

Analisis inhibitor korosi *alodine 1500* terhadap logam paduan aluminium 2219-T62

Aditya Eka Nugraha, I Gusti Ayu Arwati

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

Article Info

Article history

Received July 29, 2022

Revised November 24, 2022

Accepted December 27, 2022

Keywords

Aluminium Alloy 2219;

Korosi;

Kehilangan Massa;

Alodine 1500;

ABSTRACT

Aluminum alloy 2219 has good mechanical properties, but has lower corrosion resistance than other series aluminum alloys in humid environment. This condition may limit the usefulness of this material. Therefore, it is necessary to provide corrosion protection treatment. In this study, the corrosion rate of aluminum alloy 2219 was analyzed using the weight loss or immersion method in rainwater which after being examined using litmus paper showed that rainwater in Tangerang City had a pH of 6. Simultaneously carried out an analysis of the efficiency of the use of alodine 1500 as an aluminum alloy 2219 inhibitor. The specimen used is aluminum alloy 2219 T62, cut to dimensions of 50 mm × 25 mm with a thickness of 1,8 mm and cleaned of dirt and corrosion that might exist using sandpaper and then cleaned using a chemical solution (pickling). Then the specimens were divided into two groups where one group was given alodine 1500 treatment, while the other group was not given any inhibition treatment. After that, the two groups of specimens were immersed in a rainwater solution with variations of immersion for 336 hours, 504 hours, and 672 hours, then the corrosion rate was calculated and the efficiency of the use of alodine 1500 as an aluminum alloy 2219 inhibitor was also calculated. The morphology and chemical composition of the specimens were then investigated using Scanning Electron Microscopic – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX).

This is an open-access article under the [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



*Corresponding Author

Aditya Eka Nugraha,

Jurusan Teknik Mesin,

Fakultas Teknik,

Universitas Mercu Buana,

Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia

Email: adityanugraha175@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Aluminium adalah metal yang paling sering digunakan di industri kedirgantaraan karena ringan, kuat dan cukup tahan terhadap korosi [1]. Aluminium tahan terhadap jenis oksidasi progresif yang menyebabkan baja menjadi berkarat. Permukaan aluminium yang terbuka bereaksi dengan oksigen membentuk lapisan tipis aluminium oksida yang mencegah oksidasi lebih lanjut [2].

Korosi adalah sebuah fenomena degradasi dari logam dan paduannya. Korosi adalah sebuah kemunduran baik secara perlahan, progresif ataupun cepat dari sifat-sifat logam seperti penampilannya, aspek

permukaannya atau sifat mekaniknya di bawah pengaruh lingkungan sekitarnya seperti atmosfer, air, air laut, bermacam larutan, lingkungan organik, dan sebagainya [3]. Degradasi dan kehilangan dari kualitas material ini disebabkan oleh reaksi kimia dalam proses elektrokimia dengan lingkungan korosif. Korosi juga dapat menimbulkan kerugian, seperti biaya perawatan, biaya penggantian material, penutupan pabrik, kerugian produksi, dan sebagainya [4].

Paduan aluminium 2219 sering digunakan untuk penggunaan di luar angkasa atau di industri dirgantara contohnya untuk tangki bahan bakar pesawat luar angkasa dan untuk konstruksi yang disambung dengan cara pengelasan [5]. Pada pesawat boeing B737-800 material paduan aluminium 2219 dengan spesifikasi AMS-QQ-A-250/30 digunakan sebagai material lip skin engine inlet cowl [6]. Kekuatan mekanis dari logam paduan aluminium 2219 sangat dibutuhkan pada komponen lip skin engine inlet cowl. Kisaran deformasi panas dari logam paduan aluminium 2219 berada pada 200°C lebih tinggi daripada aluminium murni [7]. Logam paduan ini cocok digunakan sebagai material struktural yang digunakan pada suhu tinggi (hingga 315°C atau 600°F). Dan akan memiliki ikatan yang kuat pada struktur dengan tipe sambungan las, serta memiliki ketangguhan terhadap patah yang tinggi [2]. Aluminium 2219 juga digunakan sebagai material *brake caliper*. Menurut Wagh [8], *brake caliper* yang menggunakan aluminium 2219 memiliki *stress* maksimum yang lebih rendah daripada *brake caliper* berbahan aluminium 6061 karena memiliki koefisien ekspansi panas lebih rendah, modulus elastisitas yang lebih tinggi dan lebih kuat daripada aluminium 6061.

Logam paduan aluminium 2219 sendiri memiliki sifat antara lain: modulus elastisitas tinggi, kekuatan maksimum pada temperatur yang tinggi, kekuatan tarik yang tinggi dan dapat dilas namun memiliki ketahanan korosi yang relatif rendah dibanding paduan aluminium lainnya [1]. Kandungan CuAl₂ pada aluminium 2219 menambahkan kekuatan pada material ini namun juga mengurangi ketahanan korosinya karena pembentukan sel-sel galvanis antara CuAl₂ dan matriks aluminium [9]. Ketahanan korosi yang relatif rendah dibanding paduan aluminium lainnya dapat membatasi kegunaan material ini, sedangkan aluminium 2219 memiliki sifat-sifat mekanis yang baik dan dibutuhkan sebagai material komponen-komponen tertentu.

Keadaan lingkungan yang lembab disinyalir menjadi penyebab seringnya timbul kasus korosi. Walaupun aluminium merupakan logam yang cukup tahan terhadap korosi, namun aluminium akan tetap terkorosi pada lingkungan yang korosif dan lingkungan atmosfer lembab dan hujan [10]. Untuk memperlambat laju korosi dan mengatasi kekurangan aluminium 2219, logam ini perlu diberikan perlakuan perlindungan korosi menggunakan inhibitor korosi [3].

Inhibitor korosi adalah zat kimia yang ketika diaplikasikan terhadap suatu lingkungan dalam konsentrasi yang kecil maka secara efektif akan menurunkan laju korosi [11]. Salah satu inhibitor yang sering diaplikasikan pada aluminium adalah *chemical conversion*. Perlakuan *Chemical Conversion* bertujuan untuk membentuk lapisan oksida kompleks tipis yang mencapai ketebalan 500 hingga 600 nm. Fungsi dari lapisan *conversion* ini adalah untuk menghasilkan lapisan pada permukaan aluminium untuk meningkatkan ketahanan korosi dan juga meningkatkan daya rekat cat. Keunggulan dari proses ini adalah waktu perendamannya yang singkat [3]. Pada penelitian ini jenis *chemical conversion* yang digunakan adalah *conversion coating* dengan cairan *alodine 1500*. *Alodine 1500* merupakan cairan kimia yang digunakan untuk menciptakan lapisan pelindung yang tidak berwarna pada aluminium. Lapisan ini dapat meminimalisir terjadinya korosi dan juga meningkatkan daya rekat yang lebih baik untuk proses pengecatan [12]. Dalam penelitian ini akan dianalisis laju korosi dari paduan aluminium 2219-T62 menggunakan metode kehilangan massa dengan larutan air hujan. Juga dianalisis penggunaan inhibitor *alodine 1500* terhadap paduan aluminium 2219-T62 dan dihitung efisiensi inhibitorynya. Analisis menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray*) digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi kimia paduan aluminium 2219 setelah perendaman dan dibandingkan antara spesimen tanpa proteksi dengan spesimen yang diberi perlakuan inhibisi.

Pada penelitian ini digunakan rumus-rumus untuk menghitung laju korosi dan juga menghitung efisiensi dari inhibitor yang digunakan terhadap spesimen.

- Menghitung Laju Korosi

Untuk menghitung laju korosi spesimen dapat menggunakan rumus dengan persamaan (1) berikut [13]:

$$\text{Laju Korosi (CR)} = \frac{m_1 - m_2}{A \cdot t} \quad (1)$$

Di mana:

- CR = Laju Korosi (mg/cm²jam)
- m₁ = Massa awal (mg)
- m₂ = Massa akhir (mg)
- A = Luas permukaan spesimen (cm²)
- t = Waktu Perendaman (jam)

- Menghitung Efisiensi Inhibitor

Untuk menghitung efisiensi inhibitor yang diaplikasikan kepada spesimen dapat menggunakan rumus dengan persamaan (2) berikut [11]:

$$\text{Efisiensi Inhibitor (\%)} = 100 \frac{CR_{\text{uninhibited}} - CR_{\text{inhibited}}}{CR_{\text{uninhibited}}} \quad (2)$$

Di mana:

$CR_{\text{uninhibited}}$ = Laju korosi dari sistem yang tidak diberi inhibitor

$CR_{\text{inhibited}}$ = Laju korosi dari sistem yang diberi inhibitor

Rumus (1) dan (2) digunakan untuk mengolah data hasil dari pengujian yang telah dilaksanakan. Hasil dari pengolahan data menggunakan rumus (1) akan menghasilkan nilai laju korosi spesimen dalam ($\text{mg}/\text{cm}^2\text{-jam}$). Kemudian hasil penghitungan laju korosi diolah menggunakan rumus (2) untuk memperoleh nilai efisiensi penggunaan inhibitor dalam (%).

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan metode kehilangan massa mengikuti standar ASTM G31-72 [14]. Metode kehilangan massa adalah pengujian laju korosi dengan menghitung massa dari benda yang diuji setelah dimasukkan kedalam larutan korosif dengan ketentuan waktu tertentu [15]. Pengujian laju korosi dilaksanakan menggunakan standar ASTM G 31 – 72 dengan tambahan perlakuan inhibisi pada satu dari dua kelompok spesimen kemudian morfologi permukaan dan komposisi unsur kimia spesimen diteliti menggunakan SEM-EDX.

2.1. Metode

Berikut adalah metode yang digunakan dalam penelitian ini:

2.1.1. Persiapan Spesimen

Mempersiapkan spesimen logam paduan aluminium 2219 T62 dan dipotong dengan dimensi $50 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 1,8 \text{ mm}$. Kemudian setiap spesimen diberi identifikasi dengan cara diukir lalu diampelas menggunakan kertas ampelas *grid* 80 untuk menghilangkan lapisan pelindung logam ataupun menghilangkan korosi yang mungkin ada kemudian dihaluskan menggunakan kertas ampelas *grid* 400. Kemudian spesimen dibersihkan secara kimia untuk menghilangkan kotoran, korosi, atau lapisan yang ada pada spesimen yang jika dibiarkan dapat mengganggu keakuratan hasil uji. Larutan yang digunakan untuk *pickling* yaitu *alkaline clean* dengan perendaman selama 10 menit dengan suhu 45°C mengikuti standar BAC 5749 (*Alkaline Cleaning*). Setelah itu spesimen dibilas dengan air suling dan dikeringkan. Selanjutnya spesimen direndam lagi dalam larutan *deoxidizer* pada suhu ruangan selama 5 menit mengikuti standar BAC 5765 (*Cleaning and Deoxidizing Aluminum Alloy*) setelah itu dibilas lagi menggunakan air suling dan dikeringkan.

2.1.2. Pengaplikasian *Conversion Coating alodine 1500*

Sebelumnya spesimen dipisahkan menjadi dua kelompok yang nantinya satu kelompok diberi perlakuan *Conversion Coating alodine 1500*, dan satu kelompok tidak diberi perlakuan inhibisi. Spesimen yang mendapatkan perlakuan *Conversion Coating alodine 1500* akan direndam dalam cairan *alodine 1500* selama 3 menit dalam suhu ruangan, kemudian dibilas menggunakan air suling dan dikeringkan mengacu pada *Bonderite M-CR 1500 Aero Technical Data Sheet*.

2.1.3. Perendaman Spesimen Dalam Air Hujan

Sebelum direndam semua spesimen ditimbang satu per satu menggunakan timbangan yang memiliki ketelitian setidaknya $0,001 \text{ g}$ kemudian dicatat sesuai identifikasinya sebagai massa awal. Selanjutnya spesimen paduan aluminium 2219 dimasukkan dalam wadah perendaman berisi air hujan yang diambil di kota Tangerang, Banten dan diberikan identifikasi pada tiap-tiap wadah perendaman. Perendaman dilaksanakan selama 336 jam, 504 jam dan 672 jam pada suhu ruang (28°C). Setelah proses perendaman spesimen selesai, kemudian spesimen diangkat dan dibersihkan dari korosi yang terbentuk dengan cara mekanikal menggunakan kertas ampelas kemudian dilanjutkan dengan pembersihan kimia (*pickling*). Setelah spesimen dibersihkan, kemudian spesimen ditimbang kembali massanya setelah proses pengujian dan dicatat sesuai identifikasinya sebagai massa akhir yang nantinya akan dihitung kehilangan massanya.

2.1.4. Menghitung Laju Korosi dan Efisiensi Inhibitor

Perhitungan laju korosi dilaksanakan pada setiap logam uji sesuai identifikasinya baik yang diberi perlakuan *Conversion Coating alodine 1500* maupun yang tidak dan nantinya akan dihitung efisiensi dari perlakuan *Conversion Coating alodine 1500* pada logam paduan aluminium 2219. Perhitungan laju korosi menggunakan rumus yang mengacu pada persamaan (1). Sedangkan untuk menghitung efisiensi inhibitor dapat menggunakan persamaan (2).

2.1.5. Pengujian Morfologi Permukaan menggunakan SEM-EDX

Dilakukan pengujian menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi unsur kimia spesimen baik yang diberi perlakuan *Conversion Coating alodine 1500* maupun yang tidak sebelum korosi dan setelah korosi.

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah instrumen yang menghasilkan gambar yang diperbesar dengan mengungkapkan informasi berskala mikroskopik pada ukuran, bentuk, komposisi, kristalografi, dan sifat-sifat fisika dan kimia lainnya dari suatu spesimen [16]. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian menggunakan SEM pada spesimen untuk mengetahui perubahan bentuk permukaan spesimen dan apakah ada perubahan komposisi kimia dari spesimen sebelum dilakukan perendaman maupun yang sudah, baik pada spesimen tanpa inhibitor maupun spesimen dengan inhibitor.

2.2. Alat dan Bahan

2.2.1. Alat

Berikut adalah alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini:

Pneumatic High Speed Gun + Cutting Wheel
Kikir
Mesin Potong *Sheet Metal*
Kertas Ampelas *grid* 80 dan 400
Hot Plate & Temperature Regulator Device
Gelas Ukur
Timbangan Digital
Termometer
Penggaris
Spidol
Wadah Perendaman
Pinset
Alat Uji SEM-EDX

2.2.2. Bahan

Berikut adalah bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

Logam Paduan Aluminium 2219 T62
Alodine 1500
Alkaline Clean
Deoxidizer
Air Suling
Air Hujan

3. HASIL DAN DISKUSI

Dalam bab ini akan dijelaskan hasil analisis efisiensi inhibitor korosi *alodine 1500* pada spesimen logam paduan aluminium 2219 dengan dimensi 50 mm × 25 mm × 1,8 mm yang direndam dalam media air hujan selama 336 jam, 504 jam, dan 672 jam. Analisis dilaksanakan dengan cara pengujian laju korosi menggunakan metode kehilangan massa mengacu pada ASTM G 31-72 [14] dengan penghitungan laju korosi menggunakan rumus pada persamaan (1) [13]. Kemudian efisiensi inhibitor dihitung menggunakan rumus pada persamaan (2) [11]. Dan analisis morfologi permukaan logam dan komposisi unsur kimia yang terkandung pada spesimen diuji menggunakan SEM-EDX.

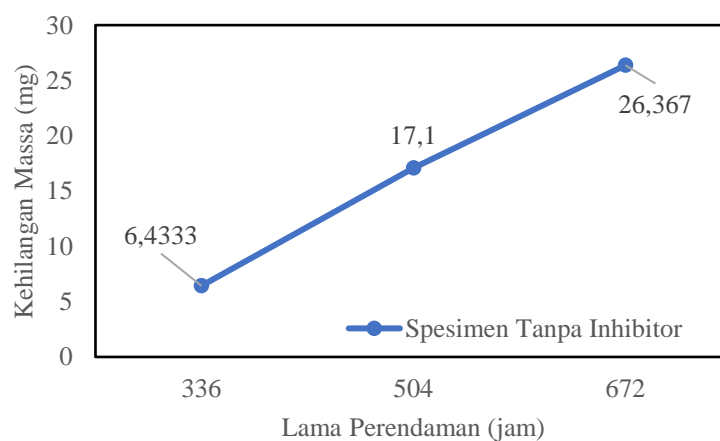
3.1. Analisis Laju Korosi pada Spesimen Tanpa Inhibitor

Setelah spesimen tanpa inhibitor direndam dalam media air hujan selama 336 jam, 504 jam, dan 672 jam pada suhu ruang (28°C), spesimen diangkat dan diamati korosi yang terbentuk pada permukaan spesimen. Kemudian korosi yang timbul pada permukaan spesimen dihilangkan menggunakan kertas ampelas *grid* 400 untuk korosi yang ringan, sedangkan untuk korosi yang cukup berat menggunakan ampelas *grid* 80 terlebih dahulu kemudian dihaluskan menggunakan *grid* 400. Setelah itu spesimen ditimbang massa akhirnya (m_2) dan dilakukan penghitungan laju korosi menggunakan rumus pada persamaan (1), sehingga diperoleh data yang tertuang pada tabel 1. berikut:

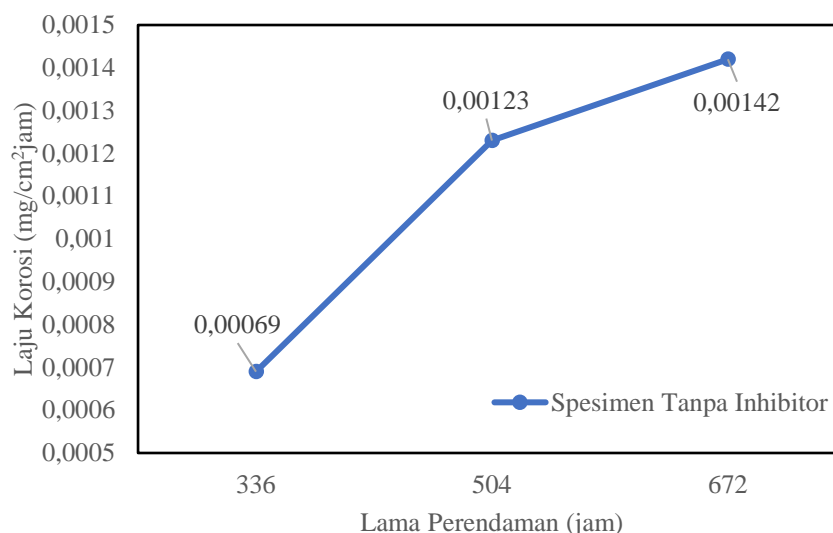
Tabel 1: Hasil Perhitungan Laju Korosi pada Aluminium 2219 T62 Tanpa Inhibisi

Nomor Spesimen	Waktu Perendaman (jam)	Massa Awal (mg)	Massa Akhir (mg)	Kehilangan Massa (mg)	Rata-rata Kehilangan Massa (mg)	Laju Korosi (mg/cm^2 jam)
09		6525,4	6517,7	7,7		
12	336	5822,9	5815,8	7,1	6,4333	0,00069
15		5854,5	5850	4,5		
01		6292	6276	16		
03	504	6379,5	6359,6	19,9	17,1	0,00123
04		6327,6	6312,2	15,4		
05		6688,7	6663,4	25,3		
07	672	5950,4	5921,2	29,2	26,367	0,00142
08		6432	6407,4	24,6		

Pada tabel 1 di atas dijelaskan mengenai laju korosi dari spesimen tanpa inhibitor yang direndam dalam larutan air hujan. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa kehilangan massa spesimen menjadi semakin besar seiring bertambahnya waktu atau lama perendaman. Begitu pula laju korosi juga semakin meningkat seiring bertambahnya waktu, di mana laju korosi rata-rata terbesar terjadi pada proses perendaman 672 jam yaitu sebesar 0,00142 mg/cm^2 jam. Pengaruh waktu terhadap kehilangan massa digambarkan pada grafik gambar 1. Sedangkan pengaruh waktu terhadap laju korosi digambarkan pada grafik gambar 2. Pada gambar 1 dan gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu perendamannya, maka semakin meningkat kehilangan massa dan laju korosinya.



Gambar 1: Grafik hubungan lama perendaman dengan kehilangan massa pada spesimen tanpa inhibitor



Gambar 2: Grafik hubungan lama perendaman dengan laju korosi pada spesimen tanpa inhibitor

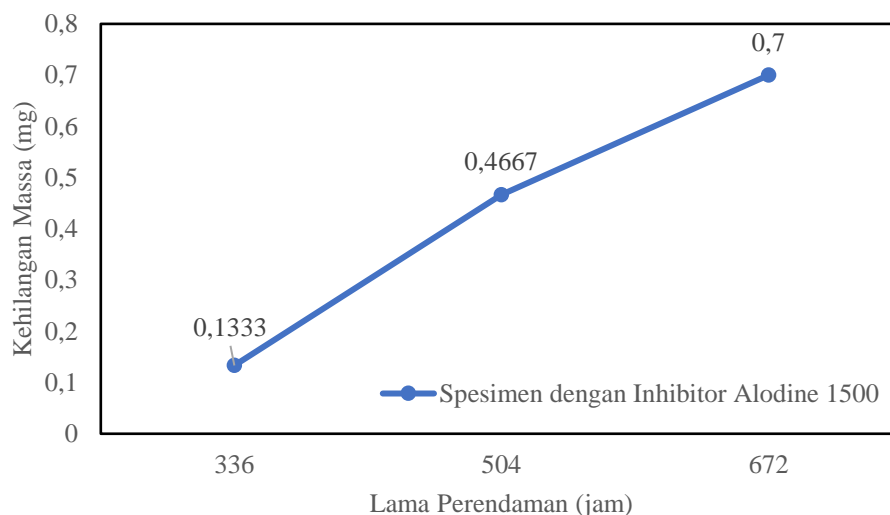
3.2. Analisis Laju Korosi pada Spesimen dengan Inhibitor Alodine 1500

Setelah spesimen yang diberikan perlakuan inhibitor *alodine* 1500 direndam dalam media air hujan selama 336 jam, 504 jam, dan 672 jam pada suhu ruang (28°C), spesimen diangkat dan diamati korosi yang terbentuk pada permukaan spesimen. Kemudian korosi yang timbul pada permukaan spesimen dihilangkan menggunakan kertas ampelas *grid* 400 untuk korosi yang ringan, sedangkan untuk korosi yang cukup berat menggunakan ampelas *grid* 80 terlebih dahulu kemudian dihaluskan menggunakan *grid* 400. Setelah itu spesimen ditimbang massa akhirnya (m₂) dan dilakukan penghitungan laju korosi menggunakan rumus pada persamaan (1), sehingga diperoleh data yang tertuang pada tabel 2. berikut:

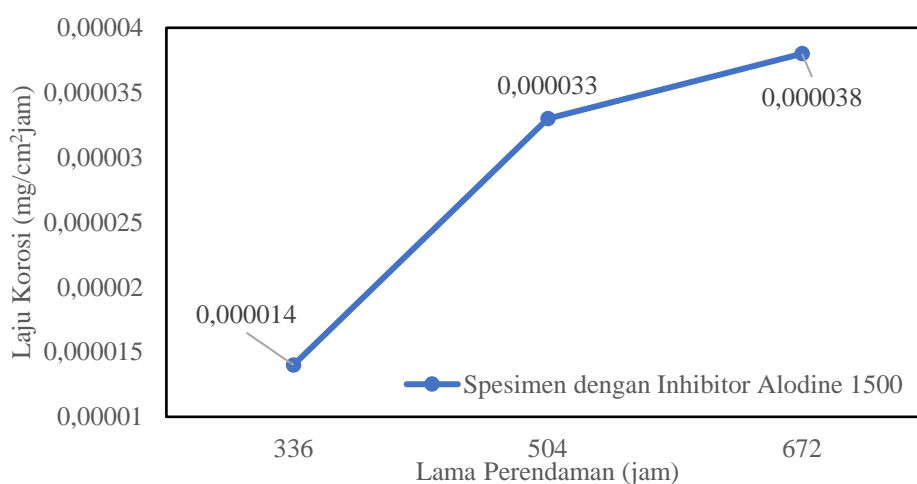
Tabel 2: Hasil Perhitungan Laju Korosi pada Aluminium 2219 T62 dengan Inhibisi *Alodine* 1500

Nomor Spe-simen	Waktu Perenda-man (jam)	Massa Awal (mg)	Massa Akhir (mg)	Kehilangan Massa (mg)	Rata-rata Kehilangan Massa (mg)	Laju Korosi (mg/cm ² jam)
11		5740,2	5740,1	0,1		
13	336	6456,4	6456,3	0,1	0,1333	0,000014
14		6398	6397,8	0,2		
17		6490,8	6490,4	0,4		
19	504	6738,7	6738,2	0,5	0,4667	0,000033
20		6598,5	6598	0,5		
02		5903,5	5902,9	0,6		
06	672	6739,9	6739,1	0,8	0,7	0,000038
10		6294	6293,3	0,7		

Pada tabel 2. di atas dijelaskan mengenai laju korosi dari spesimen dengan inhibitor *alodine* 1500 yang direndam dalam larutan air hujan. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa kehilangan massa spesimen menjadi semakin besar seiring bertambahnya waktu atau lama perendaman. Pengaruh lama perendaman terhadap kehilangan masa digambarkan dalam grafik pada gambar 3. Begitu pula laju korosi juga semakin meningkat seiring bertambahnya waktu yang dapat dilihat pada gambar 4. Namun dapat dilihat bahwa kehilangan massa dari spesimen dengan perlakuan *alodine* 1500 jauh lebih kecil dibandingkan dengan kehilangan massa dari spesimen tanpa inhibitor. Begitu pula dengan laju korosinya yang mana laju korosi terbesar dari spesimen dengan inhibitor *alodine* 1500 sebesar 0,000038 mg/cm²jam pada lama perendaman 672 jam, sedangkan laju korosi terbesar dari spesimen tanpa inhibitor mencapai 0,00142 mg/cm²jam pada lama perendaman 672 jam.



Gambar 3: Grafik hubungan lama perendaman dengan kehilangan massa pada spesimen dengan inhibitor *alodine* 1500



Gambar 4: Grafik hubungan lama perendaman dengan laju korosi pada spesimen dengan inhibitor *alodine* 1500

3.3. Analisis Efisiensi Inhibitor *Alodine* 1500 Terhadap Paduan Aluminium 2219 T62

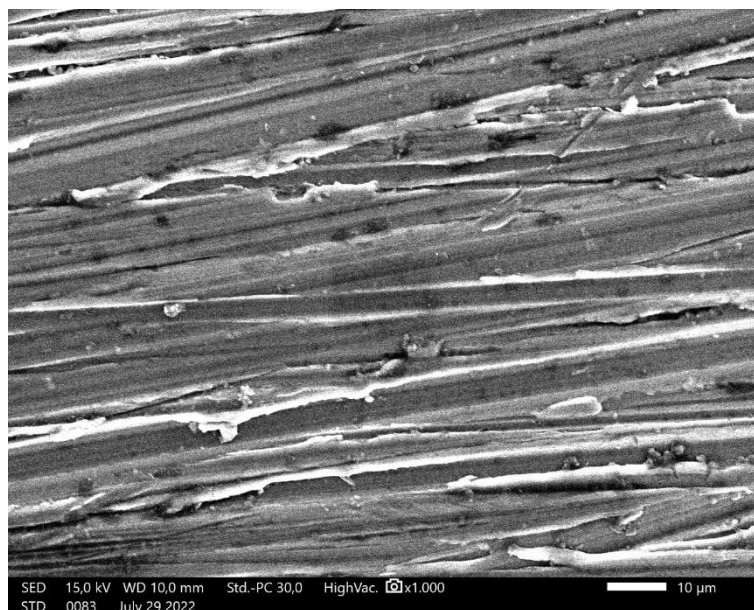
Setelah diketahui laju korosi dari masing-masing kelompok spesimen baik yang tidak mendapatkan perlakuan inhibisi maupun yang mendapatkan perlakuan inhibisi *alodine* 1500, selanjutnya dihitung efisiensi dari pengaplikasian *alodine* 1500 terhadap paduan aluminium 2219 T62 dengan cara membandingkan laju korosi dari spesimen dengan inhibisi dengan spesimen yang tidak diberi perlakuan inhibisi. Penghitungannya menggunakan rumus pada persamaan (2), sehingga diperoleh data seperti pada tabel 3. berikut:

Tabel 3: Hasil Perhitungan Efisiensi Inhibitor Terhadap Aluminium 2219 T62

Inhibitor	Lama Perendaman (jam)	Efisiensi Inhibitor (%)
<i>Alodine</i> 1500	336	97,93
	504	97,27
	672	97,34

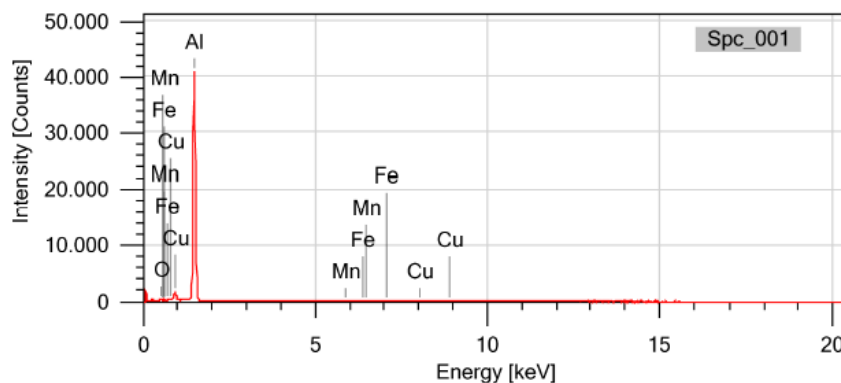
3.4. Hasil SEM-EDX Terhadap Spesimen Tanpa Inhibisi

Pada kelompok spesimen yang tidak diberikan perlakuan inhibisi diambil dua buah spesimen. Satu spesimen yang tidak dilakukan uji perendaman dan satunya lagi adalah spesimen yang telah direndam dalam air hujan selama 672 jam dan kemudian dapat diamati perbedaannya.



Gambar 5: Hasil uji SEM pada spesimen tanpa inhibisi tanpa perendaman air hujan

Gambar 5 adalah hasil pengujian SEM pada spesimen paduan aluminium 2219-T62 tanpa inhibisi yang tidak direndam dalam air hujan. Hasil pengujian ini diperbesar dengan 1000 kali pembesaran menggunakan alat SEM. Dapat dilihat permukaan spesimen masih bersih tanpa korosi.

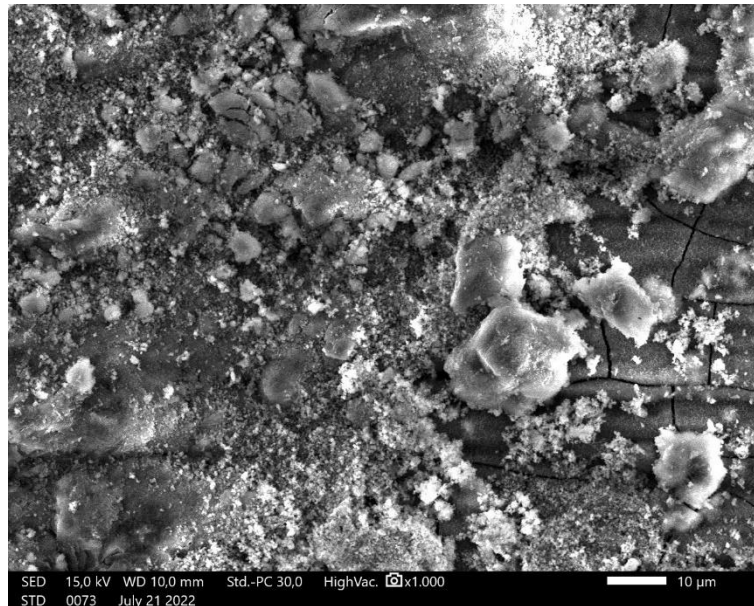


Gambar 6: Hasil EDX pada spesimen tanpa inhibisi tanpa perendaman air hujan

Tabel 4: Komposisi Unsur pada Spesimen Tanpa Inhibisi Tanpa Perendaman Air Hujan

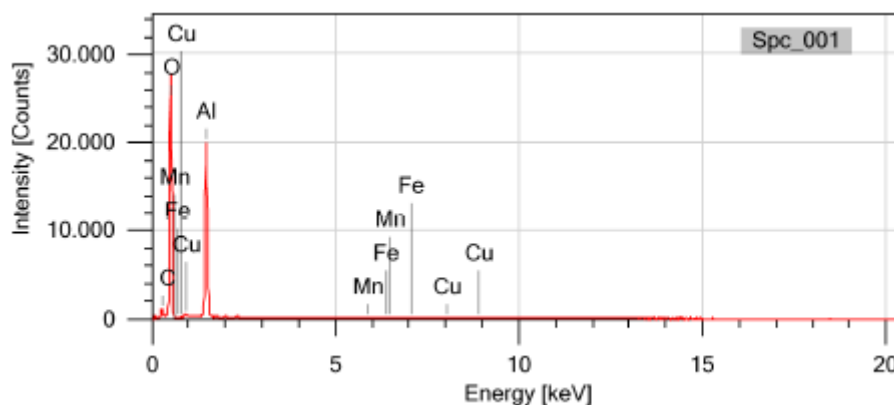
Unsur	Line Type	Massa (%)	Atom (%)
O	K series	1,45 ± 0,04	2,51 ± 0,06
Al	K series	92,81 ± 0,23	94,97 ± 0,23
Mn	K series	0,31 ± 0,04	0,16 ± 0,02
Fe	K series	0,14 ± 0,04	0,07 ± 0,02
Cu	K series	5,29 ± 0,19	2,30 ± 0,08
Total		100,00	100,00

Gambar 6 dan tabel 4 merupakan hasil dari EDX yang menunjukkan spektrum dan komposisi unsur pada permukaan spesimen paduan aluminium 2219-T62 tanpa inhibisi tanpa perendaman air hujan. Dari gambar dan tabel tersebut dapat dilihat bahwa unsur aluminium (Al) pada permukaan spesimen sangat dominan yaitu sebanyak 92,81% sedangkan unsur oksigen (O) hanya sedikit yaitu 1,45%.



Gambar 7: Hasil uji SEM pada spesimen tanpa inhibisi yang direndam dalam air hujan selama 672 jam

Gambar 7 adalah hasil pengujian SEM pada spesimen paduan aluminium 2219-T62 tanpa inhibisi yang direndam dalam air hujan selama 672 jam. Hasil pengujian ini diperbesar dengan 1000 kali pembesaran menggunakan alat SEM. Dapat dilihat bahwa morfologi permukaan spesimen penuh dengan deposit korosi serta terdapat retakan dan poros pada permukaannya.



Gambar 8: Hasil EDX pada spesimen tanpa inhibisi yang direndam dalam air hujan selama 672 jam

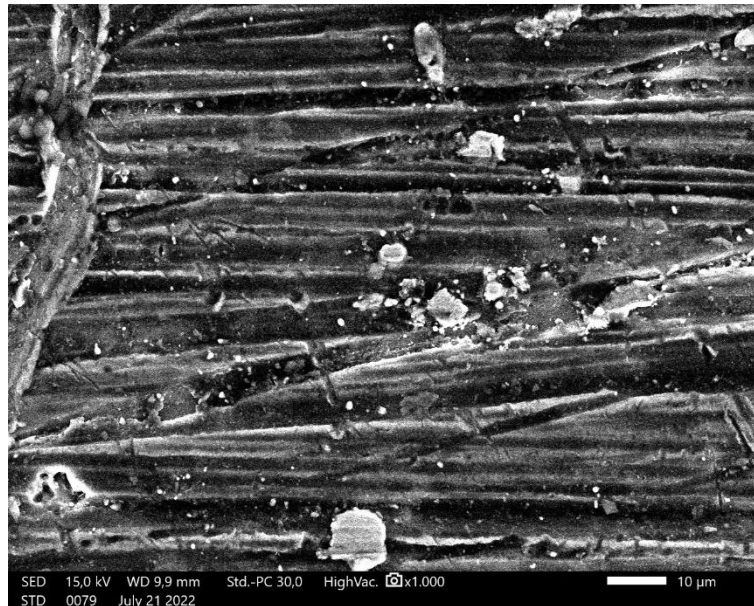
Tabel 5: Komposisi Unsur pada Spesimen Tanpa Inhibisi yang Direndam Dalam Air Hujan Selama 672 Jam

Unsur	Line Type	Massa (%)	Atom (%)
C	K series	8,44 ± 0,06	12,87 ± 0,10
O	K series	55,21 ± 0,15	63,21 ± 0,17
Al	K series	34,37 ± 0,12	23,33 ± 0,08
Mn	K series	0,20 ± 0,03	0,07 ± 0,01
Fe	K series	0,19 ± 0,03	0,06 ± 0,01
Cu	K series	1,60 ± 0,09	0,46 ± 0,03
Total		100,00	100,00

Gambar 8 dan tabel 5 merupakan hasil dari EDX yang menunjukkan spektrum dan komposisi unsur pada permukaan spesimen paduan aluminium 2219-T62 tanpa inhibisi yang direndam dalam air hujan selama 672 jam. Dari gambar dan tabel tersebut dapat dilihat bahwa unsur aluminium (Al) pada permukaan spesimen aluminium 2219-T62 tanpa inhibisi mengalami penurunan yang cukup besar yaitu menjadi 34,37%. Sedangkan unsur Oksigen (O) mengalami peningkatan dan menjadi unsur paling banyak pada permukaan spesimen yaitu mencapai 55,21%. Hal ini menunjukkan bahwa timbul korosi yang cukup parah pada permukaan spesimen.

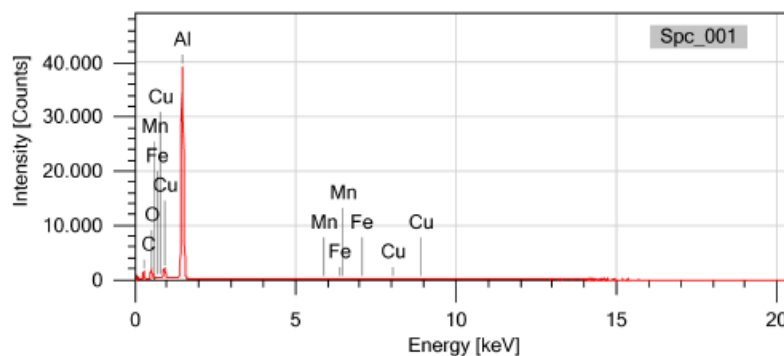
3.5. Hasil SEM-EDX Terhadap Spesimen Dengan Inhibisi Alodine 1500

Pada kelompok spesimen yang diberikan perlakuan inhibisi *alodine* 1500 diambil dua buah spesimen. Satu spesimen yang tidak dilakukan uji perendaman dan satunya lagi adalah spesimen yang telah direndam dalam air hujan selama 672 jam dan kemudian diamati perbedaannya.



Gambar 9: Hasil uji SEM pada spesimen dengan inhibisi *alodine* 1500 tanpa perendaman air hujan

Gambar 9 adalah hasil pengujian SEM pada spesimen paduan aluminium 2219-T62 dengan inhibisi *alodine* 1500 yang tidak direndam dalam air hujan. Hasil pengujian ini diperbesar dengan 1000 kali pembesaran menggunakan alat SEM dan dapat diamati bahwa pada permukaan spesimen yang diberikan perlakuan inhibisi *alodine* 1500 nampak timbul beberapa bercak yang mirip korosi akibat perlakuan inhibisi



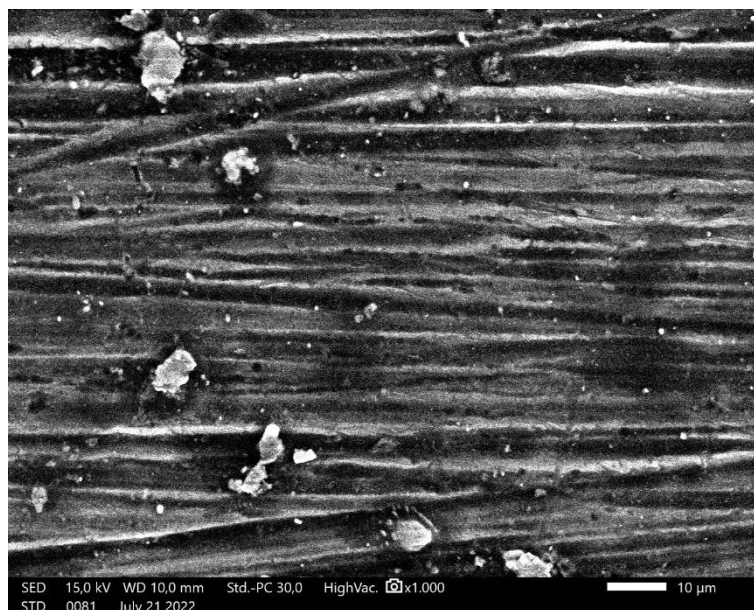
Gambar 10: Hasil EDX pada spesimen dengan inhibisi *alodine* 1500 tanpa perendaman air hujan

Tabel 6: Komposisi Unsur pada Spesimen Dengan Inhibisi *Alodine* 1500 Tanpa Perendaman Air Hujan

Unsur	Line Type	Massa (%)	Atom (%)
C	K series	23,39 ± 0,14	40,46 ± 0,25
O	K series	5,53 ± 0,06	7,18 ± 0,08
Al	K series	65,65 ± 0,16	50,56 ± 0,13
Mn	K series	0,18 ± 0,03	0,07 ± 0,01
Fe	K series	0,38 ± 0,04	0,14 ± 0,01
Cu	K series	4,87 ± 0,15	1,59 ± 0,05
Total		100,00	100,00

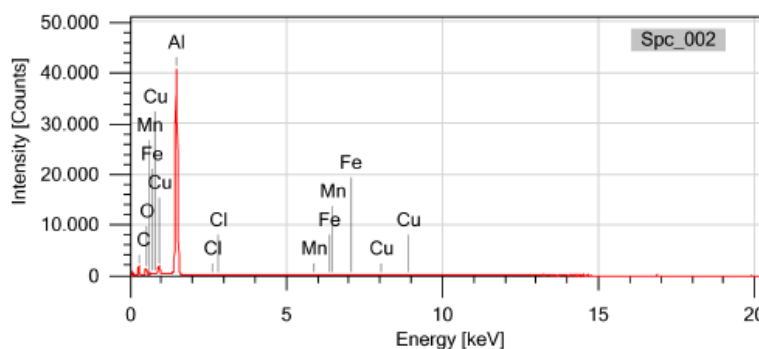
Gambar 10 dan tabel 6 merupakan hasil dari EDX yang menunjukkan spektrum dan komposisi unsur pada permukaan spesimen paduan aluminium 2219-T62 dengan inhibisi *alodine* 1500 tanpa uji perendaman. Dari gambar dan tabel tersebut dapat dilihat bahwa unsur aluminium (Al) pada permukaan spesimen aluminium 2219-T62 dengan inhibisi *alodine* 1500 mengalami penurunan jika dibandingkan dengan spesimen tanpa

inhibisi yang tidak dilaksanakan uji perendaman yaitu menjadi 65,65%. Sedangkan timbul unsur Oksigen (O) sebesar 5,53% dan Karbon (C) yang mencapai 23,39% serta timbul sedikit unsur Besi (Fe) sebesar 0,38% pada permukaan spesimen setelah perlakuan *alodine* 1500.



Gambar 11: Hasil uji SEM pada spesimen dengan inhibisi *alodine* 1500 yang direndam dalam air hujan selama 672 jam

Gambar 11 adalah hasil pengujian SEM pada spesimen paduan aluminium 2219-T62 dengan inhibisi *alodine* 1500 yang direndam dalam air hujan selama 672 jam. Hasil pengujian ini diperbesar dengan 1000 kali pembesaran menggunakan alat SEM. Dapat dilihat bahwa morfologi permukaan spesimen tidak begitu banyak berubah dibandingkan dengan spesimen dengan perlakuan inhibisi sama yang tidak direndam dalam air hujan. Hanya timbul beberapa bercak gelap tanda munculnya korosi.



Gambar 12: Hasil EDX pada spesimen dengan inhibisi *alodine* 1500 yang direndam dalam air hujan selama 672 jam

Tabel 7: Komposisi Unsur pada Spesimen Dengan Inhibisi *Alodine* 1500 yang Direndam Dalam Air Hujan Selama 672 Jam

Unsur	Line Type	Massa (%)	Atom (%)
C	K series	26,02 ± 0,15	44,06 ± 0,25
O	K series	4,49 ± 0,06	5,71 ± 0,07
Al	K series	64,36 ± 0,16	48,51 ± 0,12
Cl	K series	0,21 ± 0,02	0,12 ± 0,01
Mn	K series	0,29 ± 0,03	0,11 ± 0,01
Fe	K series	0,27 ± 0,03	0,10 ± 0,01
Cu	K series	4,35 ± 0,14	1,39 ± 0,05
Total		100,00	100,00

Gambar 12 dan tabel 7 merupakan hasil dari EDX yang menunjukkan spektrum dan komposisi unsur pada permukaan spesimen paduan aluminium 2219-T62 dengan inhibisi *alodine* 1500 yang telah direndam dalam air hujan selama 672 jam. Dari gambar dan tabel tersebut dapat dilihat bahwa kandungan aluminium sedikit menurun dibandingkan dengan spesimen yang tidak direndam dari 65,65% menjadi 64,36%. Kandungan Cu pada permukaan spesimen juga mengalami penurunan dari 4,87% menjadi 4,35. Sedangkan unsur C pada permukaan meningkat dari 23,39% menjadi 26,02%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

Logam paduan aluminium 2219-T62 dapat terkorosi dalam air hujan. Apabila tidak diberikan perlakuan inhibisi, laju korosi dapat mencapai 0,00142 mg/cm²jam.

Logam paduan aluminium 2219-T62 yang diberikan perlakuan inhibisi *alodine* 1500 laju korosinya menjadi jauh lebih kecil dibandingkan dengan yang tidak diberikan perlakuan inhibisi, yaitu hanya 0,000038 mg/cm²jam.

Efisiensi dari penggunaan *alodine* 1500 sebagai inhibitor logam paduan aluminium 2219-T62 cukup tinggi, yaitu mencapai 97,34%.

Dari hasil pengujian menggunakan alat SEM-EDX dapat disimpulkan bahwa pada spesimen yang tidak diberikan perlakuan inhibisi setelah direndam dalam air hujan selama 672 jam akan timbul banyak deposit korosi serta terdapat retakan dan poros pada permukaannya. Sedangkan pada spesimen yang mendapat perlakuan inhibisi *alodine* 1500 akan timbul sedikit bercak-bercak seperti korosi, namun setelah spesimen direndam dalam air hujan selama 672 jam morfologi permukaannya tidak jauh berbeda daripada spesimen yang tidak menjalani uji perendaman. Tidak didapati adanya deposit korosi, hanya timbul sedikit bercak gelap tanda munculnya korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. J. Raj, P. P. Selvam and M. Pughalendi, "A Review of Aluminum Alloys in Aircraft and Aerospace Industry," *Journal of Huazhong University of Science and Technology*, vol. 50, no. 4, pp. 1-10, 2021.
- [2] J. R. Davis, *Alloying: Understanding the Basics*, Novelty: ASM International, 2001.
- [3] C. Vargel, *Corrosion of Aluminium Second Edition*, Amsterdam: Elsevier, 2020.
- [4] I. G. Arwati, T. Izzati and Z. Arifin, "Natrium Carbonate (Na₂CO₃) as Inhibitor in the Corrosion Protection on Steel Pipe ST 41 in Water Plumbing Environmental," *International Journal of Innovation in Mechanical Engineering & Advanced Materials (IJIMEAM)*, vol. 2, no. 1, pp. 20-25, 2016.
- [5] J. G. Kaufman, *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*, Novelty: ASM International, 2000.
- [6] Boeing, *Boeing 737-800 Structural Repair Manual*, Seattle: Boeing Commercial Airplanes Group, 2021.
- [7] R. Kaibyshev, O. Sitdikov, I. Mazurina and D. R. Lesuer, "Deformation Behavior of a 2219 Al Alloy," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 334, no. 1-2, pp. 104-113, 2002.
- [8] N. P. Wagh, *Design and Analysis of Modular Caliper Assembly*, Wichita: Wichita State University, 2005.
- [9] K. Surekha, B. S. Murty and K. P. Rao, "Effect of Processing Parameters on the Corrosion Behaviour of Friction Stir Processed AA 2219 Aluminum Alloy," *Solid State Sciences*, vol. 11, no. 4, pp. 907-917, 2009.
- [10] P. Budiyarti and M. N. Ilman, "Studi Experimental Fatik Korosi Aluminium Paduan 7075-T6 pada Lingkungan 3,5% NaCl dengan Inhibitor Na₂CrO₄," *POROS*, vol. 16, no. 1, pp. 69-78, 2018.
- [11] P. R. Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering*, New York: McGraw-Hill Companies, 2000.
- [12] Henkel, *Bonderite M-CR 1500 Aero Technical Data Sheet*, Düsseldorf: Henkel AG & Co. KGaA, 2019.
- [13] M. A. Abu-Dalo, A. A. Othman and N. A. F. Al-Rawashdeh, "Exudate Gum from Acacia Trees as Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acidic Media," *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 7, pp. 9303-9324, 2012.
- [14] ASTM, *ASTM G 31 - 72 Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*, West Conshohocken: ASTM International, 2004.
- [15] F. B. Susetyo, S. T. Dwiyaniti and M. T. Pangestu, "Kehilangan Massa pada Larutan HCl dan NaCl Baja Karbon Rendah Hasil Elektroplating Tembaga-Nikel," *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 15-20, 2019.
- [16] J. I. Goldstein, D. E. Newbury, J. R. Michael, N. W. Ritchie, J. H. J. Scott and D. C. Joy, *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, New York: Springer Science + Business Media, 2018.