

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEGANGAN PADA METODE ANODIZING TERHADAP KETAHANAN KOROSI DAN KEKERASAN PERMUKAAN ALUMUNIUM TIPE SERI 6061**

**(ANALYSIS OF THE EFFECT OF VOLTAGE VARIATIONS IN THE ANODIZING PROCESS ON THE CORROSION RESISTANCE AND SURFACE HARDNESS OF 6061 SERIES ALUMINUM)**

**Mohammad Zahrul Aziz Huda<sup>(1)</sup>, Zulfa Khalida<sup>(1)</sup> & Devina Rosa Hendarti<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Teknik Mesin, PSDKU POLINEMA di kota Kediri Jl. Lingkar Maskumambang No.1, Sukorame, Kec. Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur

Email: [azizhuda359@gmail.com](mailto:azizhuda359@gmail.com)

Diterima: 20 Juli 2025. Disetujui: 25 September 2025. Dipublikasikan: 30 November 2025

**ABSTRAK**

Aluminium 6061 rentan terhadap korosi di lingkungan agresif meski tahan korosi secara alami. Anodizing efektif meningkatkan ketahanan korosi dan kekerasan, namun pengaruh variasi tegangan perlu dianalisis lebih lanjut. Penelitian dengan tegangan 9V, 10V, 11V, dan 12V menunjukkan bahwa 10V memberikan arus korosi terendah ( $1,456 \times 10^{-8}$  A) dan tahanan polarisasi tertinggi  $7,1474 \times 10^6$ , menandakan ketahanan korosi optimal. Kekerasan meningkat seiring tegangan, mencapai 49 HB pada 12V. Variasi tegangan berpengaruh signifikan, dengan 10V terbaik untuk ketahanan korosi dan 12V untuk kekerasan maksimum. Penelitian ini relevan bagi industri yang memerlukan kombinasi ketahanan korosi dan kekuatan mekanik.

Kata kunci: Alumunium 6061, Anodizing, Ketahanan korosi, Kekerasan, Tegangan.

**ABSTRACT**

*Aluminum 6061 is susceptible to corrosion in aggressive environments despite its natural corrosion resistance. Anodizing effectively improves corrosion resistance and hardness; however, the effect of voltage variation requires further analysis. Research using voltages of 9V, 10V, 11V, and 12V showed that 10V resulted in the lowest corrosion current ( $1.456 \times 10^{-8}$  A) and the highest polarization resistance  $7,1474 \times 10^6$ , indicating optimal corrosion resistance. Hardness increased with voltage, reaching 49 HB at 12V. Voltage variation had a significant effect, with 10V being optimal for corrosion resistance and 12V for maximum hardness. This research are relevant for industries requiring a combination of high corrosion resistance and mechanical strength.*

*Keywords:* Aluminium 6061, Anodizing, Corrosion resistance, Hardness, Voltage.

## PENDAHULUAN

Aluminium 6061 adalah Aluminium Magnesium Silicon Alloy paduan ini memiliki kekuatan yang lebih kecil dibanding paduan lainnya yang digunakan sebagai bahan tempaan, tetapi sangat liat, sangat baik kemampuan bentuknya untuk penempaan, ektrusi dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah penggerjaan. Aluminium (99,99%) memiliki berat jenis sebesar 2,7 g/cm<sup>3</sup>, densitas 2,685 kg/m<sup>3</sup>, dan titik leburnya pada suhu 660 °C. Aluminium memiliki strength to weight ratio yang lebih tinggi dari baja [1].

Aluminium merupakan logam yang mempunyai sifat ringan,tahan korosi, penghantar listrik dan panas yang baik serta mudah dibentuk. Meskipun tahan korosi, apabila logam Aluminium dipajang (expose) ke lingkungan ,maka akan terjadi interaksi antara logam dan terjadi korosi.

Untuk mengatasi kelemahan ini, anodisasi menjadi solusi yang efektif, di mana proses ini menciptakan lapisan oksida pelindung yang keras, memiliki ketahanan aus dan korosi yang sangat baik, dan dapat diwarnai Namun, lapisan oksida yang terbentuk oleh proses anodisasi mengurangi konduktivitas listrik logam [2].

Anodisasi adalah proses elektrokimia yang memperbaiki sifat permukaan aluminium dan paduan aluminium dengan membentuk lapisan oksida yang lebih tebal dan kuat daripada lapisan alami yang terbentuk pada aluminium. Proses ini tidak hanya meningkatkan ketahanan terhadap korosi tetapi juga meningkatkan kekerasan permukaan dan ketahanan terhadap

goresan. Akibat adanya reaksi korosi, suatu material akan mengalami perubahan sifat kearah yang lebih rendah atau dapat dikatakan kemampuan dadari material tersebut akan berkurang. Korosi terjadi selain disebabkan oleh reaksi kimia atau eletrokimia. Selain itu juga terdapat beberapa faktor utama yang harus dipenuhi agar reaksi tersebut dapat berlangsung [3]. faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

### 1. Material

Dalam peristiwa korosi material, suatu material akan bersifat sebagai anoda. Anoda adalah suatu bagian dari suatu reaksi yang mengalami oksidasi. Akibat reaksi oksidasi elektron akan kehilangan elektron, dan senyawa ion logam tersebut berubah menjadi ion-ion bebas.

### 2. Lingkungan

Suatu lingkungan akan bersifat sebagai katoda. Katoda adalah suatu bagian dari reaksi yang akan mengalami reduksi. Beberapa lingkungan yang bersifat katoda adalah lingkungan air, atmosfer, gas, mineral acid, tanah, dan minyak.

### 3. Reaksi

Antara material dan lingkungan Reaksi korosi akan terjadi jika terdapt hubungan atau kontak langsung atara material dan lingkungannya. Akibat adanya hubungan tersebut akan terjadi reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara spontan.

### 4. Elektrolit

Elektrolit menghantarkan listrik karena mengandung ion ion yang mampu menghantarkan electroequivalen force sehingga reaksi dapat berlangsung.

Korosi sangat sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari, baik dibenda-benda rumah tangga sampai ke benda-benda industri. Korosi adalah reaksi logam dengan zat-zat sekitarnya, misalkan udara dan air sehingga menimbulkan senyawa baru. Dalam perkaratan senyawa baru adalah zat padat berwarna coklat kemerahan yang bersifat rapuh serta berpori. Korosi dapat menimbulkan kerugian dan dapat mengurangi umur dari pada suatu benda yang terbuat dari logam yang tingkat korosifnya tinggi. Proses korosi memerlukan oksigen dan air, oleh sebab itu maka prinsip untuk mencegah terjadinya korosi yaitu dengan menghindari kontak dengan salah satunya (air dan oksigen) [4].

Adapun Penelitian yang membahas penurunan ketahanan korosi pada paduan aluminium 6061 setelah perlakuan anodisasi tanpa penyegelan dijelaskan melalui pengamatan terhadap struktur mikro dan sifat mekaniknya. Tanpa penyegelan, lapisan anodisasi memiliki pori yang lebih besar dan permukaan yang tidak sepenuhnya halus, sehingga memungkinkan penetrasi media korosif seperti ion klorida dari larutan garam. Selain itu, struktur yang kurang padat ini meningkatkan laju korosi, yang tercermin dari nilai kepadatan arus korosi ( $i_{corr}$ ) yang lebih tinggi. Untuk meningkatkan ketahanan korosi, sangat penting untuk melakukan proses penyegelan setelah anodisasi agar pori-pori pada lapisan anodisasi terisi dan mencegah penetrasi zat korosif, sehingga memperbaiki sifat perlindungan permukaan dan ketahanan korosi dari paduan aluminium tersebut [5].

Beberapa faktor utama yang berhubungan dengan parameter proses anodizing seperti konsentrasi larutan asam sulfat, rapat arus, dan waktu anodisasi [6]. Peningkatan konsentrasi asam sulfat hingga titik tertentu memang meningkatkan pembentukan lapisan oksida, tetapi jika konsentrasi terlalu tinggi, lapisan oksida yang terbentuk justru menjadi tipis akibat peluruhan lapisan yang lebih cepat daripada pembentukannya. Semakin besar rapat arus, semakin tebal dan keras lapisan oksida yang dihasilkan, tetapi pada nilai yang terlalu tinggi, lapisan tersebut menjadi kurang stabil dan mudah retak, sehingga mempercepat proses korosi. Waktu yang terlalu singkat menghasilkan lapisan tipis yang protektifnya kurang, Waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan peluruhan lapisan pelindung dan menambah jumlah retakan. Kesimpulanya, Ketahanan korosi paling optimal dicapai pada parameter yang seimbang, yaitu konsentrasi asam sulfat yang tidak terlalu tinggi (sekitar 1M), rapat arus sedang (sekitar  $1A/dm^2$ ), dan waktu anodisasi 20 menit. Jika parameter ini melebihi batas optimalnya, lapisan oksida justru akan lebih rentan terhadap korosi akibat pembentukan retakan dan peluruhan lapisan pelindung yang lebih cepat daripada proses pembentukan. Keberhasilan anodisasi untuk meningkatkan ketahanan korosi pada aluminium 6061 sangat bergantung pada pemilihan parameter yang tepat dan tidak berlebihan dalam meningkatkan satu faktor saja dengan mengorbankan faktor lainnya.

Metode pengujian kekerasan ini dikembangkan oleh Johan August Brinell

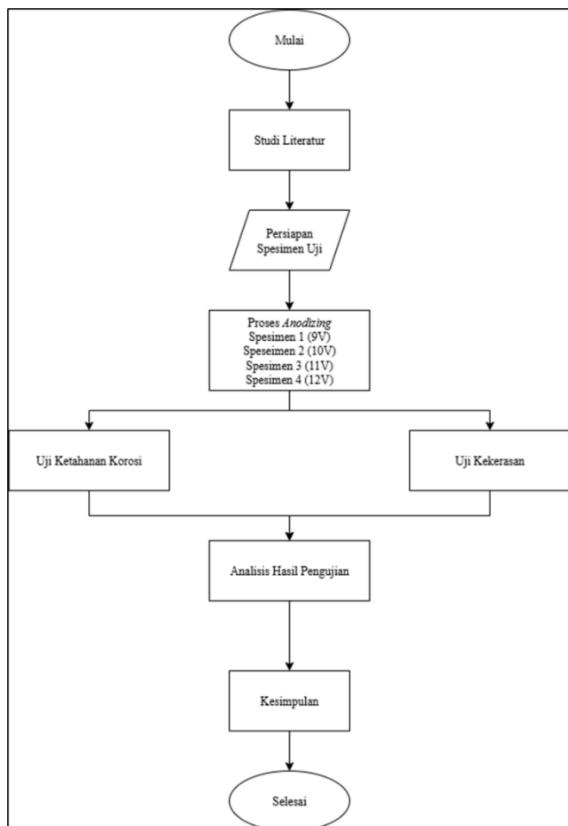
pada awal tahun 1900-an. Prinsipnya adalah dengan membuat lekukan pada permukaan logam menggunakan alat indentor. Indentor yang digunakan dalam metode Brinell berbentuk bola dengan diameter standar internasional, yaitu 10 mm, 5 mm, 2,5 mm, dan 1 mm. Bola indentor terbuat dari dua jenis material, yaitu baja yang dikeraskan atau dilapisi krom, serta tungsten karbida. Karena tungsten karbida memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan baja, bola dari material ini biasanya digunakan untuk menguji material yang lebih keras. Hal ini bertujuan untuk mencegah kerusakan pada bola indentor saat pengujian dilakukan. Proses pengujian dimulai dengan menekan permukaan logam menggunakan bola baja yang dikeraskan dengan beban tertentu selama 15 detik. Setelah itu, beban diangkat, dan diameter lekukan yang terbentuk diukur menggunakan mikroskop. Agar hasil pengujian akurat, permukaan material uji harus halus, rata, serta bebas dari debu dan kerak. Pengujian kekerasan dengan metode Brinell bertujuan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap penetrasi bola baja (indentor) yang ditekan pada permukaannya. Metode ini memiliki beberapa keunggulan, salah satunya sangat cocok digunakan untuk material yang bersifat heterogen karena memberikan hasil yang lebih representatif. Namun, metode ini juga memiliki kelemahan, terutama dalam hal ketelitian pengukuran. Proses mengukur diameter lekukan hasil indentasi membutuhkan kecermatan dan waktu yang cukup lama, sehingga dapat memperlambat proses penelitian [7].

Adapun Penelitian terdahulu yang membuktikan bahwa proses anodizing dengan variasi tegangan listrik secara signifikan meningkatkan kekerasan permukaan aluminium. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kekerasan dari 135,41 VHN (tanpa anodizing) menjadi 219,35 VHN pada tegangan 12 volt, dimana peningkatan ini berkorelasi positif dengan ketebalan lapisan oksida yang terbentuk (dari 2  $\mu\text{m}$  menjadi 16  $\mu\text{m}$ ). Studi tersebut mengkonfirmasi bahwa parameter elektrokimia dalam anodizing, khususnya tegangan tinggi, merupakan faktor kunci untuk meningkatkan kekerasan permukaan aluminium melalui pembentukan lapisan oksida yang tebal dan padat, meskipun diikuti oleh peningkatan kekasaran permukaan akibat struktur pori yang tidak beraturan [8].

## MATERIAL DAN METODOLOGI

Jenis penelitian menggunakan eksperimental dan kuantitatif yang berkaitan dengan analisis pengaruh perlakuan anodisasi terhadap ketahanan korosi dan kekerasan material. Anodisasi merupakan pelapisan oxida yang banyak diterapkan pada logam Aluminium. Dalam penelitian ini, penulis menguji langsung material 6061 sampel Aluminium yang menjalani anodisasi dan menyesuaikan variabel tegangan anodisasi dan konsentrasi elektrolit untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil. Data yang diperoleh dari uji kekerasan dan ketahanan korosi kemudian dianalisis menggunakan metode statistik untuk mengetahui signifikansi pengaruh perlakuan anodisasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh

perlakuan anodisasi terhadap ketahanan korosi dan kekerasan material, serta mengoptimalkan perlakuan anodisasi untuk menghasilkan material aluminium dengan sifat mekanik yang lebih baik dan ketahanan korosi yang lebih tinggi. Tahapan atau langkah-langkah dari penelitian ini dapat dilihat berdasarkan gambar 1 berikut:



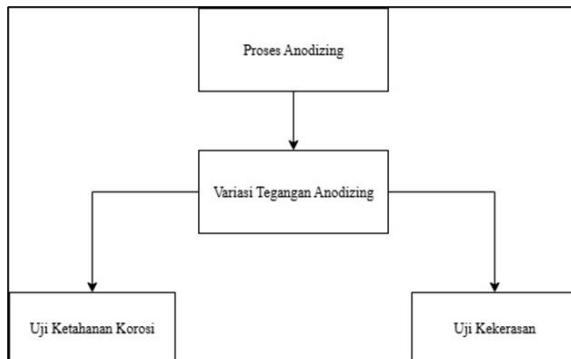
**Gambar 1.** Diagram Alir penelitian  
Keterangan:

1. Tahap pertama adalah mulai.
  2. Tahap kedua adalah studi literatur, dimana pada tahap ini mengacu dalam parameter yang digunakan. Studi literatur ini dapat berupa jurnal, pemilihan material, dimana material yang dipilih pada penelitian ini aluminium tipe 6061.
  3. Tahap ketiga adalah persiapan spesimen uji yang akan digunakan sebelum proses anodizing dilakukan untuk melakukan pengujian.
  4. Tahap keempat adalah melakukan proses anodisasi pada spesimen uji dengan variasi arus:
    - a. Spesimen 1= 9volt, 25 menit.
    - b. Spesimen 2= 10volt, 25 menit.
    - c. Spesimen 3= 11volt, 25 menit.
    - d. Spesimen 4= 12volt 25 menit.
  5. Tahap kelima adalah pengujian ketahanan korosi, untuk mengetahui nilai masing-masing ketahanan korosi setelah proses anodizing.
  6. Tahap keenam adalah pengujian kekerasan untuk mengetahui nilai masing-masing kekerasan setelah proses anodizing.
  7. Tahap ketujuh adalah menganalisis data yang diperoleh dari proses uji. Jika data uji telah sesuai maka proses selanjutnya menentukan kesimpulan dan jika data tidak sesuai maka kembali ke proses anodisasi.
  8. Tahap kedelapan adalah kesimpulan dari beberapa tahap yang telah dilakukan agar menghasilkan data yang lebih jelas dan ringkas agar mudah dipahami oleh penulis maupun pembaca.
  9. Tahap kesembilan adalah selesai.
- Pada penelitian ini terdapat 2 jenis variabel yang digunakan, yaitu variabel bebas, variabel terikat. Variabel bebas adalah variabel

pengaruh. Variabel bebas merupakan sesuatu yang bisa diubah-ubah/diatur besarnya untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diobservasi atau diamati. Variabel terikat adalah variabel terpengaruh yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat merupakan faktor yang diobservasi dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh variabel bebas.

- a. Variabel bebas meliputi Variasi tegangan pada anodizing.
- b. Variabel terikat meliputi Ketahanan Korosi dan Kekerasan pada Alumunium 6061.

Kerangka konsep pada penelitian ini terdapat pada flowchart dibawah ini:



**Gambar 1.** Kerangka Konsep Penelitian

Si	Mg	Fe	Cu	Cr	Zn	Ti	Unsur lain	Al
0,63	0,98	0,19	0,18	0,05	0,10	0,08	0,15	Balance

**Tabel 1.** Komposisi Kimia Alumunium 6061

Paduan ini terdiri dari aluminium (Al) sebagai komponen utama, dengan tambahan beberapa unsur paduan dalam jumlah tertentu. Silikon (Si) sebesar 0,63% dan magnesium (Mg) sebesar 0,98% berperan penting dalam meningkatkan kekuatan material melalui mekanisme

pengerasan presipitasi. Unsur tembaga (Cu) sebesar 0,18% ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan lebih lanjut, meskipun dalam jumlah terbatas untuk menjaga ketahanan korosi. Kandungan besi (Fe) sebesar 0,19% dan seng (Zn) sebesar 0,10% umumnya hadir sebagai unsur tambahan atau pengotor dalam batas yang diperbolehkan. Kromium (Cr) sebesar 0,05% berfungsi untuk mengontrol struktur butir dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi, sedangkan titanium (Ti) sebesar 0,08% bertindak sebagai pemurni butir selama proses pengecoran. Selain itu, terdapat 0,15% unsur lain yang mencakup elemen tambahan atau pengotor minor [9].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji korosi dapat mengungkapkan kelemahan dalam proses anodisasi yang mungkin tidak terlihat secara visual, seperti pori-pori yang tidak tersegel dengan baik yang dapat menjadi jalur bagi korosif untuk mencapai substrat aluminium. Pelaksanaan pengujian tarik dilakukan di Laboratorium terpadu Universitas Terpadu Negeri Malang. Sedangkan Pelaksanaan uji kekerasan dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang menggunakan metode uji kekerasan Brinell. Metode ini digunakan karena uji brinell dapat disesuaikan dengan baik untuk rentang kekerasan material non-ferrous seperti aluminium dan paduannya, dengan pemilihan beban dan diameter bola yang sesuai.

Uji ketahanan korosi dilakukan pada permukaan yang sengaja tidak terkena lapisan resin. Data hasil uji ketahanan korosi dari hasil anodizing pada alumunium

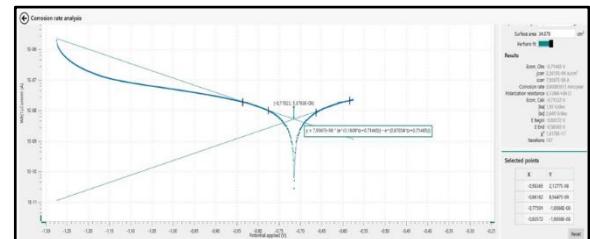
6061 dengan variabel 9V, 10V, 11V, 12V, dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tegangan(v)	Icor (A)	Tahanan polarisasi, rp (ohm)	Laju korosi (mm/yr)
9	$7,9567 \times 10^{-8}$	$6,1266 \times 10^6$	0,00085615
10	$1,456 \times 10^{-8}$	$7,1474 \times 10^6$	0,00012453
11	$4,0945 \times 10^{-8}$	$2,9159 \times 10^6$	0,00044057
12	$2,7056 \times 10^{-8}$	$5,2339 \times 10^5$	0,00029113

**Tabel 2.** Hasil Uji Korosi

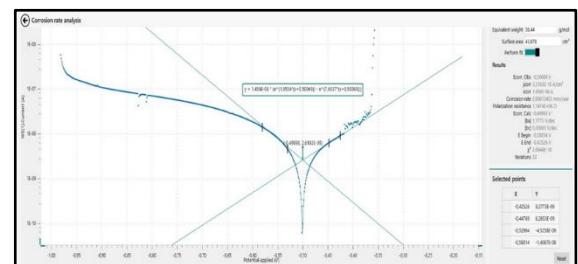
Pada tegangan 10V diperoleh performa terbaik dengan arus korosi terendah ( $1,456 \times 10^{-8}$  A), tahanan polarisasi tertinggi ( $7,1474 \times 10^6$  Ω), dan laju korosi minimal (0,00012453 mm/tahun). Namun, pola ini tidak linier - kenaikan tegangan menjadi 11V justru menurunkan performa (Icor= $4,0945 \times 10^{-8}$  A, Rp= $2,9159 \times 10^6$  Ω), sementara pada 12V terjadi perbaikan parsial (Icor= $2,7056 \times 10^{-8}$  A) meskipun tahanan polarisasi turun signifikan ( $5,2339 \times 10^5$  Ω). Secara umum, tahanan polarisasi berbanding terbalik dengan arus korosi, namun fluktuasi hasil menunjukkan adanya faktor tambahan seperti kondisi permukaan atau komposisi elektrolit yang mempengaruhi proses korosi. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya optimasi tegangan dalam proses anodizing untuk mencapai ketahanan korosi optimal. Data ini berguna untuk memahami kinerja material dalam lingkungan korosif dan menentukan kondisi operasi yang optimal untuk meminimalkan kerusakan akibat korosi. Dari hasil pengujian ketahanan korosi menghasilkan gambar kurva yang ditunjukkan pada gambar-gambar berikut. Pada potensial korosi (Ecorr) -0,71465 V, tercapai kesetimbangan antara reaksi oksidasi dan reduksi. Nilai arus korosi yang sangat rendah ( $7,9567 \times 10^{-8}$  A) dan resistansi polarisasi tinggi ( $6,1266 \times 10^6$  ohm)

ohm) mengindikasikan bahwa material memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Kemiringan Tafel untuk reaksi anodik (1,95 V/dec) dan katodik (2,645 V/dec) menunjukkan kinetika reaksi yang stabil.



**Gambar 3.** Hasil Kurva Polarisasi Potensial

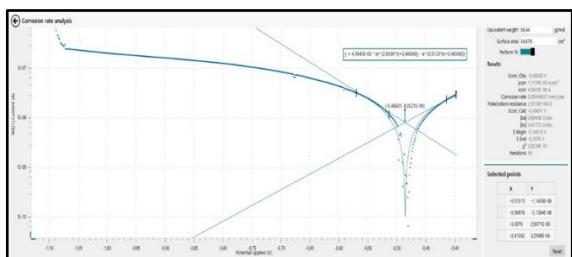
Dimana bagian katodik mendominasi pada potensial lebih negatif. Hasil ini konsisten dengan laju korosi yang terukur sebesar 0,00085615 mm/tahun, membuktikan efektivitas lapisan oksida dalam melindungi material. Analisis kurva Tafel ini memberikan pemahaman komprehensif tentang mekanisme korosi dan kinerja material dalam lingkungan elektrokimia.



**Gambar 4.** Hasil Kurva Polarisasi Potensial

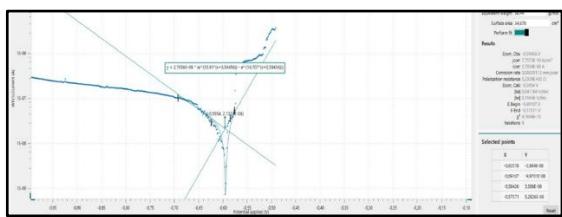
Hubungan antara potensial (sumbu X) dan arus korosi (sumbu Y dalam skala logaritmik), dengan potensial korosi (Ecorr) teramat sebesar -0,50069 V sebagai titik keseimbangan reaksi anodik dan katodik. Nilai arus korosi yang sangat rendah ( $1,456 \times 10^{-8}$  A) dan resistansi polarisasi tinggi ( $7,1474 \times 10^6$  ohm) mengindikasikan ketahanan korosi yang sangat baik, dengan laju korosi hanya 0,00012453 mm/tahun.

Kemiringan Tafel untuk reaksi anodik ( $1,1775$  V/dec) dan katodik ( $0,30085$  V/dec) menunjukkan karakteristik kinetika reaksi, di mana kurva menampilkan pola eksponensial khas dengan dominasi reaksi katodik di potensial lebih negatif dan anodik di potensial lebih positif.



**Gambar 5.** Hasil Kurva Polarisasi Potensial

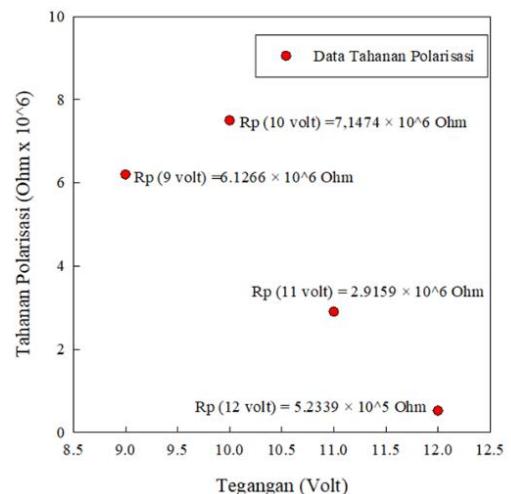
Hubungan antara potensial (sumbu X) dan arus korosi (sumbu Y skala logaritmik), dengan potensial korosi ( $E_{corr}$ )  $-0,48568$  V sebagai titik keseimbangan reaksi. Nilai arus korosi  $4,0945 \times 10^{-8}$  A dan resistansi polarisasi  $2,9159 \times 10^6$  ohm menunjukkan ketahanan korosi baik (laju korosi  $0,00044057$  mm/tahun). Kemiringan Tafel untuk reaksi anodik ( $0,80480$  V/dec) dan katodik ( $0,41772$  V/dec) mencerminkan kinetika reaksi, dengan kurva mengikuti pola eksponensial khas sesuai prinsip Tafel.



**Gambar 6.** Hasil Kurva Polarisasi Potensial

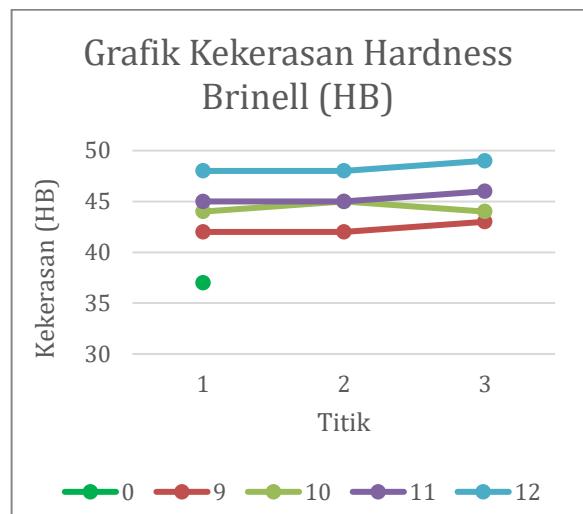
Karakteristik korosi material dengan potensial korosi ( $E_{corr}$ )  $-0,59456$  V sebagai titik keseimbangan reaksi oksidasi-reduksi. Material ini menunjukkan ketahanan korosi yang sangat baik dengan arus korosi rendah ( $2,7056 \times 10^{-8}$  A), laju korosi  $0,00029113$  mm/tahun, dan tahanan polarisasi tinggi

( $5,2339 \times 10^5$  ohm). Kemiringan kurva anodik ( $0,041184$  V/dec) dan katodik ( $0,16556$  V/dec) menggambarkan kinetika reaksi, sementara hasil fitting kurva ( $\chi^2 = 4,1696 \times 10^{-15}$ ) menunjukkan akurasi model yang sangat baik.



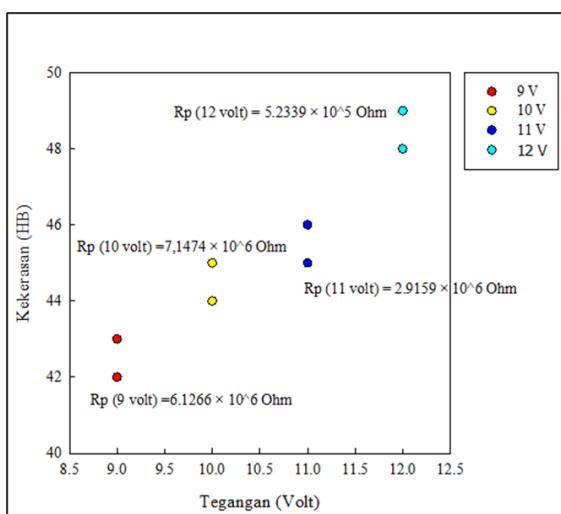
**Gambar 7.** Grafik tahanan korosi

Tahanan polarisasi mencapai puncaknya pada  $10\text{V}$  ( $7,1474 \times 10^6$   $\Omega$ ), menunjukkan performa anti-korosi terbaik, sementara nilai terendah tercatat pada  $12\text{V}$  ( $5,2339 \times 10^5$   $\Omega$ ). Pola ini mengkonfirmasi bahwa tegangan  $10\text{V}$  merupakan kondisi optimal dalam proses anodizing untuk mencapai ketahanan korosi maksimal, dimana tahanan polarisasi yang lebih tinggi secara efektif menghambat proses korosi pada material.



**Gambar 8.** Grafik Kekerasan

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara tegangan (dalam Volt) pada sumbu X dan kekerasan (HB) pada sumbu Y, dengan empat seri data yang diwakili oleh warna berbeda, yaitu 9 V (merah), 10 V (kuning), 11 V (biru), dan 12 V (biru muda). Untuk membaca grafik ini, kita dapat melihat bagaimana nilai kekerasan berubah seiring dengan variasi tegangan untuk setiap seri data. Pada tegangan 9.0 Volt, terdapat tiga titik data kekerasan 42 HB, 42HB, 43 HB. Sementara itu, pada tegangan 12.0 Volt, terlihat tiga titik data kekerasan 48 HB, 48 HB, 49 HB. Dengan membandingkan titik-titik data dari setiap warna (tegangan yang berbeda), dapat mengamati tren atau pola hubungan antara tegangan dan kekerasan. Hasil pada penelitian ini nilai tertinggi kekerasan metode *anodizing* terletak pada 12 volt.



**Gambar 9.** Grafik Tahanan Korosi

Pada tegangan 10V, material mencapai ketahanan korosi optimal dengan tahanan polarisasi tertinggi ( $7,1474 \times 10^6$  ohm). Sementara itu, kekerasan permukaan menunjukkan tren meningkat secara konsisten seiring kenaikan tegangan, mencapai puncak 49 HB pada 12V. Hal ini mengindikasikan bahwa tegangan 10V

merupakan kondisi ideal untuk aplikasi yang memprioritaskan ketahanan korosi, sedangkan tegangan lebih tinggi (12V) lebih sesuai untuk kebutuhan kekerasan permukaan.

Proses anodizing pada aluminium 6061 dengan variasi tegangan terbukti secara signifikan meningkatkan kekerasan permukaannya. Hasilnya menunjukkan tren yang konsisten: pada tegangan 9 Volt kekerasan rata-rata adalah 42 HB, kemudian meningkat menjadi 44 HB pada 10 Volt, dan 45 HB pada 11 Volt. Nilai kekerasan tertinggi dicapai pada tegangan 12 Volt, yaitu 49 HB. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan yang dialirkan maka tingkat nilai kekerasan permukaan semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena adanya proses oksidasi pada permukaan aluminium yang menimbulkan pori-pori atau rongga rongga yang tak beraturan pada permukaan aluminium sehingga permukaan menjadi kasar [8]

Pengaruh variasi tegangan anodizing terhadap ketahanan korosi aluminium 6061 tidak linier. Ketahanan korosi tertinggi justru dicapai pada tegangan 10 Volt, yang ditunjukkan oleh nilai arus korosi (Icor) terendah sebesar  $1,456 \times 10^{-8}$  A, tahanan polarisasi tertinggi ( $7,1474 \times 10^6$  ohm), dan laju korosi terendah 0,00012453 mm/tahun. Sebaliknya, pada tegangan 12 Volt, kinerja lapisan pelindung menurun dengan meningkatnya arus korosi menjadi  $2,7056 \times 10^{-8}$  A dan laju korosi menjadi 0,00029113 mm/tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa

lapisan oksida yang terbentuk pada 10 Volt paling efektif dalam menghambat korosi. Penelitian terdahulu mengindikasikan bahwa lapisan oksida yang terbentuk pada tegangan ini terlalu tebal namun rapuh sehingga dapat menyebabkan peningkatan kerentanan terhadap korosi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa terdapat tegangan optimal, yaitu 10V, yang menghasilkan ketahanan korosi terbaik.[10]

Hubungan pengaruh tegangan anodisasi aluminium 6061 menciptakan trade-off antara dua sifat utama. Ketahanan korosi mencapai optimal pada 10 Volt dengan laju korosi terendah (0,00012453 mm/tahun), karena lapisan oksida yang terbentuk paling kompak. Sebaliknya, kekerasan permukaan meningkat secara konsisten dengan tegangan, mencapai nilai tertinggi 49 HB pada 12 Volt. Dengan demikian, pemilihan tegangan harus disesuaikan dengan prioritas aplikasi: 10 Volt untuk ketahanan korosi terbaik atau tegangan lebih tinggi (12V) untuk kekerasan maksimal.

## KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menganalisis pengaruh variasi tegangan pada metode anodizing terhadap ketahanan korosi dan kekerasan permukaan aluminium tipe seri 6061. Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

1. Peningkatan tegangan tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan ketahanan korosi aluminium 6061. Pada tegangan 10V, diperoleh nilai arus korosi terendah dan tahanan polarisasi tertinggi, yang menunjukkan ketahanan korosi yang optimal. Sebaliknya, pada tegangan yang lebih tinggi, arus korosi cenderung meningkat, menandakan penurunan efektivitas lapisan oksida sebagai pelindung.
2. Peningkatan tegangan selama proses anodizing berdampak positif terhadap kekerasan permukaan. Data menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat seiring dengan peningkatan tegangan, mencapai puncaknya pada 12V. Hal ini mengindikasikan bahwa tegangan yang lebih tinggi dapat meningkatkan kekerasan permukaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. U. Mariam, A. Ibrahim, Y. Yuniaty, and N. Nazirudin, “Pengaruh Variasi Rapat Arus Hard Anodizing Terhadap Laju Korosi Pada Aluminium 6061,” *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 4, no. 2, p. 99, 2020, doi: 10.30811/jmst.v4i2.2014.
- [2] M. Muzaki, I. Mashudi, M. Fakhruddin, A. M. Anwar, R. A. N. Paranata, and G. Wiganata, “Analisis Pengaruh Variasi Beda Potensial dan Waktu Proses Anodizing terhadap Karakteristik Lapisan Oksida Aluminium 6061,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 17, no. 1, p. 59, 2022, doi: 10.32497/jrm.v17i1.3020.
- [3] E. Salman, “Analisis Rapat Arus Dan Jarak Anoda – Katoda Pada Proses Anodizing Terhadap Laju Korosi Dan Nilai Kekerasan Aluminium Alloy 1100 Halaman,” *Nucl. Phys.*, vol. 13, no. 1, pp. 104–116, 2023.
- [4] D. I. Rahmawati and A. Nuraliyah, “Pengaruh ketahanan korosi logam alumunium terhadap variasi pada larutan asam klorida 0,1 M dan 0,5

- M,” *Dyn. Eng. Syst. Innov. Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 15–27, 2024, doi: 10.61511/dynamics.v1i1.738.
- [5] M. Y. Lin *et al.*, “Improving the Corrosion Resistance of 6061 Aluminum Alloy Using Anodization and Nickel-Cobalt based Sealing Treatment,” *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 16, pp. 1–19, 2021, doi: 10.20964/2021.10.50.
- [6] I. C. Chung, C. K. Chung, and Y. K. Su, “Effects of anodization parameters on the corrosion resistance of 6061 Al alloy using the Taguchi method,” *Microsyst. Technol.*, vol. 24, no. 1, pp. 351–359, 2018, doi: 10.1007/s00542-017-3385-x.
- [7] F. T. H. Sinaga, E. P. D. Boangmanalu, A. B. Pratama, J. F. H. Saragi, Al Qadry, and Sahat, “Hardness Test Analysis on ST 37 Steel Plate Material and Aluminum Using the Brinell Test Method,” *Formosa J. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 12, pp. 3297–3308, 2024, doi: 10.55927/fjst.v2i12.7035.
- [8] Klaudia BR Semibing, “Studi pengaruh variasi tegangan listrik pada proses anodizing terhadap kekerasan, dan struktur mikro pada permukaan alumunium seri 1000,” p. 6, 2021.
- [9] M. Dewi, A. A. Alhamidi, and M. Fitruallah, “Studi mikrostruktur dan sifat mekanik Aluminium 6061 melalui proses canai dingin dan aging,” 2016.
- [10] A. Wisnujati and F. Yudhanto, “Karakterisasi Lapisan Oksida Hasil Anodizing Pada Aluminium Dengan Variabel Waktu Pencelupan,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 525–536, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i2.1309.