



Pengaruh Proses *Surface Treatment Anodizing* terhadap *Surface Roughness* dan Densitas Aluminium 5058

Nur Aeni Ramadhani^{1*}, Deri Teguh Santoso², Kosim Abdurrohman³

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia

³ Pusat Riset Teknologi Penerbangan (P RTP), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia

Email: 2210631150093@student.unsika.ac.id¹, deri.teguh@ft.unsika.ac.id², kosi001@brin.go.id³

*Penulis Korespondensi: 2210631150093@student.unsika.ac.id

Abstract. Aluminum 5058 is widely used in engineering components because it has low density, good corrosion resistance, and stable surface performance. However, anodizing can change its surface characteristics through an electrochemical oxidation reaction that forms an aluminum oxide layer and modifies surface topography. This study aims to analyze the effect of anodizing on the surface roughness and density of aluminum 5058 compared with non-treatment specimens. The research used a quantitative experimental method with aluminum specimens measuring 2×2 cm. Surface roughness was tested at the BRIN Laboratory according to ISO 21920-2:2021 at three measurement points using R_a , R_z , and R_q parameters, while density was measured using the Archimedes method. The results showed that anodized specimens had average values of R_a 0.59 μm , R_z 4.78 μm , and R_q 0.77 μm , whereas non-treatment specimens had R_a 0.20 μm , R_z 1.54 μm , and R_q 0.28 μm . These results indicate that anodizing forms a rougher oxide texture on the aluminum surface. Density testing showed values of 2.7058 g/cm³ for non-treatment specimens and 2.7088 g/cm³ for anodized specimens, with a very small difference of 0.0030 g/cm³. Therefore, anodizing significantly affects surface topography but does not substantially change material density. This finding confirms that anodizing is mainly a surface modification process.

Keywords: Aluminum 5058; Anodizing; Density; Non-Treatment; Surface Roughness.

Abstrak. Aluminium 5058 banyak digunakan pada komponen teknik karena memiliki densitas rendah, ketahanan korosi yang baik, dan kemampuan membentuk lapisan oksida alami pada permukaan. Namun, proses *anodizing* dapat mengubah karakteristik permukaan melalui reaksi oksidasi elektrokimia yang membentuk lapisan aluminium oksida dan memodifikasi topografi permukaan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh proses *anodizing* terhadap kekasaran permukaan dan densitas aluminium 5058 dibandingkan dengan kondisi *non-treatment*. Penelitian menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan spesimen aluminium berukuran 2×2 cm. Pengujian kekasaran permukaan dilakukan di Laboratorium BRIN berdasarkan standar ISO 21920-2:2021 pada tiga titik pengukuran dengan parameter R_a , R_z , dan R_q , sedangkan densitas diuji menggunakan metode Archimedes. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen *anodizing* memiliki nilai rata-rata R_a sebesar 0,59 μm , R_z sebesar 4,78 μm , dan R_q sebesar 0,77 μm , sedangkan spesimen *non-treatment* memiliki nilai rata-rata R_a sebesar 0,20 μm , R_z sebesar 1,54 μm , dan R_q sebesar 0,28 μm . Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa *anodizing* membentuk tekstur oksida yang lebih kasar pada permukaan aluminium. Hasil pengujian densitas menunjukkan nilai 2,7058 g/cm³ pada spesimen *non-treatment* dan 2,7088 g/cm³ pada spesimen *anodizing*, dengan selisih sangat kecil sebesar 0,0030 g/cm³. Dengan demikian, *anodizing* berpengaruh nyata terhadap topografi permukaan, tetapi tidak memberikan perubahan signifikan terhadap densitas material. Temuan ini menunjukkan bahwa *anodizing* lebih berperan sebagai proses modifikasi permukaan.

Kata Kunci: Aluminium 5058; Anodizing; Densitas; Kekasaran Permukaan; Non-Treatment.

1. LATAR BELAKANG

Aluminium dan paduannya banyak digunakan dalam bidang teknik karena memiliki densitas rendah, rasio kekuatan terhadap berat yang baik, serta ketahanan korosi alami akibat terbentuknya lapisan oksida tipis pada permukaan. Sifat tersebut menjadikan aluminium sesuai untuk komponen yang membutuhkan bobot ringan, kemudahan proses manufaktur, dan kestabilan dimensi. Meskipun demikian, performa aluminium tidak hanya ditentukan oleh sifat

bulk material, tetapi juga oleh kondisi permukaan yang berinteraksi langsung dengan lingkungan kerja dan proses lanjutan (Callister & Rethwisch, 2018; Scampone & Timelli, 2022).

Kondisi permukaan material berperan penting terhadap kualitas pelapisan, ketahanan aus, ketahanan korosi, kemampuan adhesi, dan fungsi komponen secara keseluruhan. Topografi permukaan yang terlalu halus atau tidak terkontrol dapat memengaruhi area kontak, mekanisme *mechanical interlocking*, serta distribusi tegangan pada antarmuka material. Oleh karena itu, karakterisasi tekstur permukaan menjadi bagian penting dalam evaluasi hasil perlakuan permukaan aluminium (Leach, 2013; Cavezza et al., 2020).

Salah satu metode perlakuan permukaan yang umum digunakan pada aluminium adalah *anodizing*. *Anodizing* merupakan proses elektrokimia yang menempatkan aluminium sebagai anoda sehingga terbentuk lapisan oksida aluminium (Al_2O_3) secara terkontrol. Lapisan oksida hasil *anodizing* umumnya memiliki struktur berpori dan dapat meningkatkan ketahanan korosi, ketahanan aus, kemampuan pewarnaan, serta daya rekat terhadap lapisan atau material lain (Arsyad et al., 2023; Martínez-Viademonte et al., 2020).

Perubahan permukaan akibat *anodizing* dipengaruhi oleh parameter proses, seperti jenis elektrolit, tegangan, arus, waktu proses, suhu larutan, serta kondisi awal spesimen sebelum perlakuan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *anodizing* dapat mengubah mikrostruktur, profil oksida, sifat keterbasahan, dan nilai kekasaran permukaan aluminium. Selain itu, kondisi pemolesan atau persiapan permukaan sebelum *anodizing* juga memengaruhi keteraturan pori dan morfologi lapisan oksida yang terbentuk (Arsyad et al., 2023; Karakoç & Çakır, 2023; Zaraska et al., 2023).

Dalam aplikasi teknik, peningkatan kekasaran permukaan tidak selalu dipandang sebagai kekurangan. Pada proses pelapisan dan penyambungan adhesif, permukaan yang memiliki pori atau ketidakrataan mikro dapat meningkatkan area kontak dan memperkuat ikatan mekanis antara substrat dan lapisan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa *anodizing* dan perlakuan permukaan lain dapat meningkatkan energi permukaan, keterbasahan, serta kekuatan ikatan pada sambungan aluminium maupun antarmuka logam-komposit (Xu et al., 2016; Drożdziel-Jurkiewicz & Bieniaś, 2022; Luo et al., 2023).

Selain kekasaran permukaan, densitas merupakan parameter fisik dasar yang penting untuk memastikan bahwa perlakuan permukaan tidak mengubah karakteristik utama material secara signifikan. Aluminium secara umum memiliki densitas sekitar $2,7 \text{ g/cm}^3$, sehingga banyak digunakan pada struktur ringan. Karena *anodizing* terutama membentuk lapisan oksida pada permukaan dengan ketebalan relatif kecil dibandingkan volume spesimen, perubahan

densitas *bulk material* diperkirakan tidak sebesar perubahan topografi permukaan (Callister & Rethwisch, 2018; Scampone & Timelli, 2022).

Berdasarkan kajian tersebut, masih diperlukan pembahasan eksperimental yang secara langsung membandingkan kondisi aluminium 5058 sebelum dan sesudah *anodizing*, khususnya pada parameter kekasaran permukaan R_a , R_z , dan R_q serta densitas material. Sebagian penelitian terdahulu lebih banyak menitikberatkan pada kekuatan adhesi, korosi, atau morfologi lapisan oksida, sedangkan perbandingan sederhana antara *surface roughness* dan densitas pada spesimen aluminium 5058 dalam kondisi *anodizing* dan *non-treatment* masih perlu diperjelas.

Kontribusi penelitian ini adalah memberikan data eksperimental mengenai pengaruh proses *anodizing* terhadap kekasaran permukaan dan densitas aluminium 5058 berdasarkan pengukuran aktual. Dengan membandingkan spesimen *anodizing* dan *non-treatment*, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kuantitatif mengenai perubahan topografi permukaan tanpa mengabaikan sifat fisik dasar material. Hasil penelitian juga dapat menjadi referensi awal untuk pengembangan perlakuan permukaan aluminium pada aplikasi pelapisan, penyambungan, maupun komponen teknik yang membutuhkan kontrol kekasaran permukaan.

Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis pengaruh proses *anodizing* terhadap nilai kekasaran permukaan dan densitas aluminium 5058. Secara khusus, penelitian ini bertujuan membandingkan nilai R_a , R_z , dan R_q antara spesimen *anodizing* dan *non-treatment*, menghitung perbedaan densitas kedua kondisi spesimen, serta menjelaskan hubungan antara proses *anodizing*, pembentukan lapisan oksida, dan perubahan karakteristik permukaan.

Adapun pertanyaan penelitian yang diajukan adalah: (1) Seberapa besar perubahan nilai R_a , R_z , dan R_q aluminium 5058 setelah proses *anodizing* dibandingkan dengan kondisi *non-treatment*? (2) Apakah proses *anodizing* memberikan perubahan yang signifikan terhadap densitas aluminium 5058? (3) Bagaimana hasil pengujian tersebut dapat dijelaskan berdasarkan teori pembentukan lapisan oksida dan perubahan topografi permukaan akibat *anodizing*?

Secara keseluruhan, penelitian ini berupaya mengisi celah antara kebutuhan kontrol kualitas permukaan aluminium dan pembuktian eksperimental sederhana mengenai pengaruh *anodizing* terhadap sifat permukaan serta sifat fisik material. Dengan demikian, hasil penelitian ini relevan untuk mendukung evaluasi proses manufaktur, perlakuan permukaan, dan pengembangan komponen aluminium yang membutuhkan karakteristik permukaan terukur.

2. KAJIAN TEORITIS

Aluminium merupakan logam ringan yang banyak digunakan pada aplikasi teknik karena memiliki densitas rendah, konduktivitas yang baik, serta kemampuan membentuk lapisan oksida alami ketika terpapar lingkungan. Lapisan oksida alami tersebut memberikan perlindungan awal, namun ketebalan dan kestabilannya terbatas sehingga perlakuan permukaan tambahan sering dibutuhkan untuk meningkatkan performa komponen (Callister & Rethwisch, 2018; Scampone & Timelli, 2022).

Anodizing adalah proses oksidasi elektrokimia yang dilakukan dengan menjadikan aluminium sebagai anoda dalam sel elektrolit. Pada proses ini, ion aluminium dari substrat bereaksi dengan ion oksigen atau hidroksil dari elektrolit sehingga terbentuk lapisan aluminium oksida. Pertumbuhan lapisan oksida berlangsung pada antarmuka logam-oksida dan oksida-elektrolit, sedangkan sebagian oksida dapat larut kembali dalam elektrolit sehingga terbentuk struktur berpori. Mekanisme ini menjelaskan mengapa *anodizing* dapat mengubah morfologi dan kekasaran permukaan material (Scampone & Timelli, 2022; Martínez-Viademonte et al., 2020).

Parameter proses *anodizing* sangat berpengaruh terhadap sifat lapisan yang terbentuk. Tegangan, arus, suhu, waktu, konsentrasi elektrolit, dan kondisi awal permukaan menentukan ketebalan lapisan, ukuran pori, keteraturan pori, serta kualitas permukaan akhir. Pada aluminium, perlakuan awal seperti pembersihan, desmutting, pemesinan, dan polishing dapat memengaruhi respons *anodizing* karena lapisan oksida tumbuh mengikuti kondisi mikrostruktur serta tekstur awal substrat (Martínez-Viademonte et al., 2020; Zaraska et al., 2023).

Kekasaran permukaan merupakan ukuran penyimpangan profil permukaan terhadap garis referensi. Parameter R_a menyatakan nilai rata-rata aritmetika penyimpangan profil, R_q menyatakan akar kuadrat rata-rata penyimpangan profil, sedangkan R_z menunjukkan tinggi ketidakrataan yang berkaitan dengan puncak dan lembah profil. Ketiga parameter tersebut digunakan untuk memperoleh gambaran yang lebih lengkap mengenai perubahan permukaan karena R_a menggambarkan kecenderungan rata-rata, R_q lebih sensitif terhadap puncak atau lembah ekstrem, dan R_z menunjukkan karakter puncak-lembah permukaan (Leach, 2013).

Dalam proses manufaktur, *surface roughness* menjadi indikator penting untuk menilai kualitas permukaan hasil pemesinan, pelapisan, maupun perlakuan kimia. Karakoç dan Çakır (2023) menunjukkan bahwa nilai *roughness* aluminium setelah pemesinan dan *anodizing* dapat dipengaruhi oleh jenis alat potong, parameter pemesinan, serta kondisi proses *anodizing*.

Wang, Lu, Mu, dan Qiu (2022) juga menjelaskan bahwa hard anodized film dapat memperlihatkan protrusi, pit, dan pori kecil yang memengaruhi profil kekasaran permukaan. Wang, Tian, Kong, dan Meng (2023) menambahkan bahwa *surface roughness* merupakan indikator penting dalam menilai kualitas pemrosesan permukaan sehingga perubahan *roughness* perlu dianalisis secara kuantitatif.

Penelitian Arsyad et al. (2023) memperlihatkan bahwa *anodizing* tegangan rendah pada aluminium foil memengaruhi mikrostruktur, profil lapisan oksida, *wettability*, ketebalan, dan *roughness* permukaan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa walaupun *anodizing* dilakukan pada parameter relatif rendah, reaksi elektrokimia tetap dapat menghasilkan perubahan permukaan yang terukur. Hal ini sejalan dengan konsep bahwa lapisan oksida hasil *anodizing* bukan hanya lapisan pasif, melainkan struktur permukaan baru yang mempunyai karakter morfologi tertentu.

Perubahan topografi akibat *anodizing* juga berkaitan dengan kemampuan adhesi. Xu et al. (2016) menunjukkan bahwa energi permukaan dan *roughness* pada aluminium yang dianodisasi berpengaruh terhadap infiltrasi epoxy dan kekuatan adhesi. Drożdziel-Jurkiewicz dan Bieniaś (2022) melaporkan bahwa perlakuan permukaan dapat mengubah *roughness*, topografi tiga dimensi, morfologi, serta *surface free energy* pada antarmuka logam-komposit. Luo et al. (2023) juga menyatakan bahwa geometri mikrostruktur permukaan dan perlakuan *phosphoric acid anodizing* dapat meningkatkan kekuatan ikatan aluminium.

Dalam konteks struktur teknik, perlakuan permukaan aluminium tidak hanya berhubungan dengan estetika, tetapi juga dengan ketahanan dan performa sambungan. Correia, Anes, dan Reis (2018) menekankan pentingnya pemilihan *surface treatment* pada sambungan aluminium-aluminium untuk struktur aeronautika. Fiore et al. (2021) menunjukkan bahwa *anodizing* berbasis *tartaric sulfuric acid* pada aluminium 5083 dapat memengaruhi kekuatan adhesi dan ketahanan korosi sambungan aluminium-komposit. Nasreen et al. (2023) juga menunjukkan bahwa *anodizing* dapat meningkatkan sifat kekakuan sambungan logam dengan menurunkan *damping* pada kondisi tertentu.

Densitas adalah sifat fisik yang menyatakan perbandingan massa terhadap volume. Pada logam ringan seperti aluminium, densitas menjadi dasar penting dalam pemilihan material karena berkaitan dengan efisiensi berat struktur. Secara umum, densitas aluminium berada di sekitar $2,7 \text{ g/cm}^3$, sehingga perubahan kecil pada hasil pengujian densitas masih dapat dianggap wajar selama tidak menunjukkan perubahan komposisi atau volume bulk yang signifikan (Callister & Rethwisch, 2018).

Metode Archimedes digunakan untuk menentukan densitas berdasarkan perbedaan massa benda di udara dan massa semu ketika benda dicelupkan ke dalam fluida. Prinsip ini sesuai untuk spesimen padat karena volume benda dapat dihitung dari gaya apung yang dialami benda di dalam air. Dalam penelitian ini, metode Archimedes digunakan untuk membandingkan densitas aluminium 5058 pada kondisi *anodizing* dan *non-treatment* sehingga dapat diketahui apakah perlakuan permukaan menyebabkan perubahan fisik yang berarti.

Secara teoritis, proses *anodizing* diperkirakan memberikan pengaruh lebih besar terhadap kekasaran permukaan dibandingkan terhadap densitas *bulk material*. Hal ini disebabkan oleh pembentukan lapisan oksida berpori pada bagian permukaan, sedangkan massa dan volume utama spesimen tetap didominasi oleh substrat aluminium. Oleh karena itu, hipotesis penelitian ini adalah bahwa *anodizing* meningkatkan nilai R_a , R_z , dan R_q secara terukur, namun hanya memberikan perubahan densitas yang sangat kecil.

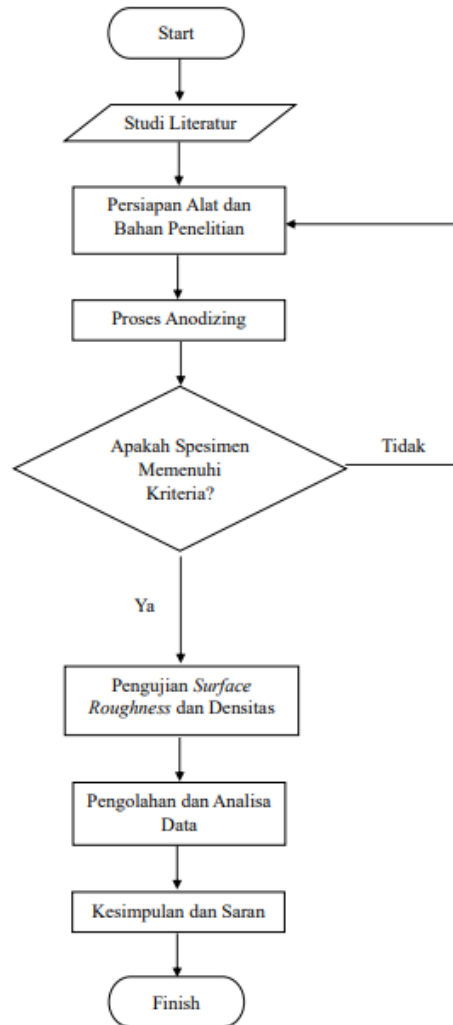
Kerangka pemikiran penelitian ini dibangun dari hubungan antara perlakuan *anodizing* sebagai variabel proses, perubahan lapisan oksida sebagai fenomena permukaan, serta nilai *roughness* dan densitas sebagai parameter hasil. Dengan membandingkan data *anodizing* dan *non-treatment*, penelitian ini menilai apakah perubahan yang terjadi dominan pada aspek topografi permukaan atau juga memengaruhi sifat fisik material secara keseluruhan.

3. METODE PENELITIAN

Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan pendekatan komparatif untuk menganalisis pengaruh proses *anodizing* terhadap karakteristik permukaan dan densitas aluminium 5058. Dua kondisi spesimen yang dibandingkan yaitu spesimen dengan perlakuan *anodizing* dan spesimen tanpa perlakuan (*non-treatment*).

Parameter yang dianalisis meliputi kekasaran permukaan (R_a , R_z , dan R_q) serta densitas material. Pengujian dilakukan dengan pengulangan pada setiap kondisi untuk memperoleh hasil yang representatif. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *power supply DC*, bak *anodizing*, elektroda aluminium dan timah hitam, kawat aluminium, serta perlengkapan pendukung seperti *alligator forceps*, *stopwatch*, dan gelas ukur. Selain itu, digunakan alat uji kekasaran permukaan Mitutoyo SJ-301 serta timbangan digital tipe ES 320A untuk pengujian densitas.

Bahan yang digunakan meliputi aluminium 5058 sebagai spesimen uji, larutan asam sulfat sebagai elektrolit *anodizing*, air, larutan pembersih *cleaner* R850, larutan *desmutting*, serta bahan pembersih seperti *acetone* dan majun atau kain lap.

Proses Anodizing

Proses *anodizing* dilakukan untuk membentuk lapisan oksida pada permukaan aluminium 5058 menggunakan larutan asam sulfat sebagai elektrolit. Sebelum proses *anodizing*, spesimen dibersihkan menggunakan larutan cleaner dan dilanjutkan dengan proses desmutting untuk menghilangkan kotoran dan oksida permukaan.

Larutan *anodizing* disiapkan dengan mencampurkan asam sulfat ke dalam air, kemudian digunakan sebagai media elektrolit. Proses *anodizing* dilakukan menggunakan sistem arus searah (DC) dengan konfigurasi elektroda, di mana spesimen aluminium berfungsi sebagai anoda dan pelat timah hitam sebagai katoda.

Selama proses *anodizing*, arus listrik dialirkan dengan kondisi tertentu selama ± 15 menit hingga terbentuk lapisan oksida pada permukaan spesimen. Suhu larutan dijaga pada kisaran suhu ruang untuk memastikan proses berlangsung stabil. Setelah proses selesai, spesimen dibilas menggunakan air bersih dan dikeringkan sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut.

Pengujian Surface Roughness

Pengujian kekasaran permukaan (*surface roughness*) dilakukan di Laboratorium BRIN menggunakan alat Mitutoyo SJ-301 dengan mengacu pada standar ISO 21920-2:2021. Parameter kekasaran yang dianalisis meliputi R_a (*roughness average*), R_z , dan R_q . Pengukuran dilakukan pada tiga titik berbeda pada setiap spesimen untuk memperoleh nilai yang representatif terhadap kondisi permukaan. Proses pengujian dilakukan oleh operator laboratorium, sehingga data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil pengukuran resmi yang diperoleh dari laporan pengujian BRIN.

Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan menggunakan metode Archimedes dengan bantuan timbangan digital tipe ES 320A. Air digunakan sebagai fluida penguji untuk menentukan massa jenis spesimen. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan massa spesimen di udara dan massa semu saat spesimen dicelupkan ke dalam air hingga diperoleh nilai densitas secara langsung dari alat. Untuk meningkatkan keakuratan data, pengujian dilakukan sebanyak lima kali pengulangan pada masing-masing kondisi spesimen, yaitu *anodizing* dan *non-treatment*.

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk menentukan nilai densitas dan kekasaran permukaan spesimen serta membandingkan karakteristik antara kondisi *anodizing* dan *non-treatment*. Densitas merupakan salah satu sifat fisik material yang menggambarkan perbandingan antara massa dan volume suatu material. Secara umum, densitas dapat dihitung menggunakan prinsip archimedes berikut:

$$\rho = \frac{m_{udara}}{m_{udara} - m_{air}} \times \rho_{air}$$

Di mana:

ρ = densitas spesimen (g/cm³)

m_{udara} = massa spesimen di udara (g)

m_{air} = massa spesimen di dalam air (g)

ρ_{air} = densitas air (g/cm³)

Pengolahan data kekasaran permukaan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekasaran permukaan material sebelum dan sesudah perlakuan *anodizing*. Nilai kekasaran permukaan dihitung sebagai rata-rata dari tiga titik pengukuran menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{R} = (R_1 + R_2 + R_3) / 3$$

di mana $\bar{R}$ adalah nilai rata-rata kekasaran (μm), sedangkan R_1 , R_2 , dan R_3 adalah nilai hasil pengukuran pada masing-masing titik. Nilai rata-rata tersebut kemudian digunakan untuk menganalisis perubahan karakteristik permukaan serta membandingkan hasil antara spesimen *anodizing* dan *non-treatment*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Surface Roughness

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa perlakuan *anodizing* memberikan nilai kekasaran yang lebih tinggi daripada kondisi *non-treatment*. Peningkatan ini terlihat konsisten pada seluruh parameter, baik R_a , R_z , dan R_q . Secara fisik, kenaikan tersebut mengindikasikan terbentuknya topografi permukaan yang lebih berkembang akibat pembentukan lapisan oksida dan pori-pori mikro selama proses *anodizing*.

Tabel 1. Data Surface Roughness Spesimen Anodizing.

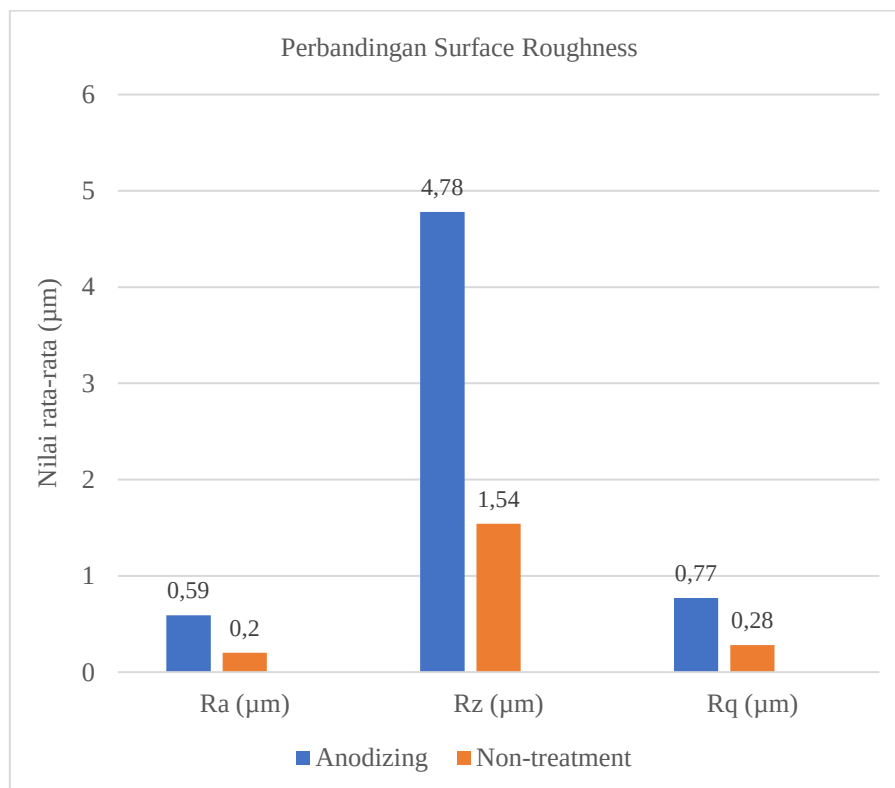
Titik pengukuran	R_a (μm)	R_z (μm)	R_q (μm)
1	0,55	4,71	0,71
2	0,58	4,54	0,77
3	0,65	5,09	0,84
Rata-rata	0,59	4,78	0,77

Tabel 2. Data Surface Roughness Spesimen Non-treatment

Titik pengukuran	R_a (μm)	R_z (μm)	R_q (μm)
1	0,26	1,71	0,34
2	0,23	1,91	0,34
3	0,12	0,99	0,15
Rata-rata	0,20	1,54	0,28

Tabel 3. Perbandingan Rata-Rata Parameter Kekasaran Permukaan.

Kondisi	R_a (μm)	R_z (μm)	R_q (μm)
Anodizing	0,59	4,78	0,77
Non-treatment	0,20	1,54	0,28
Rasio anodizing/non- treatment	2,92x	3,11x	2,80x



Gambar 2. Perbandingan Rata-Rata R_a , R_z , dan R_q pada Kondisi Anodizing dan Non-treatment

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 2, rata-rata R_a meningkat dari 0,20 μm pada *non-treatment* menjadi 0,59 μm pada *anodizing*, atau sekitar 2,9 kali lebih tinggi. Nilai R_z meningkat dari 1,54 μm menjadi 4,78 μm , yaitu sekitar 3,11 kali. Sementara itu, R_q meningkat dari 0,28 μm menjadi 0,77 μm atau sekitar 2,8 kali. Kenaikan pada ketiga parameter tersebut menunjukkan bahwa *anodizing* tidak hanya menaikkan amplitudo rata-rata profil, tetapi juga memperbesar variasi puncak dan lembah permukaan. Temuan ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa *anodizing* menghasilkan lapisan oksida berpori yang memodifikasi morfologi permukaan secara nyata.

Namun, perlu dicatat bahwa data pembandingan *roughness non-treatment* yang tersedia dalam penelitian ini berasal dari orientasi vertikal. Oleh karena itu, interpretasi hasil lebih tepat dipahami sebagai perbandingan praktis antara permukaan *anodizing* dan permukaan *non-treatment* yang diukur secara vertikal, bukan sebagai pemetaan anisotropi permukaan secara lengkap. Untuk penelitian lanjutan, pengambilan data *non-treatment* pada orientasi horizontal dan vertikal secara seragam akan meningkatkan kekuatan analisis komparatif.

Hasil Densitas

Berbeda dengan *roughness* yang berubah cukup besar, hasil pengujian densitas menunjukkan perbedaan yang sangat kecil antara spesimen *anodizing* dan *non-treatment*. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan *anodizing* terutama memengaruhi lapisan permukaan, sedangkan sifat *bulk material* aluminium tetap relatif konstan. Hasil tersebut sesuai dengan karakter aluminium sebagai material ringan dengan densitas mendekati 2,7 g/cm³.

Tabel 4. Data Densitas Spesimen Non-treatment.

No	Massa di udara (g)	Massa di air (g)	ρ (g/cm ³)
1	2,0959	1,3227	2,701
2	2,1082	1,3321	2,711
3	2,1114	1,3325	2,702
4	2,1116	1,3344	2,708
5	2,1025	1,3282	2,707
Rata-rata	2,10592	1,32998	2,7058
Standar deviasi	0,00670052	0,004652	0,0042071

Catatan: ρ water pada pengujian densitas = 0,99667 g/cm³.

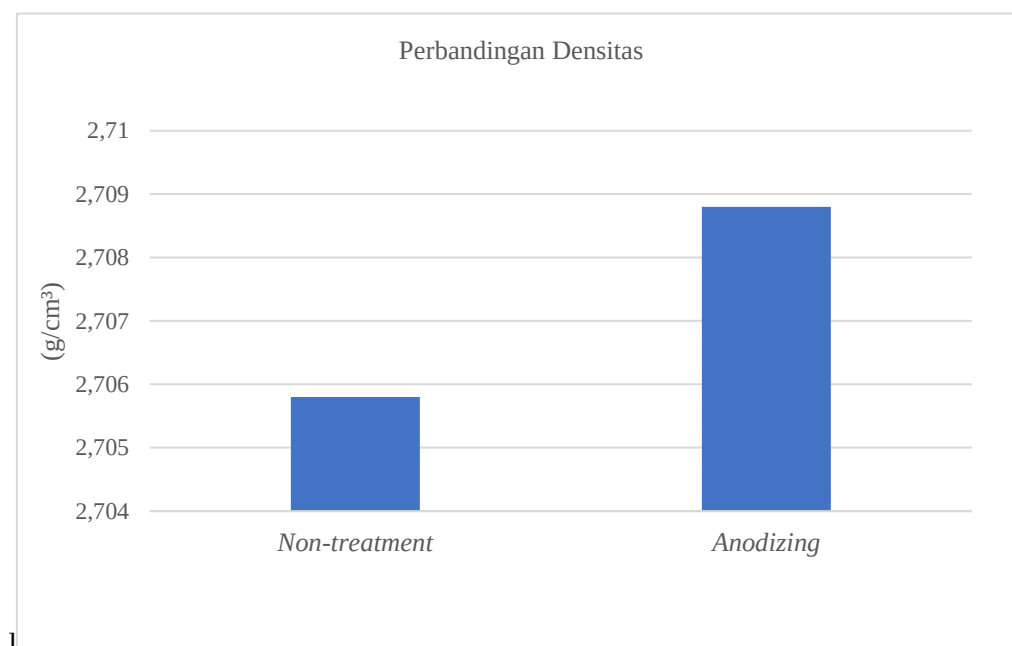
Tabel 5. Data Densitas Spesimen Anodizing.

No	Massa di udara (g)	Massa di air (g)	ρ (g/cm ³)
1	2,1247	1,3425	2,707
2	2,1083	1,3334	2,713
3	2,1266	1,3436	2,707
4	2,0881	1,3226	2,718
5	2,1119	1,3321	2,699
Rata-rata	2,11192	1,33484	2,7088
Standar deviasi	0,01548651	0,008585	0,0071554

Catatan: ρ water pada pengujian densitas = 0,99667 g/cm³.

Tabel 6. Ringkasan Perbandingan Densitas.

Kondisi	ρ rata-rata (g/cm ³)	Standar deviasi
<i>Non-treatment</i>	2,7058	0,0042071
<i>Anodizing</i>	2,7088	0,0071554


Gambar 3. Perbandingan Rata-Rata Densitas dan Standar Deviasi.

Rata-rata densitas spesimen *anodizing* sebesar 2,7088 g/cm³, sedangkan spesimen *non-treatment* sebesar 2,7058 g/cm³. Selisih kedua nilai tersebut hanya 0,0030 g/cm³ atau sekitar 0,11%. Nilai ini jauh lebih kecil dibanding perubahan yang terjadi pada parameter kekasaran, sehingga dapat disimpulkan bahwa *anodizing* tidak memberikan perubahan berarti terhadap densitas bulk spesimen. Selain itu, standar deviasi densitas pada *anodizing* (0,0071554 g/cm³) lebih besar dibanding *non-treatment* (0,0042071 g/cm³), yang mengindikasikan sebaran data pengukuran *anodizing* sedikit lebih bervariasi pada *dataset* ini.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proses *anodizing* memberikan pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan aluminium 5058, namun tidak memberikan perubahan yang berarti terhadap densitas material. Hasil pengujian *surface roughness* menunjukkan bahwa spesimen *anodizing* memiliki nilai kekasaran yang lebih tinggi dibandingkan *non-treatment*, dengan peningkatan rata-rata sebesar 2,92 kali pada R_a 3,11 kali pada R_z , dan 2,80 kali pada R_q .

Hal ini menunjukkan bahwa proses *anodizing* mampu memodifikasi topografi permukaan melalui pembentukan lapisan oksida berpori yang meningkatkan kompleksitas permukaan. Sementara itu, hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa perbedaan antara spesimen *anodizing* dan *non-treatment* sangat kecil, yaitu hanya sebesar 0,0030 g/cm³ atau sekitar 0,11%, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses *anodizing* tidak memengaruhi sifat *bulk material* secara signifikan karena lapisan oksida yang terbentuk relatif tipis dibandingkan volume total spesimen.

Dengan demikian, proses *anodizing* dapat dikatakan efektif dalam meningkatkan karakteristik permukaan tanpa mengubah sifat fisik dasar material aluminium secara signifikan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan pengujian kekasaran permukaan pada orientasi yang lebih beragam, baik vertikal maupun horizontal, guna memperoleh analisis yang lebih komprehensif terhadap karakteristik anisotropi permukaan.

Selain itu, penelitian lanjutan dapat dikembangkan dengan menambahkan variasi parameter proses *anodizing* seperti waktu, arus, dan konsentrasi elektrolit untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perubahan kekasaran permukaan dan sifat material, serta menambahkan pengujian karakterisasi mikrostruktur atau ketebalan lapisan oksida untuk memperkuat analisis hubungan antara proses *anodizing* dan perubahan sifat permukaan material.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) atas dukungan fasilitas, peralatan, serta bantuan teknis yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian ini, khususnya dalam proses pengujian *surface roughness* dan pengujian densitas. Dukungan tersebut sangat membantu dalam memperoleh data yang akurat dan representatif sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ade Maman Suherman, S.H., M.Sc. selaku Rektor Universitas Singaperbangsa Karawang, Ir. Winarno, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang, Deri Teguh Santoso, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir, serta Bapak Kosim Abdurrohman, S.T. atas arahan dan bantuan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR REFERENSI

- Arsyad, H., Armaa, L. H., Yusdiana, & Ariyanto. (2023). Evaluation of low voltage anodizing process on the aluminum foil in sulphuric acid solution. *Tribology in Industry*, 45(2), 237–246. <https://doi.org/10.24874/ti.1432.01.23.05>
- Callister, W. D., Jr., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Wiley.
- Cavezza, F., Boehm, M., Terryn, H., & Hauffman, T. (2020). A review on adhesively bonded aluminium joints in the automotive industry. *Metals*, 10(6), 730. <https://doi.org/10.3390/met10060730>
- Correia, S., Anes, V., & Reis, L. (2018). Effect of surface treatment on adhesively bonded aluminium–aluminium joints regarding aeronautical structures. *Engineering Failure Analysis*, 84, 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.10.010>
- Drożdźziel-Jurkiewicz, M., & Bieniaś, J. (2022). Evaluation of surface treatment for enhancing adhesion at the metal–composite interface in fibre metal-laminates. *Materials*, 15(17), 6118. <https://doi.org/10.3390/ma15176118>
- Fiore, V., Di Franco, F., Miranda, R., Santamaria, M., Badagliacco, D., & Valenza, A. (2021). Effects of anodizing surface treatment on the mechanical strength of aluminum alloy 5083 to fibre reinforced composites adhesive joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 108, 102868. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102868>
- Karakoç, E., & Çakır, O. (2023). Examination of surface roughness values of 6061-T6 aluminum material after machining and after anodizing process. *Materials Today: Proceedings*, 80, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.058>
- Leach, R. (Ed.). (2013). *Characterisation of areal surface texture*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36458-7>
- Luo, J., Liu, J., Xia, H., Ao, X., Yin, H., & Guo, L. (2023). Surface treatments for enhancing the bonding strength of aluminum alloy joints. *Materials*, 16(16), 5674. <https://doi.org/10.3390/ma16165674>
- Martínez-Viademonte, M. P., Abrahami, S. T., Hack, T., Burchardt, M., & Terryn, H. (2020). A review on anodizing of aerospace aluminum alloys for corrosion protection. *Coatings*, 10(11), 1106. <https://doi.org/10.3390/coatings10111106>
- Nasreen, A., Bangash, M. K., Shaker, K., & Nawab, Y. (2023). Effect of surface treatment on stiffness and damping behavior of metal-metal and composite-metal adhesive joints. *Polymers*, 15(2), 435. <https://doi.org/10.3390/polym15020435>
- Scamponi, G., & Timelli, G. (2022). Anodizing Al–Si foundry alloys: A critical review. *Advanced Engineering Materials*, 24, 2101480. <https://doi.org/10.1002/adem.202101480>

- Wang, Z., Lu, J., Mu, J., & Qiu, H. (2022). Experimental research on the polished surface quality of hard anodized film of aluminum alloy. *Advances in Engineering Technology Research*, 3(1), 899–909. <https://doi.org/10.56028/aetr.3.1.899>
- Wang, Z., Tian, B., Kong, L., & Meng, Q. (2023). Prediction of polishing roughness of aluminum alloy hard anodized film based on BP and GA-BP neural network. *Vibroengineering Procedia*, 52, 87–93. <https://doi.org/10.21595/vp.2023.23617>
- Xu, Y., Li, H., Shen, Y., Liu, S., Wang, W., & Tao, J. (2016). Improvement of adhesion performance between aluminum alloy sheet and epoxy based on anodizing technique. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 70, 74–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.05.007>
- Zaraska, L., Szuwarzyński, M., Świerkula, A., & Brzózka, A. (2023). Effect of Al polishing conditions on the growth and morphology of porous anodic alumina films. *ACS Omega*, 8, 34564–34574. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03412>