

KAJIAN INTERGRANULAR ATTACK DAN END GRAIN PITTING PADA PROSES CHEMICAL MILLING KOMPONEN PESAWAT

Hendy Roesma Wardhana¹⁾, Tiara Arista Maharani²⁾, Annisa Makarim³⁾

email: hendy.roesma@upnyk.ac.id, tiara.arista517@gmail.com,

annisamakarim04@gmail.com

^{1,2,3)} Teknik Metalurgi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta

Ringkasan

Proses *chemical milling* sering diterapkan untuk membentuk profil komponen penerbangan karena prosesnya yang cepat dan hasilnya yang presisi. Namun, kekurangan proses *chemical milling* adalah kecenderungan reaksi korosi yang berlebih sehingga dapat mengakibatkan cacat mikro pada komponen. Regulasi yang mengatur tentang kecacatan komponen penerbangan cukup kaku, sehingga proses *chemical milling* perlu dikaji secara mendetail. Pada kajian ini, proses *chemical milling* diterapkan pada paduan aluminium 2024 T-3 dan 7075 T-6. Pengujian kekasaran permukaan dan struktur mikro dilakukan untuk memperkuat analisis hasil korosi *intergranular attack* dan *end grain pitting* di permukaan. Pengaruh komposisi paduan tidak berpengaruh signifikan pada laju etsa, namun dapat menentukan model korosi selama *chemical milling* berlangsung.

Kata Kunci : *chemical milling*, korosi, kekasaran permukaan

1. PENDAHULUAN

Paduan aluminium banyak dimanfaatkan sebagai bahan utama struktur pesawat terbang khususnya bodi dan sayap [1]. Peranan struktur pesawat terbang merupakan hal krusial karena fungsinya sebagai penerima gaya eksternal, maka sifat fisik material menjadi aspek yang perlu dibahas lebih detail [2]. Salah satu aspek yang dapat mempengaruhi sifat fisik material adalah struktur mikro [3]. Pada bidang penerbangan, cacat struktur mikro berupa porositas memiliki toleransi cacat sangat kecil, peraturan ini bertujuan untuk mencegah kecelakaan penerbangan berupa patah material [4]. Proses manufaktur bodi pesawat umumnya dilakukan dengan *chemical milling* agar menghasilkan profil yang tepat. *Chemical milling* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan *conventional milling* seperti pengerjaan yang lebih cepat, lebih presisi, dan lebih mudah diterapkan untuk komponen yang rumit [5].

Namun, cacat pada permukaan komponen menjadi salah satu konsekuensi yang berpotensi muncul pada proses *chemical milling*. Beberapa cacat permukaan yang umum terjadi meliputi *pitting corrosion*, bercak permukaan, permukaan kasar, serta *overmilling*. Beberapa penyebab cacat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu oli sebelum proses *masking*, penekanan yang berlebihan saat pemotongan maskant, perbedaan reaktifitas antara unsur paduan aluminium terutama Al dengan Zn, Mg, dan Cu [6].

Pengaturan konsentrasi, pH, dan jenis larutan *chemical milling* terhadap jenis paduan logam merupakan upaya untuk menjaga laju pengikisan material, kekasaran permukaan, dan pemotongan komponen. Pentingnya pengendalian untuk menciptakan produk yang sesuai spesifikasi desain. Kajian tentang parameter proses *chemical milling* menjadi dasar utama untuk menyusun prosedur pengerjaan komponen pesawat [7].

Kajian ini bertujuan untuk menganalisis hasil proses *chemical milling* pada paduan aluminium 2024 dan 7075 yang ditinjau berdasarkan aspek ketebalan, kekasaran permukaan, dan pengamatan struktur mikro yang berfokus pada korosi *Intergranular Attack (IGA)* dan *End Grain Pitting (EGP)*. Kajian ini bermanfaat untuk memberikan pemahaman tentang kualitas dan karakteristik permukaan komponen setelah proses *chemical milling* secara detail.

2. KAJIAN PUSTAKA

Paduan aluminium 2024 dan 7075 memiliki karakteristik berbeda yang disebabkan oleh unsur penyusunnya. Komposisi unsur pada kedua paduan aluminium tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Unsur Paduan Aluminium 2024 dan 7075

Paduan	Komposisi Unsur (wt. %)									
	Al	Zn	Mg	Cu	Si	Fe	Mn	Cr	Ti	Lain-lain
2024 – T3	Bal.	0,25	1,2 – 1,8	3,8 – 4,9	0,5	0,5	0,3 – 0,9	0,1	0,15	0,05
7075 – T6	Bal.	5,1 – 6,1	2,1 – 2,9	1,2 – 2,0	0,4	< 0,5	< 0,3	0,2 – 0,3	< 0,2	0,05

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zhou, paduan Al 2024 memiliki potensi *intergranular attack*, kasus korosi batas butir ini semakin mudah terjadi apabila terdapat cacat kecil di tepi butir paduan. Proses pembentukan paduan Al2024 dengan metode *cold working* dapat menghasilkan jumlah dislokasi yang relatif tinggi pada paduan. Jumlah dislokasi antar butir memiliki nilai yang berbeda karena arah penggulungan *cold working* menyebabkan kondisi regangan plastis yang berbeda, tergantung pada ketersediaan sistem slip [8]. Hasil regangan di tingkat butir membuat karakteristik butir menjadi lebih rentan korosi. Penelitian tentang perilaku korosi paduan Al 7075 menjelaskan bahwa presipitat yang terletak di batas butir menimbulkan reaksi galvanik. Reaksi galvanik ini muncul karena perbedaan potensial antara presipitat dan butir utama, dengan peranan presipitat sebagai anoda. Reaksi galvanik yang berlangsung secara spontan menyebabkan korosi batas butir. Korosi batas butir dapat dicegah dengan melakukan perlakuan *aging* untuk membatasi presipitat pada batas butir, sehingga reaksi galvanik antara presipitat dengan butir dapat dikendalikan [9].

Korosi *pitting* adalah korosi yang berbentuk lubang atau sumur dan memiliki tampak berupa titik apabila dilihat dari luar. Korosi *pitting* diakibatkan oleh rusaknya suatu titik lapisan pasif, sehingga titik tersebut rusak ke area dalam hingga menjalar ke dalam selayaknya seperti sumur. Korosi berpotensi menjadi lebih parah karena kebutuhan elektron yang tinggi oleh katoda besar dibebankan pada anoda kecil di area sumur, sehingga anoda logam banyak dikonsumsi pada proses korosi [10]. Kedalaman korosi *pitting* tidak terlihat melalui permukaan logam. Fenomena ini bersifat berbahaya karena korosi *pitting* terjadi secara cepat dan hanya sedikit karat yang terlihat di permukaan, padahal kerusakan di dalam material logam bisa lebih parah [11].

3. METODE PENELITIAN

Bahan

Kajian ini menggunakan paduan Aluminium 2024 T-3 dan 7075 T-6.

Proses Chemical Milling

1. Pembersihan Manual

Komponen dibersihkan dengan cairan Methyl Ethyl Ketone (MEK).

2. Pengukuran Ketebalan Awal

Pengukuran ketebalan sebelum *chemical milling* dilakukan dengan prinsip *eddy current test*.

3. Pembersihan Alkalin

Pembersihan komponen dengan larutan basa sebanyak 45 – 60 g/L di temperatur 45 – 50 °C untuk menghilangkan oli yang terdapat di permukaan. Larutan basa dibilas dengan air deionisasi secara mengalir di temperatur ruang. Pengamatan hasil komponen yang sudah bersih dicek dengan metode *water break free surface test* selama 30 detik.

4. Penghilangan Oksida

Penghilangan oksida logam di permukaan dengan larutan asam HNO₃ di temperatur 4 – 50 °C yang bertujuan untuk mengikis sebagian kecil dari permukaan bahan sebesar 5 – 10 µm/jam di setiap bidang permukaannya. Pembilasan menggunakan air deionisasi untuk membersihkan sisa larutan asam dan oksida logam agar daya adhesi *maskant* lebih optimal.

5. Pengeringan

Pengeringan komponen dilakukan menggunakan tangki yang terhubung dengan oven yang dipanaskan oleh *boiler*, beroperasi pada temperatur 60°C.

6. *Masking*

Cairan *maskant* jenis Turco Maskant 5580G disemprotkan ke permukaan benda kerja menggunakan *spray gun* dengan tekanan 3,5 – 5 bar dan berjarak 50 – 60 cm dari permukaan komponen. Penyemprotan cairan *maskant* dilakukan secara menyilang di setiap lapisan yang telah didiamkan selama 30 menit – 60 menit. Penyemprotan dilakukan hingga ketebalan lapisan mencapai sekitar 250 – 350 mikrometer atau dapat dicapai dengan melakukan sekitar 4 penyemprotan. Pengeringan dilakukan selama 24 jam di temperatur ruangan atau dapat dipercepat menggunakan oven selama 4 jam di temperatur 60 °C. Pengukuran ketebalan *maskant* diukur dengan metode *eddy current* di 5 titik tiap benda kerja yang telah dikeringkan.

7. Deteksi Kebocoran

Cacat lapisan *maskant* seperti gelembung, lubang, rongga udara dideteksi dengan *poroscope*. Cacat tidak boleh memiliki diameter lebih dari 5 mm.

8. Pengelupasan *Maskant*

Pengelupasan *maskant* pada bagian yang didesain untuk dilakukan *chemical milling*, sedangkan bagian yang lain tetap terlapsi oleh *maskant* agar tidak terkena perlakuan *chemical milling*.

9. *Chemical Milling*

Benda kerja dicelupkan di larutan kimia di temperatur sekitar 50 °C, selama 5 menit [12]. Target ketebalan pasca *chemical milling* ditentukan oleh perhitungan menggunakan persamaan (1) berikut.

$$E_r = \frac{T_1 - T_2}{t} \quad (1)$$

dengan

E_r = laju etsa (mm/menit)

T_1 = ketebalan sebelum *chemical milling* (mm)

T_2 = ketebalan setelah *chemcial milling* (mm)

t = durasi pencelupan (menit)

10. *Desmutting*

Penghilangan kerak oksida hasil proses *chemical milling* menggunakan parameter seperti yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Proses *Desmutting*

Parameter	Rentang Pengontrolan
Turco Smut Go#4	225 – 275 g/L
Temperatur	10 – 50 °C
Asam Nitrit 40 – 42%	50% volume

11. Pengelupasan *Maskant*

Pengelupasan *maskant* seluruhnya.

Pengujian

1. Ketebalan

Pengukuran ketebalan menggunakan *Olympus ultrasonic* dengan prinsip *Eddy current* di 5 titik berbeda pada setiap benda kerja, pengukuran dilakukan sebelum dan sesudah *chemical milling*.

2. Kekasaran permukaan

Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan Taylor Hobson Sutronic 3P resolusi 0,01 mikrometer dengan kecepatan pengukuran 1 mm/detik. Kekasaran permukaan yang ideal berkisar < 25 mikrometer.

3. Mikroskop optik

Pengamatan menggunakan mikroskop optik bertujuan untuk melihat korosi *intergranular attack* maupun *end grain pitting*. Area yang diamati adalah area penampang yang terkena *chemical milling*

serta mengikuti arah butir. Preparasi sampel pengujian mikroskop optik berupa *mounting*, *grinding*, dan *polishing*. Pengamatan mikroskop optik dilakukan pada perbesaran 100x, 150x, dan 200x.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Ketebalan

Data ketebalan sampel sebelum dan sesudah proses *chemical milling* pada paduan aluminium 2024 dan 7075 menunjukkan perbedaan yang serupa, seperti yang tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Ketebalan Sampel Sebelum dan Sesudah Chemical Milling

Material	Ketebalan (mm)			
	Sebelum Milling	Chemical	Setelah Milling	Chemical
Paduan Aluminium 2024	3,23		2,23	
Paduan Aluminium 7075	3,24		2,24	

Berdasarkan Tabel 3, proses *chemical milling* mengurangi ketebalan kedua material masing-masing sebesar 1 mm, dengan nilai laju etsa sebesar 0,2 mm/menit. Pengamatan berdasarkan jenis material pada skala makro tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Prinsip *chemical milling* yang cepat mampu menghasilkan hasil yang terukur dan seragam pada setiap sampel yang serupa. Berdasarkan komposisi kimia yang tertera pada Tabel 1, persentase unsur paduan kedua paduan memiliki perbedaan signifikan seperti Zn, Mg, dan Cu. Kehadiran beberapa unsur tersebut belum terlihat pengaruhnya pada pengurangan ketebalan, padahal masing-masing unsur tersebut memiliki potensial yang berbeda untuk melepaskan elektron saat proses *chemical milling* (korosi) berlangsung [13]. Namun demikian, diperlukan adanya investigasi lebih lanjut tentang pengamatan mikro menggunakan mikroskop optik. Pengamatan pada skala lebih kecil diperlukan untuk memastikan kehadiran korosi yang tidak dapat terlihat secara visual.

2. Kekasaran Permukaan

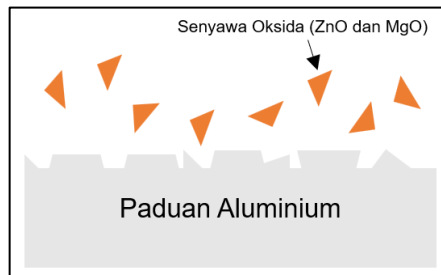
Kekasaran permukaan setelah *chemical milling* pada kedua sampel tertera pada Tabel 4 di bawah.

Tabel 4. Kekasaran Permukaan Setelah Chemical Milling

Area	Kekasaran Permukaan Sampel (mikrometer)	
	Al 2024	Al 7075
1	0,73	0,82
2	0,79	0,83
3	0,71	0,86
4	0,69	0,81
Rata-Rata	0,73	0,83

Paduan Al 7075 memiliki kekasaran sebesar 0,83 mikrometer, sedangkan paduan Al 2024 menunjukkan nilai kekasaran sebesar 0,73. Paduan Al 7075 memiliki kekasaran permukaan lebih tinggi karena memiliki unsur-unsur pengotor dengan potensial rendah atau negatif yang berjumlah lebih banyak daripada yang dimiliki oleh paduan Al 2024 [14]. Unsur-unsur seperti Zn dan Mg cenderung lebih mudah teroksidasi atau melepas elektron daripada unsur Al ketika proses *chemical milling* berlangsung. Hasil oksidasi Zn dan Mg berupa ZnO dan MgO memiliki sifat yang lebih getas daripada paduan logam Al. Perbedaan sifat ini menyebabkan senyawa ZnO dan MgO di permukaan paduan Al memiliki ikatan kimia yang rendah dan rawan terkelupas sehingga menghasilkan

permukaan yang tidak rata atau kasar [15]. Penjelasan lebih lanjut diilustrasikan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Pengelupasan Senyawa Oksida di Permukaan Paduan Aluminium

Pengelupasan senyawa oksida di permukaan terjadi akibat proses *demsmutting*. Kekasaran permukaan menjadi indikator jenis korosi skala mikro yang akan dibahas pada sub bab 4.3.

3. Struktur Mikro Permukaan

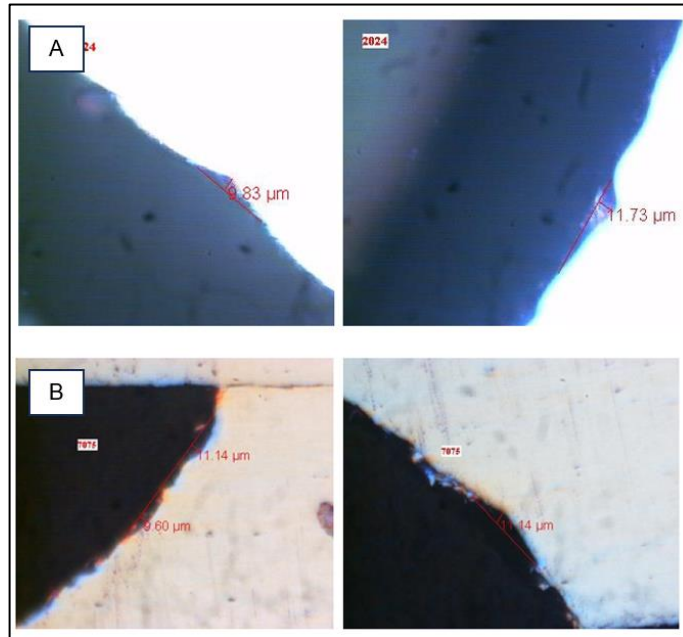
Pada kajian ini, pengamatan struktur mikro dilakukan secara khusus pada area permukaan yang diberi perlakuan *chemical milling*, serta dianalisis berdasarkan dua jenis cacat berupa hasil korosi *intergranular attack* dan *end grain pitting*.

a. *Intergranular Attack*

Kedua sampel memiliki komposisi serta mengalami jenis perlakuan yang berbeda ketika proses manufaktur. Paduan Al 2024 – T3 menerima proses *cold working*, sedangkan paduan Al 7075 – T6 mengalami proses perlakuan panas dan *aging*. Secara teori, kedua perlakuan tersebut mampu memberikan pengaruh pada model korosi yang mungkin terjadi. Paduan Al 2024 – T3 yang dibuat dengan *cold working* cenderung rentan terhadap serangan di batas butir karena proses *cold working* menyebabkan lokalisasi tegangan mikrostruktur di area batas butir [16]. Adanya tegangan mikrostruktur yang disertai dengan kehadiran senyawa korosif dapat membentuk senyawa oksida atau karbida hasil korosi. Terlebih, *cold working* dapat menyebabkan pembentukan butiran pipih yang panjang, sangat rentan terhadap korosi batas butir [17]. Sedangkan pada paduan Al 7075 – T6 juga memiliki kerentanan terhadap korosi batas butir karena memiliki presipitat hasil *aging*. Presipitat memiliki potensial yang berbeda dengan unsur paduan di sekitarnya. Secara elektrokimia, salah satu syarat berlansungnya korosi adalah terdapat dua unsur dengan beda potensial yang saling terhubung dan masing-masing berperan sebagai anoda (potensial lebih rendah) dan katoda (potensial lebih tinggi). Namun demikian pada proses *chemical milling* yang diteliti, hasil stuktur mikro tidak menunjukkan adanya hasil korosi *intergranular attack* pada batas toleransi dengan kedalaman sebesar 13 mikrometer dari permukaan terluar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan aspek korosi *intergranular attack*, prosedur proses *chemical milling* sudah cukup tepat dan baik karena hasil korosinya masih dalam batas toleransi di sebuah komponen penerbangan.

b. *End Grain Pitting*

Hasil pengamatan struktur mikro permukaan kedua sampel ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. End Grain Pitting pada struktur mikro permukaan (a) paduan Al 2024 T-3 dan (b) paduan Al 7075 T-6.

Korosi *end grain pitting* merupakan bagian dari korosi *pitting* yang memiliki hasil korosi mirip seperti sumur, apabila dilihat dari penampang samping. Korosi ini memiliki kedalaman tertentu, sehingga juga akan terbaca menjadi nilai kekasaran permukaan apabila memiliki diameter lubang *pitting* yang cukup besar. Berdasarkan Gambar 2, paduan Al 7075 T-6 memiliki korosi *end grain pitting* yang lebih terlihat daripada paduan Al 2024 – T3. Indikasi adanya pengaruh perlakuan *aging* dan pembentukan presipitat terhadap model korosi ternyata cukup signifikan. Hal ini juga diperkuat dengan data kekasaran permukaan yang lebih tinggi pada paduan Al 7075 T-6 daripada yang dimiliki oleh paduan Al 2024 T-3. Kehadiran unsur paduan Zn dan Mg yang cukup dominan pada paduan Al 7075 T-6 juga menyebabkan perbedaan potensial di tingkat mikro, terlebih kedua unsur tersebut memiliki potensial yang lebih rendah daripada unsur utama paduan yaitu Al [18, 19]. Kecenderungan reaksi oksidasi Zn dan Mg secara spontan menghasilkan senyawa oksida yang mudah terkelupas saat proses *desmutting*, sehingga meninggalkan permukaan yang tidak rata atau cekung yang berpotensi dapat berlanjut menjadi lokasi korosi *pitting* [20]. Namun demikian, proses *chemical milling* yang telah dilakukan menghasilkan produk yang masih memenuhi kriteria desain komponen pesawat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari kajian ini antara lain

1. Pengurangan ketebalan menggunakan metode *chemical milling* tidak dipengaruhi secara signifikan oleh jenis dan perlakuan panas paduan. Namun, pengurangan ketebalan ditentukan oleh konsentrasi larutan, jenis larutan, dan waktu pencelupan yang ditunjukkan melalui nilai laju etsa. Pada kajian ini nilai laju etsa pada kedua sampel sama-sama bernilai 0,2 mm/menit.
2. Kekasaran permukaan hasil *chemical milling* pada paduan Al 7075 T-6 menunjukkan nilai yang lebih tinggi daripada paduan Al 2024 T-3. Nilai kekasaran permukaan selaras terhadap jumlah unsur dengan potensial rendah yang terkandung pada paduan.
3. Fenomena korosi *intergranular attack* tidak terlihat pada kedalaman 13 mikrometer pada kedua sampel. Korosi *end grain pitting* terlihat pada kedua sampel di skala mikro. Paduan Al 7075 T-6 memiliki hasil permukaan yang lebih cekung dibanding paduan Al 2024 T-3.

Saran

Investigasi lebih lanjut tentang korosi *intergranular attack* dan *end grain pitting* hasil *chemical milling* perlu diperkuat dengan pengamatan struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDS).

6. DAFTAR PUSTAKA

1. M. N. A. F. Fakhri, H. Susanto, and M. L. J. T. S. J. T. Bukhori. 2022. Analisis Material Aluminium Alloy terhadap Laju Korosi yang Disebabkan oleh Udara Laut pada Struktur Leading Edge Pesawat. *Elektronik, Engine*. Vol. 8. No. 2. Page 289-294.
2. T. Dursun, C. J. M. Soutis, and Design. 2014. Recent Developments in Advanced Aircraft Aluminium Alloys. Vol. 56. Page 862-871.
3. D. Permatasari, Z. Zuhaimi, and A. J. J. M. S. T. 2020. Analisa Sifat Mekanik Aluminium Alloy 6151 setelah Mengalami Perlakuan Panas. *Jannifar*. Vol. 4. No. 1. Page 1-5.
4. J. Liang, M. Zhang, Y. Peng, and J. J. M. Wang. 2024. Advances in Understanding the Evolution Mechanism of Micropore Defects in Metal Materials under External Loads. Vol. 14. No. 5. Page 522.
5. B. M. J. H. o. A. GRIFFIN. 2003. Aluminum Chemical Milling. Page 1159, 2003.
6. C.-C. Torng, C. Huang, H.-M. J. I. j. O. M. T. 2009. Process Control for Aerospace Chemical Milling Process. Vol. 18. No. 3. Page 308-318.
7. R. T. J. M. f. Grah. 2003. Chemical Milling of Aluminum Alloys: Choosing The Latest Technology to Achieve a Competitive Advantage. Vol. 101. No. 3. Page 8-12.
8. X. Zhou *et al.* 2013. Grain-Stored Energy and The Propagation of Intergranular Corrosion in AA2xxx Aluminium Alloys. Vol. 45. No. 10. Page 1543-1547.
9. J.-F. Li, Z.-w. Peng, C.-X. Li, Z.-Q. Jia, W.-j. Chen, and Z.-Q. J. T. o. N. M. S. o. C. Zheng. 2008. Mechanical Properties, Corrosion Behaviors and Microstructures of 7075 Aluminium Alloy with Various Aging Treatments. Vol. 18. No. 4. Page 755-762.
10. J. R. GALVELE. 1983. Pitting Corrosion in *Treatise on Materials Science and Technology*. Elsevier. Vol. 23. Page 1-57.
11. L. Balazs, J.-F. J. P. A. S. M. Gouyet, and i. Applications. 1995. Two-dimensional pitting corrosion of aluminium thin layers. Vol. 217. No. 3-4. Page 319-338.
12. R. Rohith, G. Ruthvik, K. Raju, and T. J. P. o. E. Nanjundeshwaraswamy. 2022. Chemical Machining Process a Review. Vol. 4. No. 1. Page 33-36.
13. G. Song, B. Johannesson, S. Hapugoda, and D. J. C. S. StJohn. 2004. Galvanic Corrosion of Magnesium Alloy AZ91D in Contact with an Aluminium Alloy, Steel And Zinc. Vol. 46. No. 4. Page 955-977.
14. P. Deng *et al.* 2022. Effect of Sc and Zr on Microstructure and Chemical Milling Surface Roughness of 2024-T6 Alloy Sheets. Vol. 292. Page 126815.
15. T. Marlaud, B. Malki, C. Henon, A. Deschamps, and B. J. C. S. Baroux. 2011. Relationship Between Alloy Composition, Microstructure and Exfoliation Corrosion in Al-Zn-Mg-Cu Alloys. Vol. 53. No. 10. Page 3139-3149.
16. M. Reboul, B. J. M. Baroux, and Corrosion. 2011. Metallurgical Aspects of Corrosion Resistance of Aluminium Alloys. Vol. 62. No. 3. Page 215-233.
17. C. Panagopoulos and E. J. M. Georgiou. 2024. The Effect of Cold Rolling on the Corrosion Behaviour of 5083 Aluminium Alloys. Vol. 14. No. 2. Page 159.
18. J. Sullivan, S. Mehraban, and J. J. C. S. Elvins. 2011. In Situ Monitoring of the Microstructural Corrosion Mechanisms of Zinc-Magnesium-Aluminium Alloys Using Time Lapse Microscopy. Vol. 53. No. 6. Page 2208-2215.
19. W. Wartono, I. Rakhadani, and S. J. J. E. E. Sumpena, Manufaktur, dan Material. 2024. Studi Pengaruh Temperatur Aging terhadap Kekerasan Vickers, Ketahanan Impak, dan Korosi pada Aluminium Paduan. Vol. 8. No. 1. Page 49-56.
20. J. Elvins, J. A. Spittle, J. H. Sullivan, and D. A. J. C. S. Worsley. 2008. The effect of magnesium additions on the microstructure and cut edge corrosion resistance of zinc aluminium alloy galvanised steel. Vol. 50. No. 6. Page 1650-1658.