sebesar 126,7 gram dan ingot paduan Al-10,5% Si sebesar 42,9 gram. Proses penimbangan komposisi dari serbuk ingot zink dan ingot aluminium harus dilakukan dengan sangat teliti agar material yang terbentuk sesuai dengan apa yang diinginkan. Selanjutnya gram Al55%-Zn dimasukkan ke dalam furnace untuk dilelehkan pada temperature 800°C, selama proses pelelehan material harus selalu dikontrol untuk memastikan bahwa material Al55%-Zn sudah melebur dengan homogen.

### C. Proses Pencelupan (*Immersing*)

Proses pencelupan (*immersing*) dilakukan pada spesimen baja API 5L Grade B yang sudah dibersihkan pada tahap preparasi spesimen uji yang dicelupkan ke dalam material Al55%-Zn cair pada temperature 600°C dengan variasi waktu celup yang berbeda-beda, yaitu 60 detik, 300 detik, 540 detik, dan 780 detik. Pada proses pencelupan ini temperatur material Al55%-Zn harus dijaga agar tetap konstan agar hasil pencelupan didapatkan secara sempurna atau tidak terjadi cacat. Setelah specimen baja dicelup dengan waktu celup yang sudah ditentukan, maka spesimen didinginkan dengan pendinginan udara.

### D. Pengujian Komposisi

Pengujian menggunakan OES (*Optical Electron Spectroscopy*) untuk mengetahui komposisi dari paduan *coating* Al55%-Zn-Si.

### E. Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada lapisan deposit hasil *coating* serta produk korosi yang terbentuk setelah pengujian korosi.

### F. Pengujian Ketebalan

Pengujian ketebalan dilakukan untuk mengetahui ketebalan deposit galvalum yang dihasilkan dari proses *hot dip*. Pengujian dilakukan dengan alat DFT (*Dry Film Thickness*). Pengujian dilakukan di tiga spesimen dengan tiga titik berbeda. Hasil perhitungan kemudian dirata-rata.

### G. Pengujian Adhesi

Pengujian adhesi dilakukan untuk mengukur seberapa kuat lapisan galvalum yang melekat pada permukaan substrat. Pengujian dilakukan dengan alat *PosiTest AT-M Adhesion Tester*.

### H. Pengujian Salt Spray

Pengujian *salt spray* dilakukan untuk mengetahui laju korosi dengan cara menyemprotkan larutan NaCl ke dalam ruangan tertutup (*chamber*). Berat awal spesimen ditimbang kemudian spesimen disemprotkan larutan 3,5% NaCl dengan udara bertekanan selama 96 jam. Setelah itu dilakukan penimbangan berat akhir spesimen. Dari sana didapatkan hasil laju korosi.

### I. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui deposit yang terdapat pada permukaan spesimen setelah proses *hot dip* dilakukan baik permukaan maupun *cross section*. Pengamatan ini untuk memastikan permukaan substrat tertutup deposit dan memastikan *coating* telah terdeposit.

### J. Pengamatan Visual dan Metalografi

Pengamatan visual dilakukan untuk mengetahui perbedaan kondisi sampel sebelum dan sesudah di-*coating*. Sementara untuk pengamatan metalografi dilakukan untuk mengetahui lapisan deposit dan intermetallik. Pengamatan dilakukan pada *cross section* dengan etsa nital.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Pengamatan Visual

Pengamatan visual atau pengamatan makroskopik adalah pengamatan terhadap spesimen dari tampak visual secara mata telanjang, yang pada penelitian kali ini dilakukan untuk menunjukkan perbandingan sampel pada saat sebelum *dicoating* dan pada saat setelah *dicoating* dengan metode *hot dip galvalum*.

Sebelum sampel *dicoating*, baja tersebut dibersihkan dahulu permukaannya dari pengotor seperti *scale*, karat dan pengotor-pengotor lainnya dengan menggunakan metode mekanik (*grinding*). Hal ini dilakukan agar lapisan *coating* dapat melekat dengan baik pada substrat.

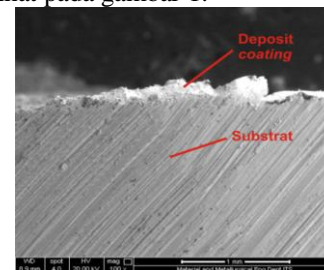
Dari pengamatan visual terdapat perbedaan fisik antara spesimen yang belum mengalami proses *coating hot dip galvalum* dengan yang telah *dicoating*. Pada spesimen uji yang belum *dicoating*, spesimen masih berwarna abu-abu atau silver khas logam namun berwarna cenderung cerah berkilau seperti spesimen yang telah dipreparasi secara mekanik pada umumnya.

Berbeda dengan spesimen yang telah *dicoating* yang permukaannya berwarna abu-abu cerah yang agak pekat. Warna *coating* ini merupakan hasil dari warna fisik elemen penyusun lapisan tersebut (Al55%-Zn). Warna abu-abu tersebut merupakan warna fisik dari Zn sebagai paduan namun adanya Al yang cukup tinggi membuat permukaan menjadi lebih cerah.

### B. Pengamatan Mikro (*SEM dan Metalografi*)

Pengamatan mikro pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah lapisan *coating* yang terbentuk telah terdeposit dengan baik pada substrat atau belum. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan mikroskop optik.

Untuk mengetahui, apakah terdeposit atau tidak maka pengamatan dilakukan pada bagian *cross-section* yang menghadirkan kondisi *interface* antara *coating* dan substrat. Setelah itu *cross section* ini diamati dengan perbesaran 100x yang dapat dilihat pada gambar 1.



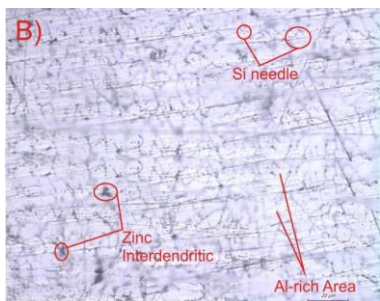
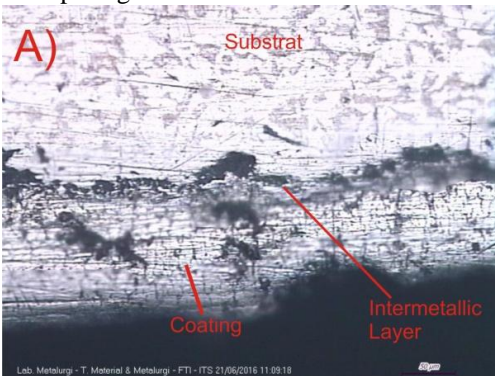
Gambar 1. Tampak *Cross Section interface* dari lapisan *coating* galvalum

Dari gambar 1 tersebut terlihat bahwa lapisan telah terdeposit pada substrat. Bagian *coating* pada gambar tersebut terlihat pada bagian berwarna cerah dan baja pada permukaan yang berwarna gelap. Dikatakan terdeposit karena pada *interface* antara *coating* dan substrat tidak terdapat rongga apapun sehingga menunjukkan telah ter-*coating* dengan baik. Hasil *coating* tersebut dapat melekat akibat adanya pembentukan senyawa intermetallik antara galvalum dan baja.

Pembentukan senyawa ini hanya dapat terjadi selama substrat tercelup dalam *molten metal* galvalum. Hal ini karena pada saat tersebut masih terjadi difusi yang memungkinkan terbentuknya ikatan senyawa akibat saling berpindahnya atom-atom baik dari deposit ke substrat, maupun sebaliknya<sup>[6]</sup>. Menurut Xu<sup>[9]</sup> Waktu celup yang cukup akan memberi waktu yang cukup untuk terjadinya *Nucleation* (pengintian) dan *Growth* yang membuat lapisan makin tebal disamping temperatur *molten bath* yang juga berdampak pada kinetika reaksi secara termodinamika.

Pengintian sendiri yang dimaksud disini adalah pembentukan inti-inti atom lapisan intermetalik akibat difusi dari *coating* ke substrat dan sebaliknya saat dicelup yang kemudian nantinya akan mengalami pertumbuhan apabila ada kesempatan untuk bereaksi dengan faktor-faktor yang telah dileaskan sebelumnya. Apabila waktu celup terlalu cepat maka belum sempat terbentuk lapisan intermetalik tersebut<sup>[3]</sup>

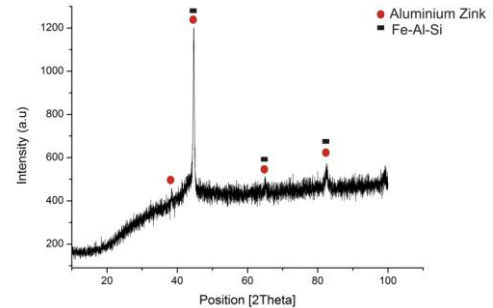
Analisis pengamatan mikro dengan mikroskop optik dilakukan untuk mengetahui morfologi pada *interface coating*-substrat. Dari sana didapatkan struktur mikro yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. a) Tampak lapisan *interface coating*-substrat, b) Mikrostruktur Lapisan Galvalum

Dari hasil metalografi tersebut terlihat morfologi mikrostruktur pada *coating* galvalum. Seperti yang terlihat pada gambar 2a) terlihat lapisan intermetalik yang berupa garis hitam pembatas antara substrat dengan lapisan *coating*. Senyawa intermetalik ini merupakan senyawa  $FeAl_3$  atau  $Fe_2Al_5$  yang pertumbuhannya dihambat oleh unsur Si pada paduan galvalum sejalan dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Schweitzer<sup>[6]</sup>. Sementara pada gambar 2b) pada perbesaran 50x terlihat struktur mikro galvalum dengan cukup jelas. Terdapat 3 daerah yang dapat diidentifikasi, daerah putih, hitam dan garis serpihan hitam tipis-tipis. Merujuk pada ASM<sup>[2]</sup>, seperti pada panah yang

ditunjukkan daerah yang berwarna putih merupakan daerah kaya Aluminium, untuk Zinc pada daerah interdendritik hitam yang agak tebal, sementara untuk Si ditunjukkan oleh serpihan-serpihan berwarna hitam tipis yang tersebar. Untuk membuktikan bahwa memang terbentuk senyawa intermetalik, pada penelitian ini dilakukan uji XRD pada sampel *coating* yang tidak diberi perlakuan apapun yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Uji XRD pada Sampel *Coating* Galvalum

Tabel 1. Senyawa dari Hasil Uji XRD Galvalum

| Visible | Ref. Code   | Score | Compound Name         | Displacement [°2Th.] | Scale Factor | Chemical Formula        |
|---------|-------------|-------|-----------------------|----------------------|--------------|-------------------------|
| *       | 00-045-1206 | 50    | Aluminum Iron Silicon | -0.341               | 0.833        | $Al_{10.3}Fe_3Si_{0.7}$ |
| *       | 00-052-0856 | 31    | Aluminum Zinc         | -0.327               | 0.467        | $Al_{10.403}Zn_{0.597}$ |

Pada Tabel 1 terlihat adanya senyawa Al-Fe-Si dan Al-Zn. Keberadaan senyawa Al-Fe-Si merupakan sebagai senyawa intermetalik dan Al-Zn merupakan paduan dari *coating*. Penjelasan mengenai Al-Fe-Si adalah senyawa intermetalik ini berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Xu<sup>[9]</sup> yang menyatakan bahwa senyawa intermetalik yang terbentuk pada *coating* galvalum tidak dapat diprediksi dengan baik di tiap prosesnya, namun yang pasti adalah terbentuknya senyawa Fe-Al-Si sebagai intermetalik dan kawasan kaya Zn pada paduan dengan Al<sup>[9]</sup>.

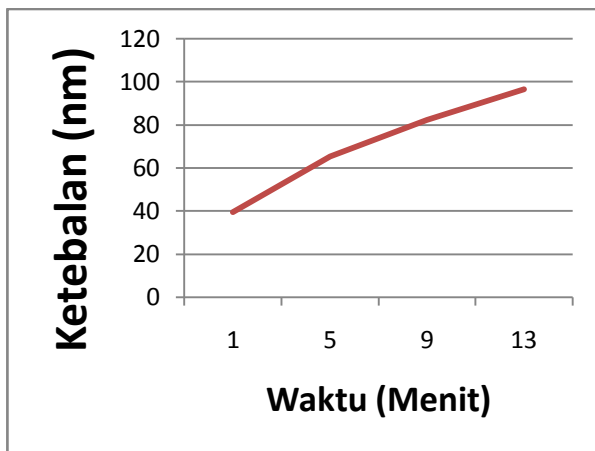
### C. Hasil Uji Ketebalan

Pengujian ketebalan coating ini dilakukan untuk mengetahui perubahan ketebalan coating yang terjadi akibat variasi waktu celup. Pengujian ini dilakukan alat DFT (*Dry Film Thickness*). Adapun hasil uji ketebalan lapisan dapat dilihat pada tabel 2.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa waktu celup berbanding lurus dengan ketebalan *coating* yang semakin tebal. Hal ini disebabkan oleh paduan *coating* memiliki waktu yang cukup untuk membentuk lapisan deposit. Semakin lama waktu celup membuat paduan *coating* dapat berdifusi pada logam lebih lama sehingga dapat terdeposisi makin sempurna di permukaan substrat yang terjadi akibat semakin meluasnya kawasan interdendritik kaya Zn, memberi kemampuan Al untuk berkembang hingga ukuran dendrit Al semakin besar dan makin banyak Si yang masuk di kawasan lapisan tersebut<sup>[7]</sup>. Grafik ketebalan terhadap variabel ditunjukkan oleh Gambar 4.

Tabel 2. Hasil Uji Ketebalan Coating

| Variabel (Menit) | Ketebalan ( $\mu\text{m}$ ) | Rata-Rata |
|------------------|-----------------------------|-----------|
| 1                | 37,6                        | 39.47     |
|                  | 38.6                        |           |
|                  | 42.2                        |           |
| 5                | 68                          | 65.5      |
|                  | 65.5                        |           |
|                  | 63                          |           |
| 9                | 82.5                        | 82,4      |
|                  | 83.3                        |           |
|                  | 81.4                        |           |
| 13               | 96.8                        | 96.6      |
|                  | 94.8                        |           |
|                  | 98.6                        |           |



Gambar 4. Grafik Variabel vs Ketebalan

#### D. Hasil Uji Kelekatan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu celup terhadap kemampuan *coating* untuk melekat pada substrat serta jenis kelekatan. Hasil uji kelekatan ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Kelekatan Coating

| Variabel (Detik) | Kelekatan (MPa) | Rata-Rata |
|------------------|-----------------|-----------|
| 1                | 3.6             | 3.097     |
|                  | 3.12            |           |
|                  | 2.57            |           |
| 5                | 12.07           | 13.83     |
|                  | 15.05           |           |
|                  | 14.37           |           |
| 9                | 22.97           | 19.2      |
|                  | 15.84           |           |
|                  | 18.79           |           |
| 13               | -               | -         |
|                  | -               |           |
|                  | -               |           |

Apabila dilihat pada Tabel 3, waktu celup masih berbanding lurus dengan kekuatan lekat *coating* yang semakin tinggi. Hal ini terjadi karena galvalum mendapat waktu yang cukup untuk berdifusi pada baja. Pada *coating*

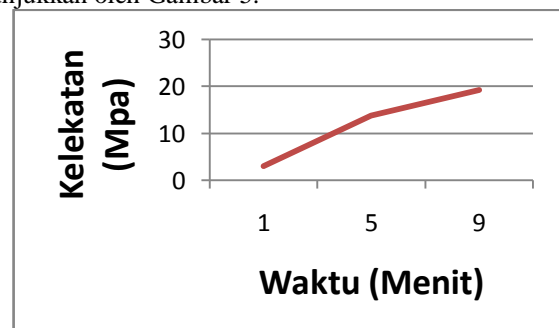
*hot dip*, ikatan yang terjadi antara deposit dengan substrat adalah ikatan metalurgi. Adapun ikatan metalurgi yang terjadi hingga nantinya membentuk senyawa intermetalik telah dijelaskan mekanismenya pada subbab sebelumnya. Selain itu, untuk kelekatan juga dipengaruhi kecepatan pengintian yang memerlukan waktu yang untuk paduan *coating* Al-Zn memerlukan setidaknya 48 detik untuk membentuk  $\text{FeAl}_3$  yang merupakan senyawa pertama yang terbentuk saat pengintian<sup>[3]</sup>.

Pada sampel dengan variabel 1 menit untuk mendapatkan sampel yang dapat diuji kelekatan sangat sulit karena kemungkinannya cukup kecil untuk spesimen dapat terlapisi secara menyeluruh dan sempurna. Hal ini terjadi karena umumnya sampel yang dibuat gagal akibat lapisan mudah terkelupas atau bahkan lepas saat akan diuji, sehingga bisa dikatakan bukan waktu yang efektif untuk mendapatkan lapisan *coating* yang bagus, untuk spesimen 5 menit sedikit lebih baik dari segi kelekatan dan kemampuan mengcover area substrat, namun terkadang masih bisa mengalami kegagalan melapisi substrat namun sangat jarang.

Lalu, untuk sampel dengan variabel waktu celup 9 menit sudah bisa dikatakan kondisinya cukup bagus dan mumpuni, permukaan substrat dapat dipastikan tercover dan apabila terjadi kegagalan lekat pada sampel variabel waktu ini kemungkinan hanya dari kesalahan dalam proses yaitu preparasi yang kurang baik.

Untuk sampel dengan variabel waktu celup 13 menit secara visual bisa dikatakan tidak terlalu jauh berbeda dengan sampel variabel 9 menit. Selain itu, untuk informasi bahwa pada uji ini, *coating* terlepas dalam keadaan *cohesive failure* karena *failure* terjadi pada ikatan didalam coating tidak di *interface coating*-substrat. Adapun tipe kegagalan yang berbeda hanya pada variabel 13 menit dimana yang terjadi adalah *glue failure* yaitu kegagalan terjadi pada lem yang tak sanggup menarik lapisan galvalum dari lapisan substrat, Hal ini bisa terjadi karena dua hal, pertama akibat kurang sempurnanya pemasangan lem dalam uji ini akibat ada rongga udara yang ada di area pengeleman sehingga lem saat dicabut yang tercabut hanya lemnya, akan tetapi ada kemungkinan kedua yaitu kekuatan adhesif lapisan *coating* galvalum sendiri yang sangat kuat sehingga tidak dapat ditarik. Apabila disesuaikan dengan teori tadi, kemungkinan kedua bisa terjadi karena pada saat *dolly* terlepas ada bagian lem yang terlepas namun juga tidak dapat membuat lapisan *coating* terlepas.

Adapun, untuk Grafik kelekatan terhadap variabel ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Variabel vs Kelekatan

### E. Hasil Uji Korosi

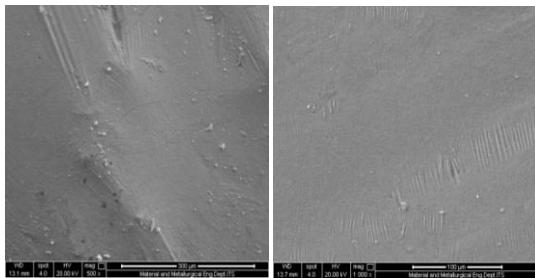
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku/laju korosi pada lapisan yang dipengaruhi pada tiap variabel spesimen.

Untuk hasil dari pengujian korosi ini dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Korosi

| Variabel (Menit) | Massa Awal (gram) | Massa Akhir (gram) | $\Delta m$ | Laju Korosi (mpy) | Rata-Rata |
|------------------|-------------------|--------------------|------------|-------------------|-----------|
| 1                | 69,3754           | 66,8357            | 2,5397     | 0,9812            | 0,9873    |
|                  | 62,4364           | 59,7669            | 2,6694     | 1,0313            |           |
|                  | 71,2473           | 68,7899            | 2,4574     | 0,9494            |           |
| 5                | 61,4770           | 61,2143            | 0,2627     | 0,1015            | 0,1024    |
|                  | 64,1716           | 63,9107            | 0,2609     | 0,1008            |           |
|                  | 56,3517           | 56,0802            | 0,2715     | 0,1049            |           |
| 9                | 63,9218           | 63,6782            | 0,2436     | 0,0941            | 0,0958    |
|                  | 63,7358           | 63,4868            | 0,2490     | 0,0962            |           |
|                  | 65,9162           | 65,6649            | 0,2513     | 0,0971            |           |
| 13               | 58,1617           | 57,9471            | 0,2146     | 0,0829            | 0,0833    |
|                  | 59,4428           | 59,2305            | 0,2123     | 0,0820            |           |
|                  | 60,0454           | 59,8254            | 0,2200     | 0,0850            |           |

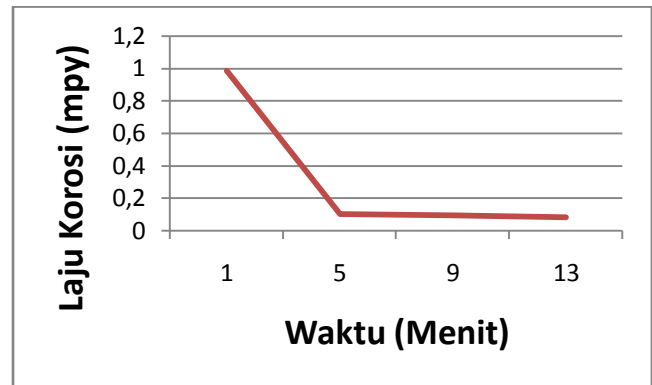
Sebelum dilakukan pengujian ini telah dilakukan pengamatan dengan SEM (*Scanning Electrone Microscopy*). Hal ini menunjang untuk memastikan hingga struktur mikro memastikan bahwa sampel yang akan diuji tidak ada cacat berupa *porous* pada lapisan *coating*-nya, baik dari topografi atau permukaan hingga tampak-lintang (*cross section*), karena apabila terjadi cacat tersebut maka hasil uji korosi tidak akurat 100%. Hal ini bisa terjadi karena apabila ada *porous* maka larutan garam yang digunakan untuk mengkorosikan sampel bisa langsung berinteraksi dengan baja dan hal ini tidak diharapkan karena yang ingin diketahui dari uji ini adalah perilaku korosi dari lapisan tidak termasuk baja.



Gambar 6. Hasil uji SEM perbesaran 500x topografi galvalum (kiri), 1000x (kanan)

Pengamatan dilakukan dengan perbesaran hingga 500x dan 1000x yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 6. Karena untuk *cross section* telah ditampilkan sebelumnya maka disini akan ditampilkan yang topografi saja.

Dari keseluruhan gambar SEM terlihat bahwa permukaan dalam keadaan bagus karena tak ada lubang atau *porous defect* yang akan membuat pengujian tak berjalan optimal.



Gambar 7. Grafik Variabel Waktu vs Laju Korosi

Dari hasil uji korosi, pada gambar 7 secara grafis terlihat adanya perbedaan yang sangat signifikan antara spesimen 1 menit dengan 5 menit sekaligus menempatkan spesimen 1 menit sebagai sampel yang memiliki laju korosi paling tinggi pada penelitian kali ini dengan nilai laju korosi sebesar 0,9873 mpy, hal ini disebabkan pertama oleh lapisan *coating* yang tipis apabila memiliki hasil uji ketebalan rata-ratanya (Tabel 2), penyebab lainnya yang berperan vital adalah kurang sempurnanya hasil *coating*, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa hasil *coating* galvalum dengan variabel satu menit kurang optimal karena tetap ada area yang belum ter-*coating*. Begitu juga pada spesimen pengujian ini, sekalipun terkesan spesimen telah ter-*coating* secara total namun ada beberapa bagian yang retak dan sangat mudah lepas yang kemudian ada beberapa bagian yang terlepas selama pengujian sehingga deposit *coating* berkurang. Kombinasi antara *coating* yang sedikit dan lapisan yang kurang tebal inilah yang membuat laju korosinya tinggi dibandingkan pada variabel lain.

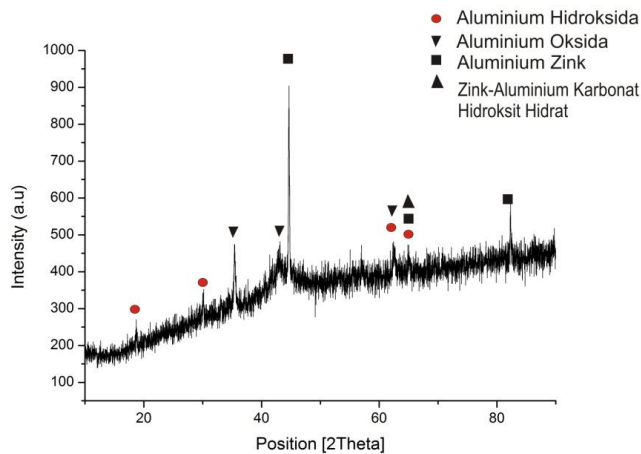
Untuk variabel 5 menit, seperti yang dijelaskan sebelumnya terjadi penurunan laju korosi yang signifikan hingga 0,1024 mpy. Hal ini terjadi karena pada spesimen 5 menit hasil *coating* telah menutup spesimen secara sempurna dan telah memiliki ketebalan yang cukup.

Untuk spesimen variabel 9 menit, masih ada penurunan laju korosi menjadi 0,0958 mpy dari variabel 5 menit, namun penurunannya sudah tidak signifikan. Hal ini disebabkan perbedaan antara kedua variabel tersebut hanya pada ketebalan *coating* 9 menit yang lebih tebal. Begitu juga untuk variabel 13 menit, dengan laju korosi 0,0833 mpy, secara grafis sudah tak ada lagi penurunan laju korosi dibandingkan dengan variabel 5 dan 9 menit. Untuk penyebabnya masih karena perbedaan *coating* hanyalah pada ketebalannya saja sehingga laju korosi antara 5, 9, dan 13 menit sudah cenderung stagnan.

Kinerja proteksi korosi sendiri pada galvalum seperti yang telah dibahas di bab sebelumnya tergantung pada keberadaan lapisan yang kaya akan Aluminium dan Zinc<sup>[5]</sup>. Maka apabila lapisan makin tebal maka jumlah Aluminium dan Zinc makin banyak yang melapisi substrat<sup>[7]</sup>.

Pada sampel setelah uji korosi terdapat bercak-bercak putih serta warna yang agak gelap pada permukaan sampel. Hal ini dikarenakan munculnya produk korosi akibat proses korosi selama uji didalam *salt spray chamber*. Hasil Korosi

diketahui melalui grafik hasil uji XRD pada permukaan sampel setelah korosi yang terdapat pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hasil Uji XRD pada Spesimen setelah Uji Korosi

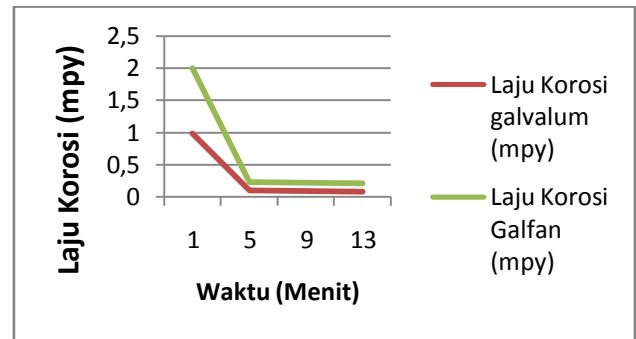
Tabel 5. Senyawa Hasil Uji XRD setelah Uji Korosi

| Visible | Ref. Code   | Score | Compound Name                             | Displacement [°2Th.] | Scale Factor | Chemical Formula  |
|---------|-------------|-------|---|----------------------|--------------|---|
| *       | 00-048-1022 | 5     | Zinc Aluminum Carbonate Hydroxide Hydrate | 0.753                | 0.689        | Zn <sub>0.70</sub> Al <sub>0.30</sub> (OH) <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>0.15</sub> ·xH <sub>2</sub> O |
| *       | 00-018-0031 | 2     | Aluminum Hydroxide                        | -0.311               | 2.879        | Al(OH) <sub>3</sub>   |
| *       | 00-029-0063 | 7     | Aluminum Oxide                            | -1.279               | 0.064        | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  |
| *       | 01-074-5292 | 9     | Aluminum Zinc                             | -0.247               | 1.644        | Al <sub>0.86</sub> Zn <sub>0.14</sub>   |
| *       | 00-029-1486 | 6     | Aluminum Oxide                            | -1.269               | 0.082        | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  |
| *       | 00-001-1305 | 2     | Aluminum Oxide                            | 0.148                | 0.090        | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  |

Pada tabel 5 terlihat senyawa-senyawa yang muncul pada permukaan sampel setelah uji korosi. Produk Korosi yang muncul berupa senyawa kompleks *Zinc Aluminium Carbonate Hydroxide Hydrate* [0,7Zn 0,3Al (OH)<sub>2</sub> 0,15(CO<sub>3</sub>)xH<sub>2</sub>O], serta Aluminium Hidroksida [Al(OH)<sub>3</sub>]. Aluminium Oksida yang muncul di hasil XRD ini merupakan lapisan pasif yang dibentuk oleh Aluminium akibat interaksi dengan lingkungan dan bukan merupakan produk korosi. Sementara senyawa AlZn yang muncul adalah senyawa paduan dari galvalum itu sendiri (produk asli *coating*).

Secara keseluruhan, produk hasil uji korosi ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa produk korosi utama dari galvalum pada uji korosi *salt spray* ini adalah senyawa kompleks Aluminium Seng Karbonat Hidroksit Hidrat lalu Aluminium Hidroksida<sup>[8]</sup>.

Performa dari *coating* ini telah sesuai mengacu pada literatur di bab sebelumnya mengenai perbandingan laju korosi antara galvalum dan galfan, untuk perbandingan galfan dapat dilihat pada gambar 9 dari laju korosi galfan dari penelitian Ibrahim<sup>[4]</sup>.



Gambar 9. Perbandingan Laju korosi pada galvalum dan galfan pada penelitian Ibrahim, 2016

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Waktu celup *hot dip* mempengaruhi ketebalan, kelekatan serta ketahanan korosi pada *coating* galvalum. Semakin lama waktu celup membuat ketebalan *coating* semakin tinggi. Peningkatan waktu celup juga berbanding lurus terhadap kelekatan deposit yang semakin tinggi. Untuk ketahanan korosi juga berbanding lurus seiring turunnya laju korosi, namun laju korosi hanya mengalami penurunan signifikan pada sampel dengan waktu celup 5 menit, selebihnya mengalami penurunan laju korosi namun hampir stagnan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada para dosen pembimbing, para laboran, CV. Cipta Agung serta berbagai pihak yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] \_\_\_\_\_, 1990. *ASM Metals Handbook Vol 13 10<sup>th</sup> Edition: Corrosion*
- [2] \_\_\_\_\_, 1995. *ASM Metals Handbook: Desk Edition*
- [3] Chen, Z.W. 1992. *Intermetallic Phases Formed During Hot Dipping of Low Carbon Steel in a Zn-5%Al Melt at 450°C*. Metallurgical Transaction A.
- [4] Ibrahim. 2016. *Pengaruh Waktu Celup Hot Dip Galfan Terhadap Sifat Adhesive, Ketebalan Lapisan, dan Ketahanan Korosi Pada Baja API 5L Grade B*. ITS.
- [5] Li, Yan. 2001. *Corrosion Behaviour of Hot Dip Zn- Al and Zn Coatings On Steel In Seawater*. Indian: Indian Academy of Sciences.
- [6] Schweitzer, Philip A. 2006. *Paint and Coating Applications and Corrosion Resistance*. New York: Taylor & Francis Group.
- [7] Selverian, Notis. 1987. *The Microstructure of 55 w/o Al-Zn-Si (Galvalume) Hot Dip Coatings*. New York: Springer-Verlag New York Inc.
- [8] Sere, P. 1998. *Comparative Corrosion Behaviour of 55Aluminium-Zinc Alloy And Zinc Hot-Dip Coatings Deposited On Low Carbon Steel Substrates*. Great Britain: Elsevier Science Ltd.
- [9] Xu, Bao. 2005. *Nucleation and growth of 55%Al-Zn on Steel Substrate*. University of Walonggong.