

RANCANG BANGUN MESIN ANODIZING TIPE BATCH DENGAN SISTEM SIRKULASI ELEKTROLIT MANDIRI

Muhammad Sadan Aribkhi¹, Rany Puspita Dewi², Adityo Noor Setyo Hadi Darmo³

muhammad.sadan.aribkhi@students.untidar.ac.id¹, ranypuspita@untidar.ac.id²,

noorsetyo@yahoo.com³

Universitas Tidar

ABSTRAK

Proses *anodizing* aluminium bertujuan meningkatkan ketahanan korosi, kekerasan permukaan, dan kualitas tampilan melalui pembentukan lapisan oksida. Namun, proses *anodizing* secara manual masih memiliki kendala berupa kenaikan suhu larutan elektrolit, distribusi larutan yang kurang merata, dan penurunan kualitas lapisan akibat kondisi proses yang kurang stabil. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun mesin *anodizing* tipe *batch* dengan sistem sirkulasi elektrolit mandiri untuk menjaga kestabilan suhu dan sirkulasi larutan sehingga kualitas hasil anodisasi dapat ditingkatkan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif yang meliputi tahap perancangan, pembuatan, perakitan, pengujian, dan analisis kinerja mesin. Pengujian dilakukan menggunakan aluminium paduan seri 6061 dengan variasi rapat arus sebesar 1 A/dm², 2 A/dm², dan 3 A/dm² pada tegangan 5 volt selama 20 menit. Parameter yang diamati meliputi suhu larutan elektrolit dan kualitas permukaan hasil anodisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin berhasil dibuat sesuai rancangan dan seluruh sistem bekerja dengan baik. Penggunaan sistem sirkulasi, pendingin, dan aerator mampu menurunkan suhu akhir larutan dari 25,7 °C menjadi 24,6 °C pada rapat arus 1 A/dm² serta menurunkan laju kenaikan suhu dari 0,080 menjadi 0,025 °C/menit. Kondisi tersebut menghasilkan permukaan *anodizing* yang lebih halus, lebih merata, dan memiliki cacat yang lebih sedikit dibandingkan proses tanpa sistem sirkulasi.

Kata Kunci: *Anodizing Aluminium, Mesin Anodizing, Sirkulasi Elektrolit, Sistem Pendingin, Tipe Batch.*

ABSTRACT

The *anodizing* process aims to improve corrosion resistance, surface hardness, and appearance quality through the formation of an oxide layer. However, the manual *anodizing* process still faces several challenges, including an increase in electrolyte solution temperature, uneven solution distribution, and reduced coating quality due to unstable process conditions. This study aims to design and develop a batch-type *anodizing* machine with an independent electrolyte circulation system to maintain temperature stability and solution circulation, thereby improving the quality of the anodized results. The research method used was a quantitative method, consisting of the stages of design, fabrication, assembly, testing, and machine performance analysis. The tests were conducted using 6061 aluminum alloy with current density variations of 1 A/dm², 2 A/dm², and 3 A/dm² at a voltage of 5 volts for 20 minutes. The observed parameters included electrolyte solution temperature and the surface quality of the anodized specimens. The results showed that the machine was successfully fabricated according to the design, and all systems operated properly. The use of the circulation system, cooling system, and aerator was able to reduce the final solution temperature from 25.7 °C to 24.6 °C at a current density of 1 A/dm² and reduce the temperature increase rate from 0.080 to 0.025 °C/min. These conditions resulted in a smoother and more uniform anodized surface with fewer defects compared to the process without the circulation system.

Keywords: *Aluminum Anodizing, Anodizing Machine, Electrolyte Circulation, Cooling System, Batch Type.*

PENDAHULUAN

Aluminium merupakan material teknik yang banyak digunakan dalam berbagai sektor industri seperti otomotif, konstruksi, dan peralatan rumah tangga karena memiliki massa jenis ringan, ketahanan korosi yang baik, serta mudah dibentuk dan dimesin. Namun, aluminium murni memiliki kelemahan pada sifat permukaan seperti kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan permukaan untuk meningkatkan kualitasnya, salah satunya melalui proses *anodizing*. Proses ini membentuk lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) yang mampu meningkatkan kekerasan, ketahanan korosi, dan kualitas permukaan material (Kurniawan et al., 2019).

Dalam praktiknya, proses *anodizing* pada skala laboratorium dan industri kecil masih menggunakan peralatan sederhana yang belum memiliki sistem pengendalian yang optimal. Hal ini menyebabkan terjadinya fluktuasi arus dan tegangan, distribusi medan listrik yang tidak merata, serta sirkulasi elektrolit yang kurang baik. Selain itu, tidak adanya sistem filtrasi juga menyebabkan penumpukan kotoran dalam larutan. Meskipun sistem *anodizing* kontinu mampu meningkatkan kestabilan proses, penggunaannya terbatas karena biaya tinggi dan kompleksitas sistem yang lebih rumit (Manzoor et al., 2021).

Berbagai penelitian telah dilakukan dengan fokus pada pengaruh parameter proses seperti arus, tegangan, waktu, dan komposisi elektrolit terhadap kualitas lapisan *anodizing*. Pengaturan parameter yang tepat terbukti dapat meningkatkan ketebalan dan struktur lapisan oksida. Sistem *anodizing* tipe *batch* juga memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas dan kemudahan pengendalian proses. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada parameter secara terpisah dan belum mengaitkannya dengan desain mesin yang mampu menjaga kestabilan proses secara keseluruhan (Muzaki et al., 2022).

Selain parameter listrik, kestabilan kondisi elektrolit juga menjadi faktor penting dalam proses *anodizing*. *Homogenitas* dan kebersihan larutan sangat mempengaruhi pembentukan lapisan oksida. Ketidakteraturan konsentrasi dan adanya partikel kotoran dapat menyebabkan hasil *anodizing* tidak seragam. Kurangnya sistem sirkulasi elektrolit yang mandiri dan terintegrasi menjadi salah satu penyebab utama permasalahan tersebut (Rizkia et al., 2025).

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan pengembangan mesin *anodizing* tipe *batch* yang tidak hanya mengatur parameter listrik, tetapi juga mampu menjaga kestabilan elektrolit. Penelitian ini berfokus pada rancang bangun mesin *anodizing* dengan sistem sirkulasi elektrolit mandiri yang terintegrasi. Mesin ini diharapkan dapat meningkatkan *homogenitas* larutan, menjaga kestabilan proses, serta menghasilkan lapisan oksida yang lebih seragam dan berkualitas, sehingga dapat menjadi solusi bagi kebutuhan laboratorium, pendidikan, dan industri kecil.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif karena data yang diperoleh berupa nilai yang dapat diukur melalui pengujian, seperti temperatur elektrolit, waktu sirkulasi dan kualitas lapisan *anodizing*. Penelitian dilakukan melalui perancangan dan pembuatan mesin *anodizing* tipe *batch* dengan sistem sirkulasi elektrolit mandiri, kemudian dilanjutkan dengan pengujian mesin. Data hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi rapat arus dan kondisi sistem sirkulasi terhadap kinerja mesin serta kualitas lapisan *anodizing* yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

Hasil penelitian ini meliputi hasil pembuatan mesin *anodizing* tipe *batch* yang dilengkapi dengan sistem sirkulasi elektrolit mandiri, serta hasil pengujian kinerja mesin *anodizing*.

1) Hasil Pembuatan

Mesin *anodizing* tipe *batch* yang dilengkapi dengan sistem sirkulasi elektrolit mandiri. Mesin dibuat berdasarkan rancangan yang telah dibuat dan telah melalui proses pembuatan serta perakitan hingga seluruh komponen dapat terintegrasi dalam satu sistem. Hasil pembuatan mesin *anodizing* tipe *batch* dengan sistem sirkulasi elektrolit mandiri dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Hasil pembuatan mesin *anodizing* tipe *batch*

Berdasarkan Gambar 1, mesin yang telah dibuat memiliki konstruksi yang kokoh dan tersusun dari beberapa komponen utama yang saling mendukung selama proses *anodizing* berlangsung. Keterangan setiap komponen mesin disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Komponen mesin *anodizing* tipe *batch*

No	Komponen	Pembahasan
1	Rangka mesin	Sebagai penopang utama seluruh komponen mesin agar tetap kokoh dan stabil.
2	Bak <i>anodizing</i>	Digunakan sebagai tempat larutan elektrolit dan proses <i>anodizing</i> berlangsung.
3	Bak <i>pre-treatment</i>	Digunakan untuk membersihkan benda kerja sebelum proses <i>anodizing</i> .
4	Elektroda	Menghubungkan arus listrik ke benda kerja selama proses <i>anodizing</i> .
5	Sistem sirkulasi elektrolit	Mengalirkan elektrolit agar tetap homogen selama proses berlangsung.
6	Sistem pendingin	Membantu menjaga temperatur elektrolit tetap stabil.

7	Panel kelistrikan	Mengatur dan mengendalikan seluruh sistem kelistrikan mesin.
8	Pintu panel kontrol	Melindungi komponen kelistrikan serta memudahkan proses perawatan.
9	Pintu penyimpanan	Memberikan akses ke ruang penyimpanan peralatan pendukung.
10	Power Supply MBR	Menyediakan dan mengontrol arus dc selama proses <i>anodizing</i> berlangsung.
11	Saluran <i>exhaust</i> bak <i>pre-treatment</i>	Memudahkan pembuangan larutan pembersih setelah digunakan.
12	Roda mesin	Memudahkan pemindahan mesin dari satu tempat ke tempat lain.

Berdasarkan hasil pembuatan, seluruh komponen berhasil dipasang sesuai dengan rancangan. Sistem sirkulasi elektrolit, sistem pendingin, sistem elektroda, dan panel kelistrikan dapat terintegrasi dengan baik dalam satu mesin. Selain itu, hasil pemeriksaan menunjukkan tidak terdapat kebocoran pada sistem perpipaan maupun kendala pada sistem kelistrikan, sehingga mesin siap digunakan pada tahap pengujian kinerja. Secara keseluruhan, mesin *anodizing* tipe *batch* dengan sistem sirkulasi elektrolit mandiri telah berhasil dibuat sesuai dengan tujuan penelitian. Mesin ini selanjutnya digunakan untuk pengujian guna mengetahui kemampuan sistem dalam mendukung proses *anodizing* dan menjaga kestabilan kondisi elektrolit selama proses berlangsung.

2) Hasil Unjuk Kerja Mesin

Pengujian unjuk kerja mesin *anodizing* dilakukan untuk mengetahui kinerja mesin pada beberapa variasi rapat arus dan kondisi sistem sirkulasi. Pengujian dilakukan dengan membandingkan kondisi saat sistem sirkulasi dalam keadaan *off* dan saat sistem sirkulasi dalam keadaan *on*. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk mengetahui perubahan temperatur elektrolit, kalor sensibel yang diterima elektrolit, serta perpindahan panas pada sistem pendingin. Pada kondisi sirkulasi *off*, hasil perhitungan laju perubahan temperatur dan kalor sensibel elektrolit pada setiap variasi rapat arus ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengujian saat kondisi sirkulasi *off*

Rapat arus (A/dm ²)	Laju kenaikan Temperatur (°C/menit)	Kalor sensible elektrolit (J)
1	0,080	167.200
2	0,105	219.450
3	0,115	240.350

Selanjutnya, pengujian dilakukan dengan mengaktifkan sistem sirkulasi dan pendingin. Pada kondisi ini, selain menghitung laju perubahan temperatur dan kalor sensibel elektrolit, dilakukan pula perhitungan perpindahan panas secara konduksi. Hasil perhitungan pada kondisi sirkulasi *on* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengujian saat kondisi sirkulasi on

Rapat arus (A/dm ²)	Laju kenaikan temperature (°C/menit)	Kalor sensibel elektrolit (J)	Perpindahan panas konduksi (W)
1	0,025	52.250	51,84
2	0,045	94.050	52,2
3	0,055	114.950	52,56

2. Pembahasan

Mesin *anodizing* tipe *batch* dengan sistem sirkulasi elektrolit mandiri telah berhasil dibuat sesuai dengan rancangan yang direncanakan. Seluruh komponen utama, seperti bak *anodizing*, bak *pre-treatment*, sistem sirkulasi elektrolit, sistem pendingin, sistem elektroda, dan panel kelistrikan telah terpasang dengan baik sehingga dapat bekerja sebagai satu kesatuan. Setelah proses pembuatan selesai, mesin kemudian dilakukan unjuk kerja untuk mengetahui kemampuan setiap sistem dalam mendukung proses *anodizing*.

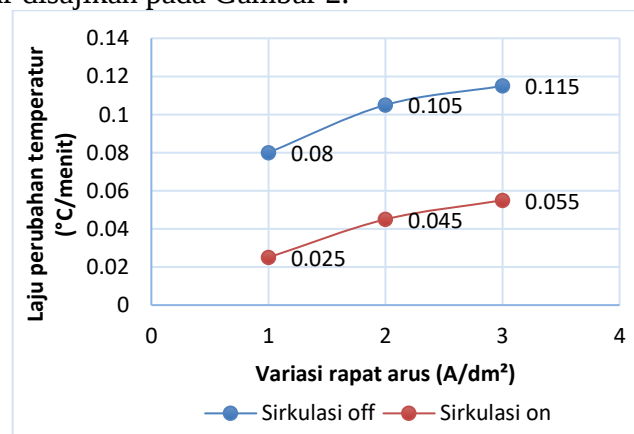
Hasil unjuk kerja menunjukkan bahwa sistem sirkulasi elektrolit dan sistem pendingin mampu bekerja sesuai dengan fungsinya. Pengujian dilakukan melalui pengukuran temperatur elektrolit, perhitungan laju kenaikan temperatur, kalor sensibel, kalor laten, perpindahan panas konduksi, serta waktu sirkulasi pompa. Hasil pengujian tersebut kemudian dibandingkan dengan kondisi permukaan spesimen *anodizing* aluminium 6061 untuk mengetahui pengaruh kinerja mesin terhadap hasil *anodizing*. Kondisi permukaan spesimen diamati untuk mengetahui pengaruh variasi rapat arus dan sistem sirkulasi terhadap hasil *anodizing*. Hasil pengamatan spesimen ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil spesimen *anodizing* aluminium 6061

Tabel 1. Hasil Specimen anodizing aluminium 6061				Dokumentasi	
Rapat arus (A/dm ²)	Warna	Kehalusan	Cacat	Row material	Hasil anodizing
Posisi sirkulasi off					
1	Abu-abu muda	Cukup halus	Sedikit bercak		
2	Abu-abu	Cukup halus	Bercak ringan		

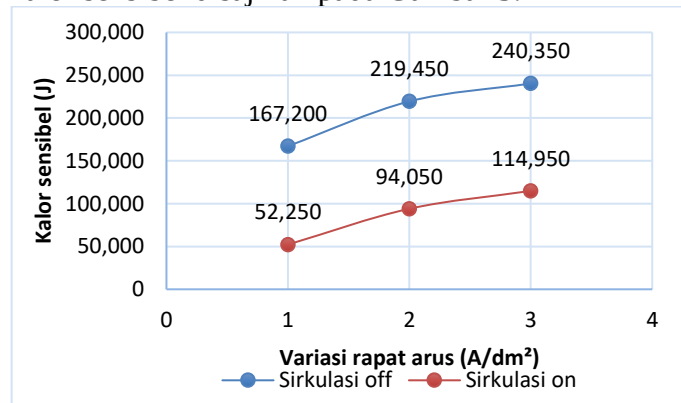
3	Abu-abu gelap	Agak kasar	Bercak dan noda ringan		
Posisi sirkulasi on					
1	Abu-abu muda merata	Halus	Minim		
2	Abu-abu merata	Halus	Minim		
3	Abu-abu gelap merata	Halus	Minim		

Berdasarkan Tabel 4, spesimen yang diproses tanpa sistem sirkulasi menghasilkan permukaan yang masih memiliki bercak dan tingkat kehalusan yang lebih rendah dibandingkan spesimen yang diproses dengan sistem sirkulasi. Pada kondisi sirkulasi *off*, semakin besar rapat arus yang digunakan maka warna spesimen berubah menjadi lebih gelap dan permukaannya cenderung lebih kasar serta masih ditemukan bercak. Sebaliknya, pada kondisi sirkulasi *on*, permukaan spesimen terlihat lebih merata, lebih halus, dan jumlah cacat yang muncul lebih sedikit. Perbedaan hasil spesimen dipengaruhi oleh perubahan temperatur elektrolit selama proses *anodizing*. Hasil perhitungan laju kenaikan temperatur disajikan pada Gambar 2.



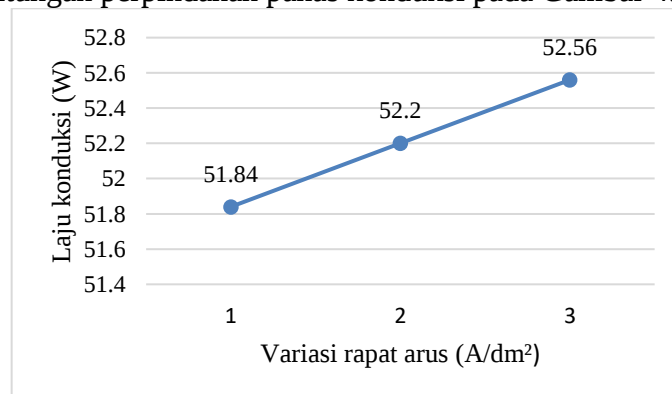
Gambar 2 Grafik laju kenaikan temperatur

Berdasarkan Gambar 2, laju kenaikan temperatur pada kondisi sirkulasi *off* lebih tinggi dibandingkan kondisi sirkulasi *on*. Pada rapat arus 1 A/dm², laju kenaikan temperatur turun dari 0,080 °C/menit menjadi 0,025 °C/menit. Pada rapat arus 2 A/dm², turun dari 0,105 °C/menit menjadi 0,045 °C/menit, sedangkan pada rapat arus 3 A/dm², turun dari 0,115 °C/menit menjadi 0,055 °C/menit. Hal ini menunjukkan bahwa sistem sirkulasi dan pendingin mampu menjaga temperatur elektrolit lebih stabil sehingga pembentukan lapisan *anodizing* menjadi lebih merata (Merdekawati et al., 2021). Selain temperatur, besarnya panas yang diserap elektrolit juga memengaruhi proses *anodizing*. Hasil perhitungan kalor sensibel disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik kalor sensibel elektrolit

Berdasarkan Gambar 3, kalor sensibel meningkat seiring bertambahnya rapat arus. Pada kondisi sirkulasi *off*, kalor sensibel sebesar 167.200 J, 219.450 J, dan 240.350 J, sedangkan pada kondisi sirkulasi *on* sebesar 52.250 J, 94.050 J, dan 114.950 J. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem sirkulasi dan pendingin mampu mengurangi akumulasi panas pada elektrolit. Selain kalor sensibel, hasil perhitungan menunjukkan bahwa kalor laten es sebesar 1.670.000 J. Nilai tersebut menunjukkan bahwa media pendingin memiliki kemampuan menyerap energi panas yang cukup besar selama proses pencairan (Doyan et al., 2024). Kemampuan tersebut membantu menjaga temperatur elektrolit tetap stabil sehingga proses *anodizing* dapat berlangsung dengan lebih baik. Kemampuan sistem pendingin dalam melepaskan panas dari elektrolit ditunjukkan melalui hasil perhitungan perpindahan panas konduksi pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik perpindahan panas konduksi pada kondisi on

Berdasarkan Gambar 4, laju perpindahan panas konduksi sebesar 51,84 W pada rapat arus 1 A/dm², kemudian meningkat menjadi 52,2 W pada rapat arus 2 A/dm² dan meningkat menjadi 52,56 W pada rapat arus 3 A/dm². Hasil ini menunjukkan bahwa panas dari elektrolit dapat dipindahkan ke media pendingin sehingga temperatur elektrolit tetap terjaga. Secara keseluruhan menunjukkan bahwa sistem sirkulasi elektrolit dan sistem

pendingin berpengaruh terhadap kualitas hasil *anodizing*. Temperatur yang lebih stabil, kalor yang lebih rendah, serta perpindahan panas yang lebih baik menghasilkan permukaan *anodizing* yang lebih merata, lebih halus, dan memiliki cacat yang lebih sedikit dibandingkan kondisi tanpa sirkulasi (Rizkia et al., 2023). Selain itu, hasil perhitungan menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan pompa untuk mensirkulasikan 25 liter elektrolit dengan debit 4 L/menit adalah 6,25 menit. Waktu sirkulasi tersebut membantu menjaga pemerataan temperatur dan konsentrasi elektrolit selama proses *anodizing* sehingga mendukung terbentuknya lapisan *anodizing* yang lebih baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, pengujian, dan pembahasan yang telah dilakukan, mesin *anodizing* tipe *batch* dengan sistem sirkulasi elektrolit mandiri telah berhasil dirancang dan dibuat sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Seluruh komponen utama, meliputi bak *anodizing*, sistem sirkulasi elektrolit, sistem pendingin, aerator, sistem elektroda, dan panel kelistrikan dapat bekerja secara terintegrasi tanpa mengalami kebocoran maupun gangguan pada sistem kelistrikan sehingga mesin siap digunakan untuk proses *anodizing*.

Hasil unjuk kerja menunjukkan bahwa mesin mampu beroperasi sesuai dengan fungsi yang direncanakan. Penggunaan sistem sirkulasi elektrolit, pendingin, dan aerator mampu menekan kenaikan temperatur elektrolit dibandingkan kondisi tanpa sirkulasi. Pada rapat arus 1 A/dm² temperatur akhir turun dari 25,7°C menjadi 24,6°C, pada 2 A/dm² dari 26,2°C menjadi 25,0°C, dan pada 3 A/dm² dari 26,4°C menjadi 25,2°C. Laju kenaikan temperatur juga menurun dari 0,080, 0,105 dan 0,115°C/menit menjadi 0,025, 0,045 dan 0,055°C/menit pada masing-masing variasi rapat arus. Selain itu, nilai kalor sensibel dan laju perpindahan panas menunjukkan bahwa sistem pendinginan mampu membantu menjaga kestabilan temperatur elektrolit selama proses *anodizing*. Kondisi tersebut menghasilkan permukaan lapisan *anodizing* yang lebih halus, warna lebih merata, dan cacat permukaan lebih sedikit dibandingkan proses tanpa sirkulasi, sehingga tujuan penelitian untuk menghasilkan mesin *anodizing* dengan proses yang lebih stabil telah tercapai.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan sistem pengendalian temperatur secara otomatis menggunakan sensor suhu dan pengontrol agar temperatur elektrolit tetap stabil selama proses *anodizing* berlangsung.
2. Pengujian dapat dilakukan dengan variasi parameter proses yang lebih beragam, seperti tegangan, waktu *anodizing*, konsentrasi elektrolit, maupun jenis material aluminium, sehingga karakteristik dan kemampuan mesin dapat diketahui secara lebih menyeluruh.
3. Perlu dilakukan pengujian lanjutan terhadap sifat lapisan *anodizing*, seperti ketebalan aktual, kekerasan, ketahanan korosi, dan struktur permukaan menggunakan alat uji yang lebih lengkap agar kualitas lapisan yang dihasilkan dapat dievaluasi secara lebih akurat.
4. Sistem sirkulasi dan pendinginan dapat terus dikembangkan dengan meningkatkan kapasitas pompa, sistem filtrasi, maupun media pendingin sehingga kestabilan temperatur dan *homogenitas* elektrolit dapat dipertahankan dengan lebih baik, terutama untuk proses *anodizing* dengan waktu yang lebih lama atau kapasitas benda kerja yang lebih besar.

DAFTAR PUSAKA

- Budiyanto, E., & Yuono, D. (2018). Pengaruh aerasi pada proses anodizing aluminium terhadap pembentukan pori lapisan oksida. *TURBO: Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 230-238.
- Choudhari, K. S., Choi, C.-H., Chidangil, S., & George, S. D. (2022). Recent progress in the fabrication and optical properties of nanoporous anodic alumina. *Nanomaterials*, 12(3), Article 444. <https://doi.org/10.3390/nano12030444>.
- Doyan, A., Susilawati, S., Wahyudi, Syahril A. S., & Harjono, A. (2024). Buku ajar termodinamika. LITPAM.
- Kurniawan, H., Pramono, C., & Widodo, S. (2019). Pengaruh variasi waktu dan beda tegangan pada proses anodizing terhadap kekerasan permukaan aluminium dan ketebalan lapisan oksida. *Jurnal MER-C*, 2(2).
- Manzoor, S., Ashraf, M. W., & Hossain, M. K. (2021). Recent progress of fabrication, characterization, and applications of anodic aluminum oxide membrane: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 201-220.
- Merdekawati, Y. I., Erari, I. S., & Muslimin, A. M. (2021). Penggunaan modul peltier sebagai sistem pendingin coolbox. *Jurnal Natural*, 17(2), Desember 2021. e-ISSN: 2746-427X, p-ISSN: 1412-1328.
- Munnik, H., Yohannes, D., & Bkti, Y. Pemanfaatan peltier untuk cooler box mini.
- Muzaki, M., Mashudi, I., Fakhruddin, M., Anwar, A. M., Nugraha, R. A. P., & Wiganata, G. (2022). Analisis pengaruh variasi beda potensial dan waktu proses anodizing terhadap karakteristik lapisan oksida aluminium 6061. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 17(1), 59-66.
- Muzaki, M., Sutikno, E., & Setyarini, P. H. (2019). Pengaruh rapat arus proses continuous hard anodizing elektrolit (H_2SO_4) terhadap laju korosi pipa aluminium 6061 dengan pengujian kabut garam. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur*, 2(2), 37-40.
- Noviandari, M., Ma'arif, M. S., & Soenoko, R. (2023). Corrosion rate of anodized AA 7075-T651 on H_2SO_4 electrolyte and voltage variation. *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering (JEMMME)*, 8(2), 67-74.
- Putra, E. A. P., Kadriadi, K., Wirakusuma, K. W., Pratama, A. B., & Boangmanalu, E. P. D. (2024). Analisis alat pelapis logam portabel dengan metode electroplating terhadap hasil pengujian kekerasan material logam ST37. *SINERGI Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(2), 62-68.
- Rizkia, V. (2023). Pembentukan lapisan anodik aluminium oksida melalui metode anodisasi untuk proses pewarnaan dyeing pada aluminium. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 12(2), 545-552.
- Rizkia, V., et al. (2025). The influence of anodizing electrolyte concentration on Ni-P deposition on anodic aluminum oxide. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 27(1).
- Wirayudha, I. G. R. N., Wiryajati, I. K., & Citarsa, I. B. F. (2024). Sistem kontrol otomatis suhu dan kelembaban chiller box dengan termoelektrik. *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, 12(3S1), 3566–3575. <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5152>
- Wisnujati, A., & Yudhanto, F. (2023). Karakterisasi lapisan oksida hasil anodizing pada aluminium dengan variabel waktu pencelupan. *Rekayasa Mesin*, 14(2), 525-536.
- Yulio, R., Nurdin, & Yuniati. (2020). Pengaruh variasi suhu, konsentrasi larutan asam sulfat dan asam oksalat pada proses hard anodisasi terhadap kekerasan permukaan aluminium alloy 6061. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 4(1), 12-15.