

OPTIMASI KOROSI PADA KOMPOSIT ALUMINIUM FLY-ASH YANG DIPERKUAT MELALUI *HEAT TREATMENT* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *TAGUCHI*

Q, Hadi¹, M.Ilyastomy²

¹Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang

²Teknik MMesin, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: goma2007@unsro.ac.id

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan ketahanan korosi komposit aluminium yang diperkuat fly ash melalui tanpa peralakuam, perlakuan panas solution treatment dan aging menggunakan metode Taguchi. Variabel yang dikaji meliputi suhu dan waktu penahanan pada tahap solution (510°C, 520, 530°C; 2,3 dan 4 jam) serta aging (150°C, 175 dan 200), Waktu tahan (1.2 dan 3 jam) dengan rancangan ortogonal L9 (3⁴). Uji korosi dilakukan menggunakan immersion test dalam larutan NaCl 5%. selama 7 hari Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu aging dan suhu solution treatment paling berpengaruh terhadap ketahanan korosi. Kondisi optimal dicapai pada solution treatment 520°C selama 3 jam dan aging 175°C selama 2 jam, menghasilkan laju korosi minimum 0,00166 mm/year. Analisis S/N dan ANOVA menunjukkan kontribusi terbesar berasal dari suhu aging (57,24%), diikuti suhu solution (1,66%), waktu aging (27,24%), dan waktu solution (7,95%). Metode Taguchi terbukti efektif menentukan parameter perlakuan panas optimal untuk meningkatkan ketahanan korosi dan memperbaiki mikrostruktur komposisi

t.Kata Kunci: Kata kunci: Aluminium, Fly ash, Komposit, Korosi, Taguchi.

ABSTRACT: This study aims to optimize the corrosion resistance of aluminum composites reinforced with fly ash through three conditions: without heat treatment, solution treatment, and aging, using the Taguchi method. The investigated variables include solution treatment temperature and holding time (510°C, 520°C, 530°C; 2, 3, and 4 hours) as well as aging temperature (150°C, 175°C, and 200°C) and holding time (1, 2, and 3 hours), arranged using an L9 (3⁴) orthogonal array design. Corrosion testing was carried out using the immersion test in a 5% NaCl solution until 7 day. The results showed that aging temperature and solution treatment temperature had the most significant influence on corrosion resistance. The optimal condition was obtained at a solution treatment temperature of 520°C for 3 hours and aging at 175°C for 2 hours, resulting in a minimum corrosion rate of 0.00166 mm/year. Signal-to-noise (S/N) ratio and ANOVA analysis indicated that aging temperature contributed the most (57.24%), followed by solution temperature (11.66%), aging time (27.24%), and solution time (7.95%). The Taguchi method proved effective in determining optimal heat treatment parameters to enhance corrosion resistance and improve the composite microstructure.

Keywords: Aluminum, Fly ash, Composite, Corrosion, Taguchi

1 Pendahuluan

Aluminium dan paduannya banyak digunakan dalam aplikasi struktural dan transportasi karena kerapatan rendah, kekuatan spesifik tinggi, serta konduktivitas termal dan listrik yang baik. Namun untuk aplikasi yang menuntut sifat mekanik dan ketahanan aus/korosi lebih tinggi, aluminium sering diperkuat menjadi komposit matriks logam (MMC). Salah satu pengisi yang menarik adalah **fly ash**—limbah industri yang murah dan ringan—karena dapat menurunkan densitas, meningkatkan kekerasan

dan ketahanan aus, serta mengurangi biaya material. [1]

Meskipun fly ash memperbaiki beberapa sifat mekanik, beberapa studi melaporkan perubahan perilaku korosi pada aluminium yang diperkuat partikel—termasuk kecenderungan penurunan ketahanan korosi pada kondisi tertentu—sehingga penelitian mengenai korosi pada aluminium/fly ash menjadi penting untuk aplikasi lapangan. Faktor seperti distribusi partikel, interaksi antar muka

matriks–pengisi, dan adanya fasa sekunder memengaruhi mekanisme korosi. [2]

Perlakuan panas—khususnya **solution treatment** dan **aging (penuaan buatan)**—sering digunakan untuk mengontrol ukuran, distribusi, dan komposisi fasa presipitasi pada paduan aluminium berumur-penguatan. Perubahan mikrostruktur akibat solution/aging dapat secara signifikan mempengaruhi mekanika, perilaku korosi, serta stabilitas lapisan pasif. Penelitian tentang pengaruh parameter perlakuan panas terhadap evolusi mikrostruktur dan ketahanan korosi pada paduan seri 2xxx–7xxx dan MMC telah menunjukkan bahwa variasi suhu dan durasi solution/aging mengubah sifat presipitat, yang pada gilirannya mempengaruhi laju korosi dan mekanisme lokal (misalnya. pitting, intergranular). ([3])

Metode optimasi eksperimen seperti **Taguchi** banyak dipakai untuk mencari kombinasi parameter proses yang optimal (jumlah variabel banyak dan level terbatas) dengan usaha eksperimen seminimal mungkin. Dalam studi MMC dan perlakuan permukaan/heat-treatment, Taguchi telah diterapkan untuk optimasi sifat mekanik, ketahanan aus, dan perilaku korosi—memberi panduan praktis untuk memilih kondisi proses yang menguntungkan. [4]

Meskipun literatur menunjukkan banyak penelitian terpisah tentang [5] penggunaan fly ash sebagai pengisi, [6] efek perlakuan panas pada paduan aluminium, dan [7] penerapan Taguchi untuk optimasi sifat, masih perlu pengkajian yang terintegrasi khususnya pada **komposit aluminium/fly ash** terkait pengaruh kombinasi parameter solution treatment dan aging terhadap ketahanan korosi—termasuk validasi melalui uji immersion (NaCl 3,5%) dan analisis statistik (S/N ratio, ANOVA). Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan merancang eksperimen Taguchi (L9) untuk mengidentifikasi kombinasi perlakuan panas optimal yang meminimalkan laju korosi sekaligus mengamati perubahan mikrostruktur. [8]

2 Bahan dan Alat

Pada persiapan untuk melakukan penelitian ini material komposit yang digunakan merupakan material yang telah dilakukan penelitian terdahulu (Ardiansyah,qomarul. 2017) dimana material tersebut merupakan material komposit Al- 12% Fly Ash +1%

Mg yang dibuat dengan proses Stir casting pada temperatur 750oC dan kecepatan putar 700 rpm. Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah sebagai berikut:

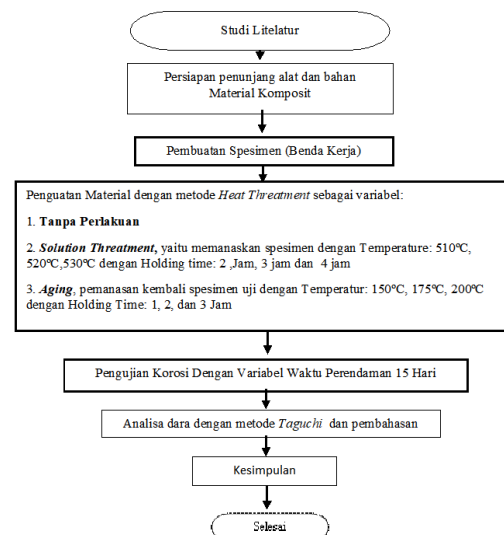
- Komposit AL-12% Fly Ash
- Larutan NaCl
- Larutan NaOH dan Air untuk membersihkan korsi
- Amplas Grade 100 S/d 5000

Alat yang digunakan penelitian ini adalah sebagai berikut

- Timbangan digital
- Gelas ukur
- Gelas kaca
- Pengaduk
- Wadah plastik/kertas
- Baskom
- Kawat penggantung
- Jangka sorong
- Tungku Pemanas untuk Perlakuan Solution Treatment
- Open pemanas

3. Metodologi Penelitian

Penelitian yang dilakukan bersangkutandengan proses heat treatment logam, pengujian korosi dan optimasi material komposit. Seperti [ada hambar diagram alir 1. Dibawah un

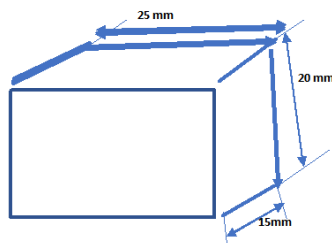


Gambar,1, Diagram Alir Penelitian

2.1. Pesiapan Speciment

Spesimen untuk pengujian korosi ini mengacu pada standar ASTM. Hasil pencetakan balok aluminium dibentuk spesimen uji dengan cara dipotong maupun dibubut. Pada tahap ini material yang didapat dipotong sesuai dengan ukuran spesimen uji yang di inginkan berdasarkan standar ASTM G-31. Dengan ukuran lebih kurang 25mm x 20 mm dan tebal 15mm material di potong menggunakan gerinda.

- a. Benda uji berupa balok dengan ketebalan 15 mm dipotong dengan jig saw dengan ukuran 25 mm x 20 mm sebanyak yang dibutuhkan metode taguchi L9(34)
 - b. Benda uji tersebut dibersihkan dari kotoran (lemak dan debu) dan di amplas dengan amplas kasar grade 100 sampai amplas halus sampai grade 5000
- Dikarenakan spesimen uji berbentuk plat maka spesimen uji harus di lubangi dan di gantu menggunakan tali nilon yang tidak bisa terkorosi.



Gambar. 2. Dimensi Benda Uji Korosi

3.2. Heat treatment

Heat treatment (perlakuan panas) dimana spesimen uji akan dipanaskan pada tungku pemanas (furnance) dengan cara solution treatment dan aging. proses solution treatment yang menggunakan suhu bervariasi (510 oC, 520 oC, 530oC) dan holding time 2 jam, 3 jam dan 4 jam dengan heatingreat untuk mencapai suhu tersebut diset selama 15 menit pada masing-masing spesimen yang telah ditentukan. Setelah di panaskan material di quenching menggunakan air ledeng selama kurang lebih 20 detik, tahap pemanasan terakhir dengan proses aging dimana material tersebut dipanaskan kembali menggunakan oven dengan variasi suhu (150 oC, 175 oC, 200 oC) dan holding time dengan variasi 1,2 dan 3 Jam pada masing-masing spesimen yang telah ditentukan.

3.3. Uji Korosi

Setelah spesimen di amplas dan di cuci menggunakan alkohol, spesimen dilanjutkan dengan pengujian korosi. Pengujian korosi yang dilakukan dengan menggunakan metode korosi celup(*Immersion*) yaitu dengan cara merendam atau mencelupkan spesimen uji kedalam air yang berisikan NaCl 5% selama 7 hari . Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari heat treatment terhadap laju korosi pada Al-Fly Ash. NaCl 5% bisa menyebabkan korosi pada Aluminium campuran fly ash dimana 2 komponen tersebut bertolak belakang karena aluminium yang tahan terhadap korosi dan fly ash yang membuat mudahnya material komposit terkorosi. Tetapi dalam pengujian kali ini yang dicari adalah optimasi nilai pengaruh heat treatment, dampak dari heat treatment bisa mempengaruhi laju korosi pada material komposit al fly ash. Perhitungan laju korosi dengan metode weight loss dihitung dengan cara

$$Mpy = ((534 W)/(D A T)) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

- Mpy = Laju korosi umum (mile/tahun)
 W = Penurunan berat dalam miligram (g)
 D = Kerapatan paduan (g/cc)
 A = Luas penampang / area yg terbuka
 T = Waktu Pemaparan (jam)

Tabel 1 Tabel Proses Heat Treatment

Spesimen uji	Faktor				Heat treatment			
	A	B	C	D	Solution Treatment Temperatur (°C)	Solution treatment holding time (menit)	Aging Temperatur (°C)	Aging Holding Time (Menit)
1	1	1	1	1	510	120	150	60
2	1	2	2	2	510	180	175	120
3	1	3	3	3	510	240	200	180
4	2	1	2	3	520	120	150	120
5	2	2	3	1	520	180	175	180
6	2	3	1	2	520	240	200	60
7	3	1	3	2	530	120	150	180
8	3	2	1	3	530	180	175	60
9	3	3	2	1	530	240	200	120

3.4. Menentukan Matrik Orthogonal Array (OA) T

Data-data yang didapat, diolah untuk menganalisa laju korosi berdasarkan kehilangan berat. Data hasil perhitungan diisi didalam tabel dan diolah menggunakan metode Taguchi (L9). Pengecoran pada penelitian ini menggunakan variabel utama (variabel

faktor) yaitu beda Solution Treatment Temperature, Aging Temperature, Aging Holding time dan Lama Perendaman dengan masing-masing variabel dilakukan 3 variasi level, pengerjaan dilakukan sebanyak 9 kali percobaan. Untuk matriks tiga level maka metode yang digunakan adalah L9 (34). Berikut merupakan sampel pengerjaan berdasarkan faktor dan level yang digunakan untuk penelitian laju korosi berdasarkan kehilangan berat

Tabel .2 Variabel dan variasi Metode Taguchi

Faktor		Level		
		1	2	3
Solution Treatment Temperature (A)		510°C	520°C	530°C
Aging Temperature (B)		150°C	175°C	200°C
Aging Holding Time(C)		1 Jam	2 Jam	3 Jam
Solution Treatment Holding Time(D)		2 Jam	3 Jam	4 Jam

Tabel 3 Matrik Orthogonal Array (OA) dan Distribusi Faktor

Nomor Eksperimen	Faktor				Nilai Eksperimen			
	A	B	C	D	Solution Treatment Temperature	Aging Temperature	Aging Holding Time	Solution Treatment Holding Time
1	1	1	1	1	510°C	150°C	1 Jam	120 Menit
2	1	2	2	2	510°C	175°C	2 Jam	180 Menit
3	1	3	3	3	510°C	200°C	3 Jam	240 Menit
4	2	1	2	3	520°C	150°C	2 Jam	120 Menit
5	2	2	3	1	520°C	175°C	3 Jam	180 Menit
6	2	3	1	2	520°C	200°C	1 Jam	240 Menit
7	3	1	3	2	530°C	150°C	3 Jam	120 Menit
8	3	2	1	3	530°C	175°C	1 Jam	180 menit
9	3	3	2	1	530°C	200°C	2 Jam	240 Menit

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Komposisi Kimia Komposit Aluminium/Fly Ash

Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur yang terdapat dalam spesimen uji material komposit al fly ash dari hasil peleburan, untuk mengetahui unsur yang berpengaruh pada pengujian korosi. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Inspeksi Khusus PT. PUPUK SRIWIDJAJA Palembang dengan menggunakan alat XRF Analyzer. Hasil pengujian komposisi kimia material komposit al fly ash dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Hasil Uji Komposisi Kimia Aluminium/fly ash komposit

No	Element	Nilai Kandungan (%)
1	Al (Aluminium)	96,91
2	Mg (Magnesium)	0,012-
3	Si (Silikon)	0,731
4	Mn (Mangan)	0,105
5	Fe (Besi)	0,593
6	Cu (Cuprum)	0,161
7	Zn (Seng)	0,541
8	Pb (Plumbum)	0,046

Perhitungan laju korosi dilakukan pada material uji korosi berdasarkan metode taguchi L3(4) dengan menggunakan 27 spesimen uji dan 4 faktor variabel untuk mengetahui nilai optimasi pada laju korosi dengan pengaruh Heat Treatment. Berikut ini hasil data pengujian korosi dengan menggunakan metode Taguchi didapatkan nilai Laju korosi yang dilihat pada Tabel 5

Tabel 5. Hasil pengujian laju korosi al-flyash

Spesimen Uji	Faktor				Replikasi		
	Solution treatment (°C)	Aging (°C)	Aging Holding time (Jam)	Solution Holding time (jam)	Laju korosi (10 ⁻³ mpy)	Laju Korosi (10 ⁻³ mpy)	Laju Korosi (10 ⁻³ mpy)
1	510	150	1	2	1,652E-02	1,643E-02	1,638E-02
2	510	175	2	3	1,793E-02	1,795E-02	1,820E-02
3	510	200	3	4	1,861E-02	1,840E-02	1,843E-02
4	520	150	2	4	1,892E-02	1,879E-02	1,744E-02
5	520	175	3	2	1,588E-02	1,580E-02	1,577E-02
6	520	200	1	3	1,882E-02	1,937E-02	1,890E-02
7	530	150	3	3	1,681E-02	1,679E-02	1,694E-02
8	530	175	1	4	1,596E-02	1,604E-02	1,626E-02
9	530	200	2	2	1,907E-02	1,899E-02	1,908E-02

Perhitungan nilai S/N ratio dengan menggunakan karakteristik Small the Better (STB) untuk percobaan ke-1 (satu) sebagai berikut :

$$STB = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y^2 i \right] \dots \dots \dots 2$$

Dan hasilnya seperti pada table 6

Tabel 6. . Laju korosi rata-rata dan S/N ratio

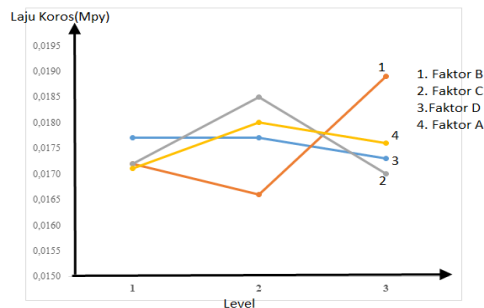
Optimasi Korosi Pada Komposit Aluminium Fly-Ash Yang Te Diperkuat Melalui Heat Treatment Dengan Menggunakan Metode Taguchi)

Nomor Eksperimen	Faktor Terkontrol				S/N Ratio (mpy)
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	1,645E-02
2	1	2	2	2	1,803E-02
3	1	3	3	3	1,848E-02
4	2	1	2	3	1,838E-02
5	2	2	3	1	1,582E-02
6	2	3	1	2	1,903E-02
7	3	1	3	2	1,685E-02
8	3	2	1	3	1,609E-02
9	3	3	2	1	1,905E-02

Dari table diatas didapat laju korsiS/N Tertinggi sebesar 36,01721 Mpy dan terendah sebesar 2=34,40356 mpy pada eksperimen 9.

Tabel 7. Laju korosi rata-rata setiap faktor dan level

Level	Faktor			
	A	B	C	D
Level1	0,0177	0,0172	0,0172	0,0171
Level2	0,0177	0,0165	0,0185	0,0180
Level3	0,0173	0,0189	0,0170	0,0176
Selisih	0,0003	0,0022	0,0014	0,0009
Ranking	4	1	2	3



Gambar. 2. Laju Korosi rata-rata Setiap Level dan Faktor

Dari table dan gambar diatas laju korosi rata-rata rata-rata terendah terjadi pad Faktor B pada Level 2 dan tertinggi terjadi pada factor A pada level 3.

Tabel 8. Hasil Perhitungan ANOVA

Source	SS	DF	MS	F Ratio	SS'	Ratio (%)
A	0,000000865	2	0,000000432	4,6491	0,000000679	1,66
B	0,000023591	2	0,000011795	126,8338	0,000023405	57,24
C	0,0000113	2	0,000005661	60,8751	0,000011137	27,24
D	0,000003438	2	0,000001719	18,4839	0,000003252	7,95
Error	0,00001674	18	0,00000093	1	0,00001488	5,01
SS _t	0,000040890	26	0,000019701		0,000039961	100
Mean	0,00833823	1				
SS _{total}	0,0083791	27				

Berdasarkan perhitungan Anove dengan mat tab. Persentase rata-rata tertinggi terjadi pada factor B sebesar 57,24% dan terendah Terjadi pada factor A sebesar 1,66%

4.2. arameter Optimum untuk pengujian korosi

Setelah menghitung ANOVA untuk nilai rata-rata, didapatkan level-level faktor optimal dari setiap faktor yang berpengaruh. Pada Tabel 9 merupakan tabel parameter optimal untuk pengujian kekerasan

Tabe;9 Parameter4 Otimasi dari Uji Koros

No.	Faktor	Parameter	Level
1	A	510 °C	Level 3
2	B	175 °C	Level 2
3	C	3 Jam	Level 3
4	D	2 Jam	Level 1

Dari Data diatas Faktor D Berpengaruh terhadap waktu selama 3,jam sedangkan factor B berpengaruh terhap temperature pada 175

5 Kessimpulan

Dari Penelitian iniu pengaruh dari perlakuan panas yang bersifat memperkuat sifat mekanik, dalam kasus ini heat treatment sebagai faktor utama untuk menghambat laju korosi, dikarenakan sifat umum fly ash yang mudah terkorosi. Dengan matriks utama aluminium dan perlakuan panas yang

diberikan, dapat di hambat dengan dilakukannya heat treatment.

1. Dari penelitian yang dilakukan temperatur solution treatment kurang mempengaruhi laju korosi, tetapi dari data yang didapat semakin besar suhu yang digunakan pada solution treatment maka semakin besar juga pengaruh yang diberikan. Dibuktikan dengan faktor A yang menunjukkan pengaruh tertinggi ialah level 3, dimana level tersebut merupakan suhu tertinggi solution treatment yang digunakan pada penelitian ini.
2. Berbeda dengan solution treatment, *aging treatment* justru memberikan pengaruh paling besar pada variabel temperaturnya dengan 57,24%. Pengaruh besar temperatur tersebut juga merupakan efek dari holding time aging tersebut. Berdasarkan data yang didapat pengaruh dari holding time menempati peringkat kedua dengan persentase sebesar 27,34%
3. Holding time pada solution treatment yang mempunyai pengaruh sebesar 7,95% di level pertama yang hanya membutuhkan waktu holding selama 2 jam

Dari ti poin di atas dapat disimpulkan bahwa heat treatment mempengaruhi laju korosi dengan tempera yang digunakan pada solution treatment paling tinggi (Faktor A) dan holding time pada solution treatment dengan waktu paling pendek (Faktor D), dilanjutkan proses aging yang menggunakan suhu optimum 175oC (Faktor B) dengan waktu holding time pada aging paling lama (Faktor C) sebagai nilai

Daftar Pustaka(2019).

- [1] Waleed T. Rashid.. (2019)._”Effect of Al₂O₃ and Fly Ash Addition on Mechanical, Wear and Corrosion

Properties of Al-Mg-Si Base Alloy “
DOI:10.26367/DJES/VOL.12/NO.2/8

- [2] Qomarul,H (2024) “ Wear Resistance of Caco3/Fly-Ash Ceramic Matrix Composit “ Indonesian Journal of Engineering and Science. Volume 8 No1 Halaman -17 - 022
 - [3] Aquino J.M., Della,C.,A., Rovere, S.E. Ku. (2023). Intergranular corrosion susceptibility in supermartenstainlesssteel weldments”,
 - [4] Prithivirajan Sekar a,b , S.K. Panigrahi (2014)., “Understanding the corrosion and bio-corrosion behaviour of Magnesium”, Journal of Magnesium and Alloys 12 (2024) 890–939
- M the basics”, Ohio: ASM International, 2001.
- [3] C. N. Hendrawan, A. Setyani, D. R. K. Pertiwi, and B. T. Sofyan, “Effect of 9 wt% Mn addition on cold rolling and annealing behaviour of Cu-31Zn alloy”, *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 3346-3351, 2020.
 - [4] W. D. Callister and D. G. Retwisch, “*Material science and engineering*”, New York: John Wiley & Sons, 2010.
 - [5] P. N. Rao, D. Singh, and R. Jayaganthan, “Effect of annealing on microstructure and mechanical properties of Al 6061 alloy processed by cryorolling”, *Materials Science and Technology*, vol. 29, n. 1, pp. 76–82, 2013.