

Karakterisasi Perilaku Laju Korosi Plat *Body Automobiles* Terhadap Larutan 0,5 M H₂SO₄ Dengan Metode *Wet-Dry Cyclic SAE J2334*

Irbabullubab ⁽²⁾, Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA ⁽¹⁾, Hariyati P, S.Si, M.Si ⁽¹⁾

¹. Teknik Material dan Metalurgi, FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

². Teknik Material dan Metalurgi, FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Abstrak

Bodi mobil sering bersentuhan langsung dengan atmosfer dan pengalaman perubahan cuaca, yang dapat menyebabkan pembentukan dan pengeringan lapisan tipis elektrolit. Siklus cuaca ini bisa mengakibatkan terjadinya korosi siklik (cyclic corrosion) pada plat bodi mobil. Korosi ini bisa terjadi akibat serangan hujan asam ataupun daerah yang memiliki kadar sulfur tinggi.

Penelitian ini menggunakan spesimen dari plat bodi mobil Mercy W 124 (Eropa / Spesimen M), Innova (Indonesia / Spesimen T) dan CR-V (Jepang / Spesimen C) sebagai pembandingan. Dan larutan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,5 M H₂SO₄. Spesimen tersebut diberi perlakuan kondisi wet – dry cyclic dengan interval waktu 20 siklus, 30 siklus, 40 siklus, 50 siklus, dan 60 siklus sebagai simulasi perubahan cuaca. Spesimen yang mengalami laju korosi terbesar adalah spesimen T = 10.07301613 MPY, kemudian spesimen C = 6.292531955 MPY dan terkecil adalah spesimen M sebesar 2.092593866 MPY. Laju korosi wet – dry cyclic mengalami tren laju korosi meningkat terhadap bertambahnya siklus. Dan uji immersion dilakukan pada interval waktu 80 jam, 120 jam, 160 jam, 200 jam, dan 240 jam sebagai pembandingan laju korosi. Laju korosi uji immersion terbesar pada waktu 80 jam atau di awal uji, yaitu untuk spesimen T = 4.155330194 MPY, spesimen C = 2.989416145 MPY dan spesimen M sebesar 2.804416054 MPY. Tren laju korosi pada uji immersion ini menurun dengan bertambahnya waktu pencelupan.

Karakterisasi dilakukan dengan mengidentifikasi secara visual menggunakan XRF, SEM dan XRD. Dari pengujian tersebut akan diperoleh data karakterisasi yaitu bentuk korosi yang terjadi adalah korosi uniform, intergranular corrosion dan indikasi pitting corrosion. Produk korosi yang terbentuk meliputi karat coklat γ -Fe₂O₃ (Ferrit Oxide), Fe₂(SO₄)₃ (Iron Sulfat), Fe₃O₄ (karat hitam)) dan Zink Oxide (ZnO).

Keywords: *wet-dry corrosion, auto body plate, cyclic method, immersion method.*

1. PENDAHULUAN

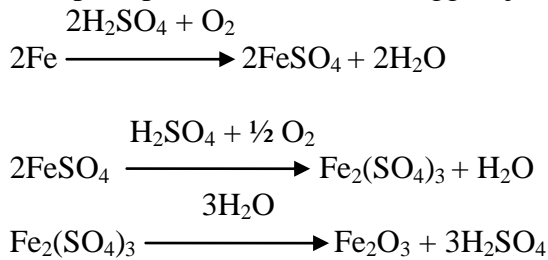
Persyaratan untuk kualitas otomotif terhadap ketahanan korosi menjadi semakin ketat. Keadaan lingkungan yang memiliki potensi korosi seperti di Indonesia banyak dijumpai. Lingkungan industri seperti minyak, gas, dan hasil pembakaran kendaraan yang menghasilkan gas – gas yang mengandung sulfur bersifat korosif. Lingkungan industri yang telah asam akibat penyerapan SO₂ atau asam memiliki tingkat pH 1,5 – 3,5 (Cole 2009). Kondisi hujan di sebagian besar wilayah Indonesia memiliki pH di bawah ambang batas normal yaitu 5,6. Kondisi ini bisa dikatakan bahwa hujan di Indonesia bersifat asam (BMKG 2011).

Korosi pada logam plat bodi mobil yang diakibatkan oleh keadaan lingkungan udara (*atmospheric corrosion*) di industri yang cenderung korosif akibat mengandung sulfur,

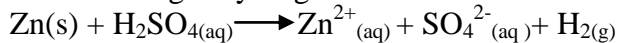
merupakan suatu masalah yang serius bagi para produsen otomotif untuk meningkatkan kualitas otomotif terhadap ketahanan korosi. Bodi mobil sering bersentuhan langsung dengan atmosfer industri dan perubahan cuaca, yang dapat menyebabkan pembentukan dan pengeringan lapisan tipis elektrolit. Siklus cuaca ini bisa mengakibatkan terjadinya korosi siklik (*cyclic corrosion*) pada plat bodi mobil.

Selain kandungan ion klorida di udara, unsur agresif lain yang menyebabkan tingkat korosivitas tinggi antara lain adalah debu dan adanya kandungan gas buang, baik yang berasal dari industri (gas SO₂) maupun hasil aktivitas lain yang ada di alam seperti aktivitas gunung berapi, hasil gas buangan sampah, dan aktivitas biota laut yang mengeluarkan gas H₂S. Gas SO₂ ini dengan adanya air di udara akan diubah menjadi asam sulfat yang dikenal sebagai unsur korosif dan apabila terkena air hujan akan menyebabkan hujan asam.

Asam sulfat ini akan terabsorpsi oleh produk karat yang terbentuk pada permukaan baja dan proses absorpsi akan berlangsung terus secara berulang yang akhirnya mempercepat reaksi korosi sehingga laju korosi meningkat, menurut reaksi sebagai berikut.



Reaksi seng dengan asam biasanya akan mengakibatkan seng larut dalam asam sulfat encer membentuk gas hydrogen.



Efek polutan atmosfer telah lama ditetapkan bahwa pada lingkungan industri dapat menyebabkan peningkatan korosi (Tidblad 1998), banyak studi yang mengamati korelasi laju korosi dengan level SO₂ di atmosfer. Secara teoritis diketahui bahwa dengan penyerapan SO₂ mengakibatkan udara menjadi asam. Peran berbagai reaksi kimia yang terjadi dalam fase cair antara belerang dan air telah diamati (Graedel, Farrow 1998).

Ketangguhan relative tinggi dan kekuatan untuk berat rasio memungkinkan HSLA akan berhasil dirancang dalam bagian-bagian tipis atau struktur bodi mobil (2002). Baja HSLA biasanya memiliki kekuatan antara 280 – 500 MPa yang memberikan ketahanan penyok dan lelah yang memuaskan serta sifat mampu bentuk yang baik. Selain itu HSLA lebih tahan korosi daripada baja karbon biasa yang membuat lebih bermanfaat bagi para produsen mobil (Callister Jr. 1997).

HSLA steels mengandung Carbon tidak lebih dari 0,22% dan Manganese sekitar 1,5%. Juga diperkuat dengan beberapa elemen seperti Columbium, Copper, Vanadium dan Titanium. Karena termasuk *Low Carbon Level*, unsur penting yang perlu ditambahkan adalah unsur penguat dan penstabil ferit, seperti Silicon, Copper, Nickel dan Phosphor.

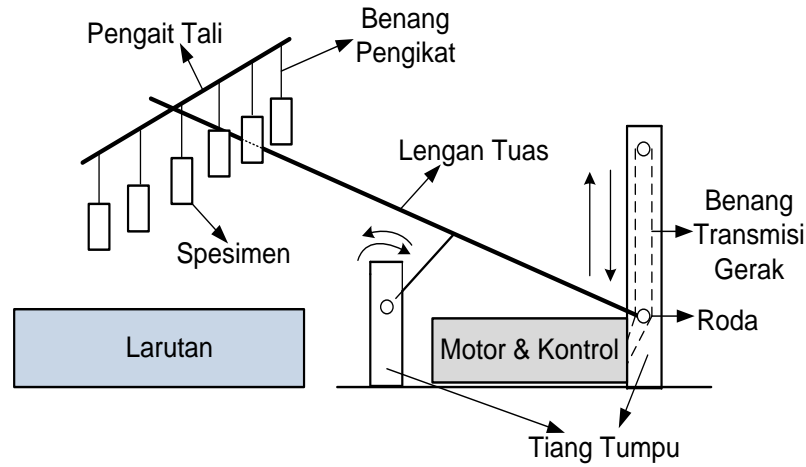
2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan spesimen dari plat bodi mobil yaitu plat *Body automobile* dari Indonesia (*Innova*) sebagai merek T, plat *Body automobile* dari Eropa (*Mercy W124*) sebagai merek M, dan plat *Body automobile* dari Jepang (*CR-V*) sebagai merek C. Spesimen berdimensi 50 mm x 30 mm dengan ketebalan spesimen M = 1 mm, spesimen T dan C = 0,8 mm dan diperlakukan uji korosi *wet – dry cyclic* dan *immersion*.

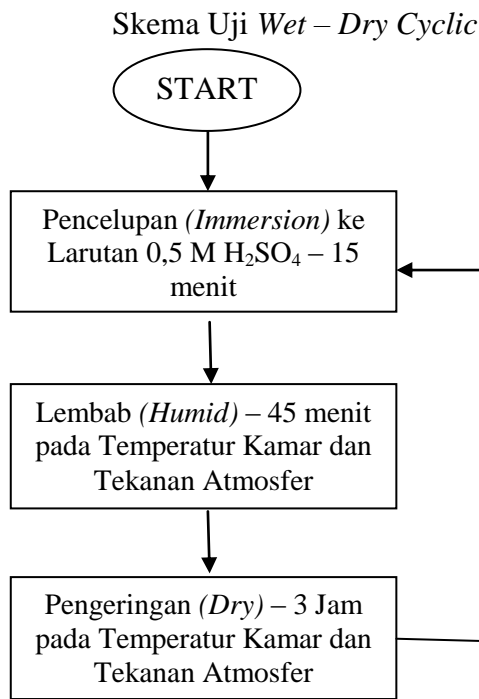
2.1 Uji Wet – Dry Cyclic

Spesimen mendapat perlakuan *wet - dry cyclic* pada interval waktu 20 siklus, 30 siklus, 40 siklus, 50 siklus, dan 60 siklus sesuai pada Gambar 2.2. Dengan menggunakan

alat *cyclic timer set*. Alat ini digunakan sebagai pencelupan spesimen untuk larutan 0,5 M H_2SO_4 .



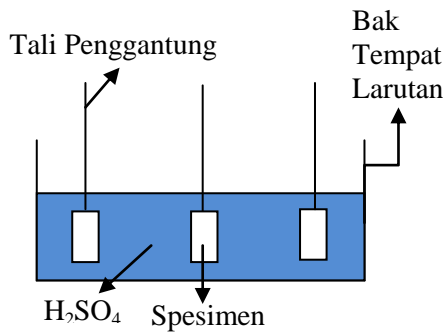
Gambar 2.2 : Skema Peralatan *Wet – Dry Cyclic*



Gambar 2.2 : Skema Uji *Wet – Dry Cyclic*

2.2 Uji *Immersion*

Uji *immersion* ini dilakukan untuk membandingkan dengan uji *wet – dry cyclic*. Uji *immersion* dilakukan dengan interval waktu 80 Jam (setara 20 siklus tanpa pengeringan), 120 Jam (setara 30 siklus tanpa pengeringan), 160 Jam (setara 40 siklus tanpa pengeringan), 200 Jam (setara 50 siklus tanpa pengeringan), dan 240 Jam (setara 60 siklus tanpa pengeringan).



Gambar 2.3 : Skema Uji *immersion*

2.3 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi dihitung dengan metode kehilangan berat (*weight loss*) dan laju korosi pada penelitian ini dinyatakan dengan satuan “mpy” (*miles per year*).

$$\text{Weight loss} = (W_1 - W_0) \text{ gr}$$

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \quad (\text{ASTM, G 1 / 03.02})$$

Dimana :

K = Konstanta ($3,45 \times 10^6$)

W = Kehilangan berat (gr)

A = Luas (cm^2)

T = Waktu/ lama pengujian (Jam)

D = Density (gr/cm^3)

2.4 Uji XRF

Pengujian XRF ini dilakukan dengan alat merek PANalytical tipe MiniPal4 untuk mengetahui komposisi masing-masing spesimen.

2.5 Uji SEM

Karakterisasi awal dapat dilakukan dengan alat bantu mikroskop *Scanning Electron Microscope (SEM)* yang digunakan adalah merek ZEISS tipe EVO IMA 10. Mikroskop SEM merupakan suatu mikroskop yang menggambarkan suatu objek dengan bantuan sumber elektron dengan ditembakkan menyapu daerah seluruh permukaan sampel yang memiliki konduktivitas tinggi sehingga membentuk Gambar tiga dimensi yang berasal dari katoda filamen yang memiliki resolusi tinggi. SEM memiliki perbesaran jutaan kali lebih besar dari mikroskop optic. Selain itu, merupakan alat multifungsi tidak hanya menghasilkan data-data kualitatif tetapi juga data-data kuantitatif.

2.6 Uji XRD

Spektroskopi difraksi sinar-X (*X-ray diffraction/XRD*) yang digunakan adalah merek Philips X'Pert MPD (*Multi Purpose Diffractometer*) System yang merupakan salah satu metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.

3. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Komposisi Bahan dengan Uji XRF

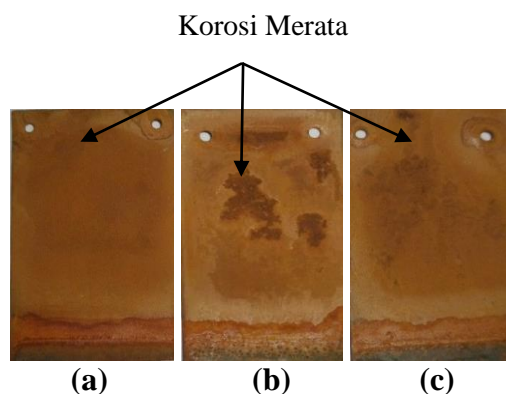
Untuk mengetahui komposisi kimia bodi mobil pada masing - masing merek mobil yang digunakan dalam Tugas Akhir ini maka dilakukan uji XRF (*X-Ray Fluorescence*). Berdasarkan uji XRF yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 3.1 : Hasil Uji Identifikasi Komposisi (% atom) dengan XRF

Unsur Kimia	Spesimen T (%)	Spesimen M (%)	Spesimen C (%)
P	0,33	0,45	1,5
Ca	0,16	0,15	0,16
Cr	-	0,024	-
Mn	0,28	0,085	0,24
Fe	45,59	14,7	36,69
Ni	-	0,060	-
Cu	-	0,068	-
Zn	53,6	84,5	61,4

Pada Tabel 3.1 di atas tertera berbagai macam unsur kimia yang terdapat dalam masing – masing spesimen. Spesimen T memiliki kandungan besi (Fe) terbesar dibanding yang lain yaitu 45,59% dan unsur Fe memiliki kecenderungan terkorosi yang besar. Sedangkan spesimen C kandungan besinya sebesar 36,69% dan spesimen M 14,7% kandungan besinya. Spesimen T dan C memiliki kandungan unsur yang sama tapi prosentasenya beda, sedangkan spesimen M memiliki kandungan unsur yang berbeda. Pada spesimen M, selain memiliki kandungan unsur seperti spesimen T dan C pada spesimen M terdapat unsur – unsur yang memiliki sifat tahan korosi yaitu Cr (Krom), Ni (Nikel) dan Cu (Tembaga). Berdasarkan kandungan unsur besi pada material tersebut, spesimen T memiliki ketahanan korosi relatif rendah kemudian spesimen C ketahanan korosinya lebih baik dan spesimen M ketahanan korosinya paling baik karena memiliki kandungan unsur yang ketahanan korosinya paling besar.

3.1 Pengamatan Makro Spesimen Wet – Dry Cyclic Siklus ke 60



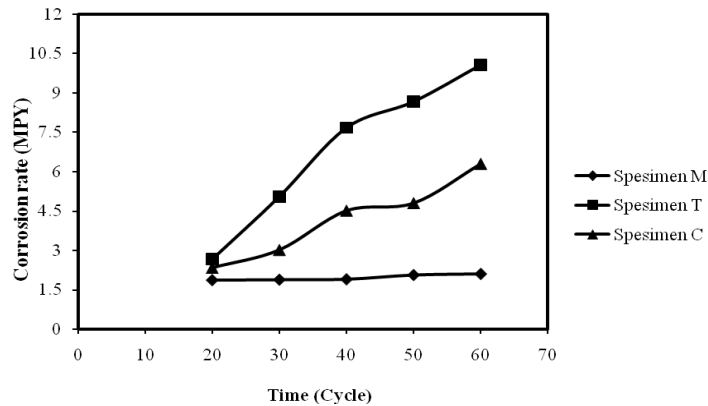
Gambar 3.1 : Foto Makro Uji *Wet – Dry Cyclic* Siklus 60, (a) Spesimen T, (b) Spesimen M, (c) Spesimen C

Pada spesimen T korosi coklat menyebar ke hampir luasan spesimen. Pada awal spesimen terkena larutan H₂SO₄ terjadi oksidasi yang dahsyat (ditandai dengan terjadinya gelembung-gelembung udara yang banyak di sekitar spesimen) yang mengakibatkan spesimen menjadi berwarna hitam dan setelah pengeringan beberapa menit menjadi merah. Bentuk makro yang tidak sama antara bagian atas spesimen dengan bagian bawah spesimen

diakibatkan oleh aliran larutan ke arah bawah akibat dari penggantungan spesimen pada proses pengangkatan di saat pengeringan.

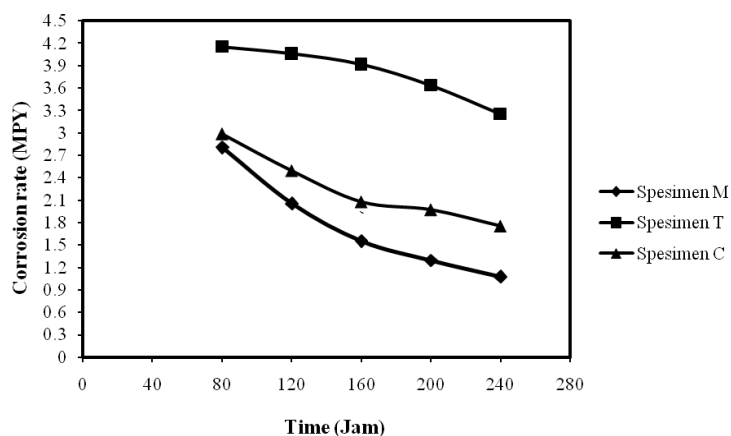
Pada spesimen M memiliki korosi warna coklat yang menyeluruh di permukaan spesimen dengan sedikit penebalan korosi di bagian tertentu yang ditandai warna yang lebih gelap. Sedangkan pada spesimen C memiliki korosi coklat yang menyeluruh di seluruh luasan spesimen dan terdapat bintik – bintik coklat gelap di bagian tengah spesimen. Tampak sangat jelas bahwa pada siklus ke 60 korosi yang terjadi sangat merata dan lebih dahsyat dibanding siklus sebelumnya. Pengamatan secara makro pada ketiga spesimen tersebut memperlihatkan korosi yang terjadi adalah korosi *general*, hal itu tampak dari meratanya korosi pada permukaan spesimen.

3.2 Hasil Perhitungan Laju Korosi



Gambar 3.2 : Grafik Laju Korosi pada Pengujian *Wet – Dry Cyclic*

Dari pengamatan pada Gambar 3.2 di atas didapatkan bahwa spesimen T memiliki laju korosi terbesar kemudian spesimen C dan laju korosi yang paling kecil adalah spesimen M. Laju korosi yang terjadi memiliki tren semakin naik terhadap bertambahnya siklus. Pada spesimen T di saat siklus 20 memiliki laju korosi sebesar 2,6 MPY dan pada siklus ke 60 laju korosinya sebesar 10 MPY. Sedangkan spesimen C pada siklus ke 20 laju korosinya sebesar 2,3 MPY dan pada siklus ke 60 laju korosinya sebesar 6,2 MPY. Pada spesimen M, siklus ke 20 memiliki laju korosi sebesar 1,8 MPY dan pada siklus ke 60 sebesar 2,09 MPY.



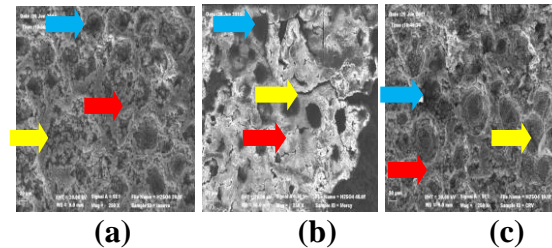
Gambar 3.3 : Grafik Laju Korosi pada Pengujian *Immersion*

Dari pengamatan pada Gambar 3.3 di atas didapatkan bahwa spesimen T memiliki laju korosi terbesar kemudian spesimen C dan laju korosi yang paling kecil adalah spesimen M. Laju korosi yang terjadi memiliki tren semakin menurun terhadap bertambahnya waktu celup. Pada spesimen T di saat waktu 80 Jam memiliki laju korosi sebesar 4,2 MPY dan pada waktu ke 240 Jam laju korosinya sebesar 3,2 MPY. Sedangkan spesimen C pada

waktu ke 80 Jam laju korosinya sebesar 2,9 MPY dan pada waktu ke 240 Jam laju korosinya sebesar 1,7 MPY. Pada spesimen M, waktu ke 80 Jam memiliki laju korosi sebesar 2,8 MPY dan pada waktu ke 240 Jam sebesar 1 MPY.

3.3 Hasil Pengujian SEM

3.3.1 Foto Mikro SEM 250x Pada Spesimen Uji Wet – Dry Cyclic Untuk Siklus ke 60

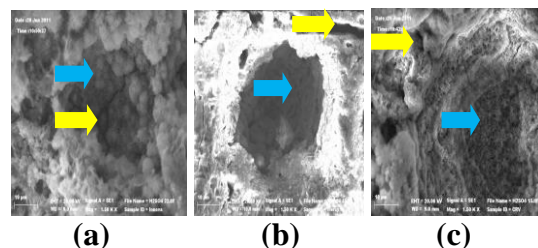


Gambar 3.4 : Foto Mikro dengan SEM Perbesaran 250x a) Spesimen T, b) Spesimen M, dan c) Spesimen C

- ➡ : *Intergranular Corrosion*
- ➡ : *Indikasi Pitting Corrosion*
- ➡ : *General Corrosion*

Spesimen yang difoto mikro adalah spesimen uji *wet – dry cyclic* pada siklus yang paling ekstrim yaitu siklus ke 60. Dari pengamatan foto mikro dengan perbesaran SEM 250x tampak seperti Gambar 4.17. Pada spesimen T terlihat hampir mirip dengan spesimen C bentuk permukaan akibat korosinya. Sedangkan spesimen M tampak sangat terang permukaannya dan begitu jelas *crack* yang terjadi di permukaan spesimen. Ketiga spesimen terdapat bentuk korosi *uniform* yang ditunjukkan anak panah merah, kemudian juga terjadi korosi batas butir yang ditandai dengan adanya *intergranular crack* pada anak panah kuning dan juga ada indikasi korosi sumuran dengan ditandai lubang – lubang pada anak panah biru. Unsur kimia yang menyebabkan *crack* ini antara lain adalah *phosphor*, yang mana ketiga spesimen mengandung *phosphor* yang hampir sama. Pada spesimen M kandungan *phosphor* terbanyak sehingga memiliki *intergranular crack* yang sangat jelas dan banyak, hal ini selain diakibatkan oleh *phosphor* juga diakibatkan oleh unsur *chromium*. Karena *chromium* ini kecenderungan membentuk karbida besar dan akan bergerak ke tempat yang memiliki energi tidak stabil yaitu di batas butir sehingga daerah sekitarnya adanya kekurangan *chromium* dan menjadi seperti baja carbon biasa yang lebih anodik dan bisa berakibat menjadi *intergranular corrosion*.

3.3.2 Foto Mikro SEM 1500x Pada Spesimen Uji Wet – Dry Cyclic Untuk Siklus ke - 60

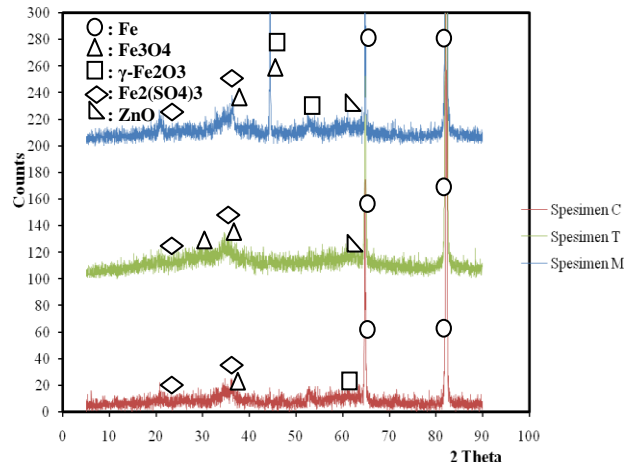


Gambar 3.5 : SEM dengan Perbesaran 1500x a) Spesimen T, b) Spesimen M, dan c) Spesimen C

Dari pengamatan struktur mikro dengan SEM perbesaran 1500x yang ditunjukkan Gambar 4.18 bahwa tampak begitu jelas bentuk korosi pada ketiga spesimen uji. Tampak pada spesimen T terdapat *crack* di dalam lubang sedangkan pada spesimen M *crack* yang

terjadi di sekitar lubang dan pada spesimen C *crack* tampak di sekitar lubang juga. Terlihat sekali perbedaan ketiga spesimen di atas bahwa produk korosi yang tampak di pengujian SEM 1500x di atas sangat berbeda, yang mana spesimen T dan C tampak begitu banyak produk korosinya sedangkan spesimen M tidak begitu tampak. Korosi yang terlihat berdasar Gambar 4.18 adalah *Intergranular Corrosion* yang ditandai dengan *intergranular crack* dan ada indikasi *pitting corrosion*.

3.4 Hasil Pengujian XRD Spesimen Uji Wet – Dry Cyclic Untuk Siklus ke - 60



Gambar 3.6 : Hasil Uji XRD Spesimen

Uji XRD dilakukan dengan sudut penembakan maksimum 2 Theta 90 dengan sumbu x menggambarkan sudut penembakan dan sumbu y menggambarkan counts. Grafik warna hijau merupakan grafik dari spesimen T, yang warna merah adalah grafik spesimen C dan grafik warna biru adalah hasil uji XRD spesimen M. Dari analisa uji XRD ketiga spesimen di atas terlihat bahwa produk korosi yang dihasilkan masing – masing spesimen relatif sama namun ada beberapa yang tidak sama. Pada sudut penembakan 2 theta antara 60 – 70 dan 80 – 90 pada semua spesimen teridentifikasi adanya Fe. Pada spesimen M, dengan sudut penembakan 2 theta antara 40 – 50 teridentifikasi adanya produk korosi yang berupa Fe_3O_4 dan $\gamma-Fe_2O_3$ sedangkan pada spesimen T dan C tidak teridentifikasi. Dengan sudut penembakan antara 30 – 40 ketiga spesimen diketahui adanya Fe_3O_4 pada sudut penembakan 2 theta yang lebih mendekati 40 dan yang lebih mendekati 30 adalah $Fe_2(SO_4)_3$, produk korosi ini ($Fe_2(SO_4)_3$) juga teridentifikasi pada sudut 2 theta 20. Pada sudut mendekati 60 pada uji XRD spesimen M dan spesimen T juga teridentifikasi adanya ZnO sedangkan pada spesimen C tidak diketemukan. Pada sudut penembakan 2 theta antara 50 – 60 teridentifikasi adanya $\gamma-Fe_2O_3$ sedangkan pada spesimen T tidak teridentifikasi akan tetapi dengan sudut penembakan 2 theta teridentifikasi Fe_3O_4 pada spesimen T dan pada spesimen yang lain tidak teridentifikasi.

4. KESIMPULAN

1. Dari hasil pengamatan, analisa data dan pengujian statistik, disimpulkan bahwa laju korosi yang tertinggi untuk spesimen uji *wet – dry cyclic* dialami oleh siklus yang ke 60. Spesimen yang mengalami laju korosi terbesar adalah spesimen T = 10.07301613 MPY, kemudian spesimen C = 6.292531955 MPY dan terkecil adalah spesimen M sebesar 2.092593866 MPY. Laju korosi pada pengujian *wet-dry cyclic* lebih besar dibanding pada pengujian *immersion*. Laju korosi uji *immersion* terbesar pada waktu 80 jam atau di awal uji, yaitu untuk spesimen T = 4.155330194 MPY, spesimen C 2.989416145 MPY dan spesimen M sebesar 2.804416054 MPY. Dapat diketahui bahwa spesimen T mengalami laju terbesar di kedua pengujian tersebut, lalu spesimen C dan laju korosi terkecil adalah

spesimen M. Dengan pengujian *wet – dry cyclic* laju korosi yang terjadi lebih besar daripada dengan pengujian *immersion*.

2. Berdasarkan hasil analisa data dan pengujian karakterisasi didapatkan bahwa asam sulfat (H₂SO₄) mempengaruhi bentuk korosi yang terjadi adalah korosi *uniform*, *intergranular corrosion* dan indikasi *pitting corrosion*. Produk korosi yang terbentuk meliputi karat coklat Fe₂O₃ (*Ferrit Oxide*), Fe₂(SO₄)₃ (*Iron Sulfat*) dan Fe₃O₄ (karat hitam) dan *Zink Oxide* (ZnO) pada spesimen M dan T.

5. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM G1-03 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimen.
- BMKG (2011). "Tingkat Keasaman (pH) Air Hujan di Indonesia (Maret, April dan Mei 2011)". www.bmg.go.id
- Bocos, J. L., F. Zubiri, F. Garcandia, J. Pena, A. Cortiella, J. M. Berrueta and F. Zapirain (2005). "Application of the diode laser to welding on tailored blanks." *Welding International* 19(7): pp.539~543.
- Callister Jr., W. D. (1997). *Materials Science and Engineering, an Introduction. Fourth Edition*. New
- Fontana, Mars. (1987). "Corrosion Engineering, third edition".
- Ganisaf, Taufan. (2005). "Studi Eksperimental Perbandingan Laju Korosi Plat Body Mobil Niaga Terhadap Air Sumur". Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- I.S Cole, N. Shahzad, A. Kanta, M. Venkatraman, *Int. Mater. Rev.* 54 (3) (2009) 117–135.
- J. Tidblad, A.A. Mikaliov, V. Kucera, (1998) in: *Proceedings of the UN/ECE Workshop on Quantification of Effects of Air Pollutants on Materials*. Berlin. Germany. 24–27 May, p. 77.
- KR. Trethewey, J. Chamberlain, (1991). "Korosi untuk mahasiswa dan Rekayasawan", hal 136-151, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Moran, J. P., P. R. Ziman and T. R. Kipp (1995). *Cosmetic corrosion of painted aluminium automotive body sheet: results from outdoor and accelerated laboratory testing*. Philadelphia, PA, American Society for Testing and Materials.
- Oh, S. J., D. C. Cook and H. E. Townsend (1998). "Characterization of iron oxides commonly formed as corrosion products on steel." *Hyperfine Interactions* 122(1): pp.59~65.
- Repp, J. (2002). "Status Update - J2334 Corrosion Test (US Army Corrosion Summit)." 2006, from www.armycorrosion.com.
- Roudabush, L. A., D. C. McCune and H. E. Townsend (1995). *Update on the Development of An Improved Cosmetic Corrosion Test By the Automotive and Steel Industries*. Philadelphia, PA, American Society for Testing and Materials.
- SAE J2334. Rev. Oct (2002). "Surface Vehicle Standard". SAE International
- Shreir, L.L. ; Jarman, R.A ; Burstein, G.T, (1994). *Corrosion, Metal / Environment Reactions 3rd Edition*, Chapter 2 (page 2.1 – 2.9), Oxford.
- Sulistijono, (2000). "Korosi dan pengendalian Korosi". Teknik Material dan Metalurgi ITS. Surabaya.
- T.E. Graedel, *Corros.* (1998) *Sci.* 38 (12) 2153.
- Yadav, A. P., A. Nishikata and T. Tsuru (2004). "Degradation mechanism of galvanized steel in wet-dry cyclic environment containing chloride ions." *Corrosion Science* 46(2): pp.361~376.
- Zhang, X. G. (1996). "Corrosion and Electrochemistry of Zinc". New York, Plenum Publication Co.

Zhu, F., D. Persson, D. Thierry and C. Taxen (2000). "*Formation of Corrosion Products on Open and Confined Zinc Surfaces Exposed to Periodic Wet/Dry Conditions.*" *Corrosion*_56(12): pp.1256~1265.

(2002). "*Automotive Steel Design Manual Rev.6.1.*" 2008, from <http://www.a-sp.net/database/default.asp?doc=28>.