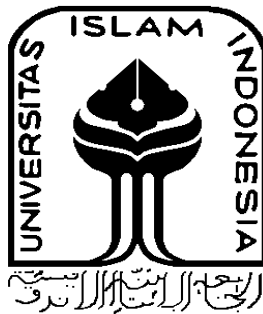


**PENGARUH KUAT ARUS LISTRIK TERHADAP KUALITAS
WARNA PADA PROSES *ANODIZING* MENGGUNAKAN
PEWARNA ALAMI TEMULAWAK PADA ALUMINIUM 6061**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Renanda Bayu Hendriarto
No. Mahasiswa : 20525013
NIRM : 1912280057

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2024

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH KUAT ARUS LISTRIK TERHADAP KUALITAS
WARNA PADA PROSES *ANODIZING* MENGGUNAKAN
PEWARNA ALAMI TEMULAWAK PADA ALUMINIUM 6061**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Renanda Bayu Hendriarto
No. Mahasiswa : 20525013
NIRM : 1912280057

Yogyakarta, 11 Oktober 2024

Pembimbing



Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH KUAT ARUS LISTRIK TERHADAP KUALITAS WARNA PADA PROSES *ANODIZING* MENGGUNAKAN PEWARNA ALAMI TEMULAWAK PADA ALUMINIUM 6061

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Renanda Bayu Hendriarto
No. Mahasiswa : 20525013
NIRM : 1912280057

Tim Penguji

Faisal Arif Nurgesang, Ir. , S.T., M.Sc. IPP

Tanggal : 6/11/2024.

Yustiasih Purwaningrum, S.T.,M.T.

Tanggal : 1/10/24

Arif Budi Wicaksono, Ir.,S.T.,
M.Eng., IPP

Tanggal : 5/11 '24

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T.,M.T.,IPP.

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Renanda Bayu Hendriarto

NIM : 20525013

Program Studi : S1, Teknik Mesin

Institusi : Universitas Islam Indonesia

Judul Laporan : PENGARUH KUAT ARUS LISTRIK TERHADAP KUALITAS
WARNA PADA PROSES *ANODIZING* MENGGUNAKAN
PEWARNA ALAMI TEMULAWAK PADA ALUMINIUM 6061

Dengan ini saya menyatakan, semua yang saya tulis pada Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan atau ringkasan yang saya ambil sebagai referensi dan telah saya cantumkan sumber-sumbernya. Apabila di kemudian hari pengakuan saya terbukti tidak benar, maka saya bersedia mengikuti hukuman atau sanksi yang diberikan sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 6 November 2024



Renanda Bayu Hendriarto

20525013

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan kepada:

**Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya
Nabi Muhammad SAW sebagai sayyidul anam**

Mama Papa dan Kakak

Tugas akhir ini saya persembahkan dengan penuh dedikasi dan kerja keras kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya semua yang telah memberikan dukungan, inspirasi, dan bimbingan selama perjalanan ini. Semoga hasilnya dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak dan menjadi langkah awal dalam perjalanan yang lebih besar. Terima kasih atas segala doa dan dorongan yang telah diberikan.

HALAMAN MOTTO

“Ketahuilah bahwa kesabaran bersama kemenangan, kesempitan bersama kelapangan dan kesulitan bersama kemudahan”

(Nabi Muhammad SAW, HR. Tirmidzi)

“Tidak ada yang menyakitimu kecuali itu pikiranmu. Tidak ada yang membatasimu kecuali itu ketakutanmu. Tidak ada yang mengendalikan kamu kecuali itu keyakinanmu”

(Jalaluddin Rumi)

“Jika sesuatu tidak terjadi sesuai keinginanmu, itu pasti akan terjadi dengan cara yang lebih baik dari yang kamu bayangkan, karena itulah indahny rencana Allah”

“There’s always a way, keep pushing don’t stop, keep going don’t stop

DON’T STOP”

(IShowSpeed)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, dengan rasa syukur yang tak terhingga dan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, Tugas Akhir ini yang berjudul **“PENGARUH KUAT ARUS LISTRIK TERHADAP KUALITAS WARNA PADA PROSES ANODIZING MENGGUNAKAN PEWARNA ALAMI TEMULAWAK PADA ALUMINIUM 6061”** dapat selesai tepat dengan waktunya. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Tugas akhir ini tidak akan terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP, selaku dosen pembimbing, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pemikirannya dalam membimbing penulis hingga tersusunnya laporan ini.
2. Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku ketua Program Studi Teknik Mesin.
3. Mama, Papa dan Kakak, yang selalu memberikan doa, dukungan moral, serta dorongan semangat kepada penulis selama menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin angkatan 2020, yang telah memberikan kebersamaan, semangat, dan kerja sama dalam menyelesaikan studi bersama-sama.
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu dan memberikan kontribusi dalam penyelesaian laporan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan menjadi sumbangan yang berarti dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 11 Oktober 2024

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'RBAH', written in a cursive style.

Renanda Bayu Hendriarto

ABSTRAK

Proses *anodizing* atau anodisasi adalah proses pembentukan lapisan oksida pada logam, terutama aluminium, dengan cara bereaksi atau mengkorosikan logam tersebut dengan oksigen (O₂) yang diambil dari larutan elektrolit sebagai media, sehingga terbentuk lapisan oksida. Kuat arus dan waktu memegang peranan penting pada pembentukan lapisan oksida. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kuat arus listrik terhadap kualitas warna dalam proses anodisasi dengan pewarna alami temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*). Pewarna alami temulawak dipilih karena memiliki kandungan kurkumin yang sifatnya memberikan warna kuning khas dan ramah lingkungan. Pada penelitian ini, variasi kuat arus 2, 6, dan 10 Ampere dengan waktu pencelupan yang sama yaitu 30 menit digunakan untuk menentukan bagaimana arus listrik mempengaruhi ketebalan lapisan oksida yang terbentuk serta intensitas warna yang dihasilkan dengan spesimen yang digunakan yaitu aluminium 6061. Pada arus 10 Ampere, warna yang dihasilkan lebih kuat dibandingkan dengan 2 dan 6 Ampere, yang menunjukkan korelasi langsung antara peningkatan arus listrik dan intensitas warna pada hasil anodisasi. Kesimpulannya, variasi kuat arus listrik berdampak langsung terhadap kualitas warna hasil anodisasi, dengan arus yang lebih tinggi menghasilkan lapisan oksida lebih tebal dan pori-pori yang lebih besar sehingga warna lebih meresap dan intens.

Kata Kunci: *Anodizing, Pewarnaan, Variasi Kuat arus, Al 6061, Pewarna Alami*

ABSTRACT

*The anodizing process is the process of forming an oxide layer on metal, especially aluminum, by reacting or corroding the metal with oxygen (O₂) taken from the electrolyte solution as a medium, thus forming an oxide layer. Current strength and time play an important role in the formation of the oxide layer. This research aims to analyze the effect of strong electric current on color quality in the anodization process with natural ginger dye (*Curcuma xanthorrhiza*). The natural coloring of ginger was chosen because it contains curcumin which gives it a distinctive yellow color and is environmentally friendly. In this research, variations in current strength of 2, 6, and 10 Amperes with the same immersion time of 30 minutes were used to determine how electric current affects the thickness of the oxide layer formed and the intensity of the color produced with the specimen used, namely aluminum 6061. At a current of 10 Ampere, the color produced is stronger than 2 and 6 Ampere, which shows a direct correlation between increasing electric current and color intensity in the anodization results. In conclusion, variations in the strength of the electric current have a direct impact on the quality of the anodized color, with higher currents producing a thicker oxide layer and larger pores so that the color is more penetrating and intense.*

Keywords: *Anodizing, Dyeing, Electric Current Variation, Al 6061, Natural Dye*

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vi
Abstrak	viii
Abstract	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Gambar	xiii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	4
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	6
2.1 <i>Anodizing</i>	6
2.2 Elektroda	7
2.3 Elektrolit	8
2.4 Aluminium	8
2.5 Lapisan Oksida	9
2.5.1 Oksidasi Anodik	9
2.5.2 Pembentukan Lapisan Oksida	9
2.5.3 Fungsi Lapisan Oksida	10
2.6 Pengamatan Struktur Makro	11
Bab 3 Metode Penelitian	12
3.1 Alur Penelitian	12

3.2	Peralatan dan Bahan.....	13
3.3	Perancangan	14
3.4	Persiapan	15
3.5	Kriteria Pemilihan Alat dan Bahan	16
3.6	Setup Percobaan.....	21
3.7	Proses <i>Anodizing</i>	23
3.8	Proses <i>Dyeing</i> /Pewarnaan.....	25
3.9	Proses <i>Sealing</i> /Penyegelelan.....	26
3.10	Pengukuran Warna	27
3.11	Pengamatan Struktur Makro.....	27
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	29
4.1	Pengaruh Kuat Arus terhadap Hasil <i>Anodizing</i>	29
4.2	Hasil Penyebaran Warna.....	31
4.3	Hasil Pengujian Struktur Makro	31
4.3.1	Struktur Makro Sebelum Proses <i>Dyeing</i> /Pewarnaan.....	32
4.3.2	Struktur Makro Setelah Proses <i>Dyeing</i> /Pewarnaan	33
4.4	Analisis Kegagalan	36
Bab 5	Penutup.....	37
5.1	Kesimpulan	37
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	37
Daftar Pustaka	38

DAFTAR TABEL

Table 3- 1 Alat.....	13
Table 3- 2 Bahan.....	13
Table 3- 3 Variasi kuat arus.....	14
Table 4- 1 Data hasil percobaan	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Setup</i> proses anodize.....	7
Gambar 2. 2 Proses terbentuk lapisan oksida.....	9
Gambar 3. 1 <i>Power supply</i>	17
Gambar 3. 2 Air aki zuur (Asam Sulfat)	18
Gambar 3. 3 Timbangan digital.....	18
Gambar 3. 4 Wadah plastik	19
Gambar 3. 5 Bubuk temulawak	19
Gambar 3. 6 Thinner.....	20
Gambar 3. 7 Soda api (NaOH)	20
Gambar 3. 8 <i>Microscope</i> (Merek OLYMPUS BX53M).....	21
Gambar 3. 9 Spesimen Aluminium	21
Gambar 3. 10 Proses pembersihan	22
Gambar 3. 11 Proses <i>etching</i>	22
Gambar 3. 12 Proses mengukur asam sulfat.....	23
Gambar 3. 13 Proses pembuatan cairan elektrolit.....	23
Gambar 3. 14 Pemasangan anoda dan katoda	24
Gambar 3. 15 Proses <i>anodizing</i>	24
Gambar 3. 16 Pengukuran temulawak.....	25
Gambar 3. 17 Proses penyaringan ampas temulawak	25
Gambar 3. 18 Proses pewarnaan	26
Gambar 3. 19 Proses <i>sealing</i>	26
Gambar 3. 20 Pengukuran warna RGB	27
Gambar 3. 21 Pengamatan struktur makro	28
Gambar 4. 1 Grafik hasil pengukuran warna (RBG) pada permukaan aluminium.....	30
Gambar 4. 2 (a) <i>Raw material</i> aluminium dan (b) Aluminium sesudah proses <i>anodizing</i>	32
Gambar 4. 3 (a) Struktur mako kuat arus 2A, (b) Struktur makro kuat arus 6A dan (c) Struktur makro kuat arus 10A.....	34
Gambar 4. 4 Kegagalan dalam percobaan.....	36

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara berkembang dengan potensi besar dalam sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan. Sumber daya alam yang melimpah ini membuka peluang bagi berbagai sektor industri untuk berkembang. Salah satu industri yang memiliki peran penting adalah industri aluminium (Kurniawan et al., 2023). Aluminium merupakan material yang banyak digunakan dalam industri karena keunggulannya dibandingkan material lain. Material ini dikenal ringan, mudah dicor, dapat dimesin, serta tahan korosi berkat lapisan oksida yang melindunginya (Agustriyana et al., 2020). Menurut (Surdia & Saito, 1999), aluminium digunakan secara luas, tidak hanya untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dalam pembuatan pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi, dan lain-lain.

Kemajuan dalam teknologi pewarnaan menggunakan metode *anodize* telah melibatkan berbagai inovasi untuk meningkatkan kualitas, efisiensi, serta keberlanjutan proses tersebut. *Anodizing* adalah proses pelapisan melalui elektrolisis yang bertujuan untuk melapisi permukaan logam dengan material atau oksida yang berfungsi sebagai pelindung, serta memperbaiki sifat fisik dan mekanis logam tersebut (Safiri, 2021). Teknologi pewarnaan dengan metode *anodize* ini adalah salah satu teknik yang digunakan dalam industri untuk memberikan lapisan warna yang tahan terhadap korosi, tahan aus, dan tahan terhadap cuaca pada permukaan logam, terutama aluminium. Metode ini melibatkan proses elektrokimia di mana logam yang akan diwarnai (biasanya aluminium) menjadi anoda dalam larutan elektrolit, sedangkan elektroda lainnya bertindak sebagai katoda. Ketika arus listrik diterapkan, terjadi oksidasi pada permukaan aluminium yang membentuk lapisan oksida yang kuat dan tahan lama, yang disebut sebagai lapisan anodik.

Penggunaan pewarna sintetis yang mengandung gugus Azo berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan karena mengandung logam berat yang berdampak

negatif. Tren penggunaan pewarna dan preferensi konsumen terhadap produk ramah lingkungan menjadi salah satu cara untuk mengurangi penggunaan bahan sintetis yang berbahaya, terutama di negara-negara seperti Eropa, Jepang, dan Jerman, yang lebih menyukai produk dengan pewarna alami dan melarang pewarna sintetis. Pewarna sintetis tidak dapat terurai secara alami dan mengandung logam berbahaya. Beberapa tanaman yang sering kita temui, seperti nangka, jambu biji, kelapa, pinang, mangga, dan mengkudu, merupakan sumber pewarna alami. Salah satu bahan yang akan diuji coba sebagai pewarna alami adalah temulawak, yang selama ini banyak digunakan sebagai bahan makanan dan minuman kesehatan (Nuwa et al., 2018). Pewarna sintetis sering digunakan dalam proses *anodizing*, tetapi memiliki potensi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Dengan adanya perkembangan ini, metode anodize dengan pewarna alami menjadi salah satu pilihan yang menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, dan memberikan perlindungan dan estetika pada produk logam.

Kurkuminoid dalam temulawak menghasilkan warna mulai dari kuning hingga merah, dan memiliki khasiat sebagai kolagoga (pelancar empedu). Warna kuning dari temulawak merupakan pewarna alami yang dapat digunakan sebagai pewarna makanan, minuman, atau bahan baku kosmetik seperti alas bedak. Keunggulan dari zat pewarna temulawak ini adalah tidak beracun dan tidak menimbulkan efek samping yang berbahaya (Afifah, 2003). Sehingga kurkumin yang berasal dari temulawak adalah salah satu pilihan yang dapat digunakan karena harganya yang terjangkau, ketersediaannya yang melimpah, dan keamanannya bagi lingkungan. Limbah dari penggunaan pewarna alami dapat membantu mengurangi risiko kerusakan lingkungan.

Dengan mempertimbangkan situasi dan beberapa penelitian yang sudah dilakukan, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh kuat arus terhadap kualitas penyebaran dan pemerataan warna pada proses *anodizing* dengan menggunakan pewarna alami dari temulawak.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, beberapa permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kuat arus listrik terhadap kualitas warna yang dihasilkan?
2. Berapa kuat arus Listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan hasil anodizing menggunakan pewarna alami temulawak yang memiliki warna merata?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, disusunlah batasan masalah yang bertujuan untuk membatasi ruang lingkup penelitian, sehingga tidak muncul permasalahan yang berada di luar fokus penelitian ini. Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain::

1. Material spesimen proses *anodizing* adalah aluminium 6061.
2. Jenis larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini ialah asam sulfat (H_2SO_4).
3. Pewarna alami yang digunakan adalah bubuk temulawak.
4. Air yang digunakan adalah air mineral biasa.
5. Variasi kuat arus pada penelitian ini adalah 2, 6 dan 10 Ampere.
6. *Power supply* yang digunakan sebagai berikut:
 - a. *SWITCHING POWER SUPPLY MODEL SN-110, AC Input : 110-220V +/- 15%, DC Output 12V 10A 120W Max*
 - b. *BOSSECOM MODEL: S-80-12, AC Input: 110/240V±15%, DC Output: 12V 6A*
 - c. *BATTERY CHARGE Input: 220V 50Hz, DC Output 12V 2A*

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dilakukannya penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Menentukan parameter optimal untuk proses *anodizing* dengan pewarna alami.
2. Untuk mengetahui kuat arus listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan hasil *anodizing* menggunakan pewarna alami temulawak yang memiliki warna merata.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat yang diperoleh dari tujuan penelitian di atas adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh kuat arus terhadap kualitas warna yang dihasilkan.
2. Mengetahui kuat arus Listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan hasil *anodizing* menggunakan pewarna alami temulawak yang memiliki warna merata.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Laporan Kerja Praktik ini terdiri dari 5 bab yang rincian-rincian bab tersebut adalah sebagai berikut:

BAB 1: Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang, maksud dan tujuan, batasan permasalahan yang dibahas, manfaat dari tugas akhir ini serta sistematika penulisan.

BAB 2: Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang dasar teori yang berkaitan dengan proses anodize yaitu pengertian tentang *anodize* dan penjelasan tentang aluminium.

BAB 3: Metode Penelitian

Bab ini menerangkan tentang metode penelitian yang berisikan diagram alur penelitian, persiapan alat dan bahan, tahapan melakukan proses *anodizing*, pengukuran warna dan pengamatan struktur makro.

BAB 4: Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi hasil dari penelitian tentang bagaimana kualitas, penyebaran dan pemerataan dari warna hasil proses *anodizing* dan struktur makro permukaan aluminium.

BAB 5: Penutup

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil dari proses *anodizing*.

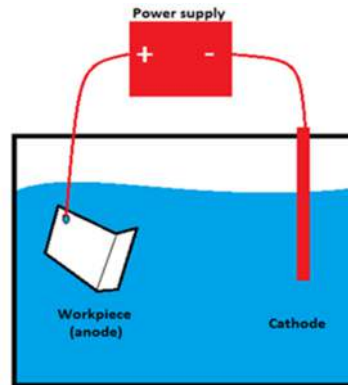
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Anodizing

Proses *anodizing* atau anodisasi adalah proses pembentukan lapisan oksida pada logam, terutama aluminium, dengan cara bereaksi atau mengkorosikan logam tersebut dengan oksigen (O_2) yang diambil dari larutan elektrolit sebagai media, sehingga terbentuk lapisan oksida (Santhiarsa, 2010). Proses ini juga dikenal sebagai oksidasi anodic, yang prinsipnya mirip dengan pelapisan listrik (*electroplating*), tetapi bedanya logam yang dioksidasi berperan sebagai anoda dalam larutan elektrolit. Selain itu, larutan elektrolit yang digunakan bersifat asam, dengan penyearah arus DC bertegangan dan ampere tinggi. Proses utama dalam oksidasi anodic aluminium menggunakan larutan asam sulfat, asam kromat, atau campuran asam sulfat dan asam oksalat (Santhiarsa, 2010). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Santhiarsa, proses anodisasi dilakukan pada suhu ruang dengan variasi kuat arus 1, 2, dan 3 ampere serta tegangan 12 v, masing-masing selama 10, 20, dan 30 menit. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai kecerahan menurun seiring dengan bertambahnya waktu anodisasi dan peningkatan kuat arus.

Proses anodisasi menghasilkan lapisan oksida tipis yang berpori, bersifat keras, dan tahan korosi. Pori-pori ini dapat diisi dengan zat pewarna untuk memberikan berbagai warna, pewarnaan dalam *anodizing* dilakukan menggunakan bahan kimia, dan salah satu metode untuk meningkatkan sifat fisik aluminium mencakup pengaturan kecerahan warna dan ketebalan lapisan warna setelah proses pewarnaan *anodizing* (Setyawan et al., 2020). Pada penelitian yang dilakukan oleh Setyawan et al., aluminium yang digunakan adalah jenis aluminium 6061 dengan dimensi 10 mm x 33 mm x 22 mm. Benda kerja dipasang pada anoda (+), sementara lembaran timah hitam (Pb) dipasang pada katoda (-). Larutan yang digunakan adalah asam sulfat (H_2SO_4).



Gambar 2. 1 *Setup* proses anodize

Penggunaan arus searah dalam *anodizing* menghasilkan lapisan yang lebih keras dan tahan terhadap korosi, namun lapisan tersebut juga lebih rentan terhadap kerapuhan. Ketahanan terhadap korosi sangat dipengaruhi oleh proses penyelesaian akhir, terutama pada tahap penyegelan (*sealing*). Selain itu, proses pewarnaan juga dilakukan, termasuk pewarnaan langsung (*integral coloring*) dan pewarnaan menggunakan zat pewarna organik atau anorganik. Pewarnaan langsung terjadi selama proses anodisasi tanpa penambahan zat pewarna. Hampir semua jenis aluminium dan paduannya dapat dioksidasi dan diwarnai sesuai kebutuhan (Santhiarsa, 2010).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menggunakan variasi kuat arus yang lebih besar, yaitu 2, 6, dan 10 ampere, serta menggunakan aluminium 6061 dengan dimensi seragam 10 mm x 30 mm x 30 mm. Dan proses anodisasi dilakukan selama 30 menit dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh kuat arus terhadap kualitas warna aluminium hasil anodisasi.

2.2 Elektroda

Elektroda adalah penghantar listrik yang terhubung dengan larutan elektrolit dalam suatu rangkaian listrik. Dalam sel elektrokimia, elektrode dapat berfungsi sebagai anoda saat terjadi proses oksidasi, atau sebagai katoda saat berlangsung reaksi redoks. Peran elektrode sebagai anoda atau katoda ditentukan oleh tegangan listrik yang diterapkan pada sel elektrokimia tersebut (Susilawati, dkk, 2021). Dalam percobaan *anodizing*, aluminium digunakan sebagai anoda dan katoda. Dalam sel elektrolisis, elektroda dapat berfungsi sebagai anoda atau katoda. Anoda adalah elektroda di mana elektron masuk ke dalam sel dan reaksi

reduksi terjadi. Setiap elektroda bisa berperan sebagai anoda atau katoda tergantung pada tegangan yang diterapkan ke sel elektrolit.

2.3 Elektrolit

Elektrolit adalah senyawa yang, ketika dilarutkan dalam pelarut, menghasilkan larutan yang mampu menghantarkan arus listrik. Elektrolit diklasifikasikan berdasarkan kemampuannya dalam menghantarkan listrik. Elektrolit yang menghantarkan listrik dengan baik disebut elektrolit kuat, contohnya termasuk asam klorida (HCl), asam sulfat (H_2SO_4), dan asam nitrat (HNO_3) (Salman, 2023).

2.4 Aluminium

Aluminium adalah logam ringan dengan ketahanan korosi yang baik, konduktivitas listrik yang tinggi, serta berbagai sifat unggul lainnya sebagai logam. Selain itu, kekuatan mekanis aluminium dapat ditingkatkan secara signifikan dengan penambahan elemen seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, dan In, baik secara individu maupun kombinasi. Penambahan ini juga memberikan manfaat tambahan seperti ketahanan terhadap korosi, ketahanan aus, dan koefisien pemuaian yang rendah (Surdia & Saito, 1999).

Aluminium adalah logam ringan berwarna keperakan yang memiliki simbol kimia Al dan nomor atom 13 dalam tabel periodik. Aluminium memiliki sifat-sifat unggul, termasuk ringan, tahan korosi, konduktivitas listrik yang baik, kekuatan mekanik yang tinggi, dan kemampuan untuk dibentuk menjadi berbagai bentuk melalui proses pengecoran, penempaan, dan ekstrusi. Aluminium digunakan secara luas dalam berbagai industri termasuk transportasi (pesawat terbang, mobil, kapal), konstruksi (Jendela, pintu, fasad bangunan), kemasan (kaleng, *foil*), elektrik (kabel, Komponen elektronik), dan banyak lagi. Dalam industri otomotif dan penerbangan, sifat ringan aluminium membantu mengurangi berat total kendaraan dan pesawat terbang, yang meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi karbon.

2.5 Lapisan Oksida

Lapisan oksida di permukaan logam yang terbentuk melalui oksidasi anodik dalam proses *anodizing* adalah lapisan pelindung yang dihasilkan dari reaksi elektrokimia antara logam aluminium dan oksigen di dalam larutan elektrolit. Berikut penjelasan lebih lanjut:

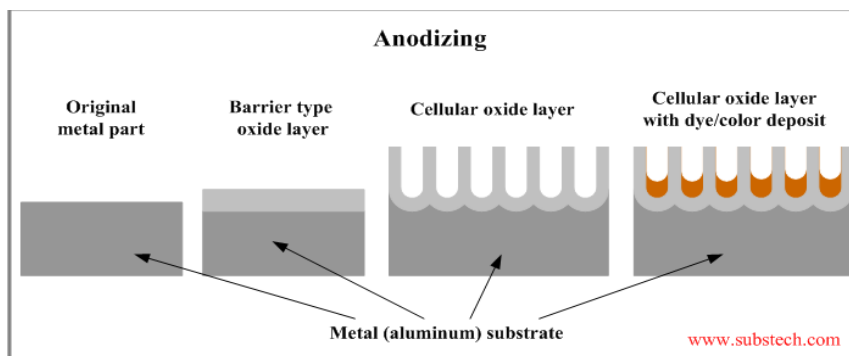
2.5.1 Oksidasi Anodik

Dalam proses *anodizing*, logam aluminium bertindak sebagai anoda (elektrode positif) dan ditempatkan dalam larutan elektrolit, seperti asam sulfat. Ketika arus listrik searah (DC) diterapkan, atom-atom aluminium di permukaan anoda mengalami oksidasi.

2.5.2 Pembentukan Lapisan Oksida

Menurut (Santhiarsa, 2010) Selama proses oksidasi anoda permukaan aluminium berubah menjadi oksida aluminium. Dimana reaksi kimia yang terjadi adalah: $2Al + 3H_2SO_4 > Al_2O_3 + 3H_2O + 3SO_2$ Dimana asam sulfat yang digunakan haruslah asam pekat, serta asam tersebut menjadi oksidator. Ketebalan oksida kurang lebih dua kali aluminium yang hilang.

Ketika arus listrik dialirkan melalui larutan elektrolit, ion oksigen dari larutan bereaksi dengan permukaan aluminium, membentuk lapisan oksida aluminium (Al_2O_3). Proses ini terkontrol dan memungkinkan terbentuknya lapisan yang lebih tebal dibandingkan oksida alami yang biasanya terbentuk di udara.



Gambar 2. 2 Proses terbentuk lapisan oksida

Sumber: (Kopeliovich, 2023)

Lapisan oksida tumbuh dari permukaan logam ke luar. Ada dua bagian dalam lapisan ini: bagian "*barrier layer*" (lapisan penghalang) yang lebih padat dan bagian yang lebih berpori. Ketebalan lapisan oksida bisa dikendalikan dengan mengatur kuat arus listrik dan durasi anodisasi.

Lapisan oksida berpori terbentuk dalam larutan elektrolit asam, seperti asam sulfat encer, di mana aluminium oksida tidak hanya tumbuh tetapi juga larut. Struktur seluler atau pori-pori pada lapisan oksida dihasilkan dari fluktuasi pada permukaan logam, yang menyebabkan konsentrasi arus listrik lokal meningkat dan mempercepat pertumbuhan lapisan oksida. Lapisan oksida tersebut selalu lebih tebal dibandingkan dengan lapisan logam yang teroksidasi, dengan 40% lapisan oksida menembus ke bawah permukaan logam asli, sementara 60% berada di atas permukaan logam (Kopeliovich, 2023).

2.5.3 Fungsi Lapisan Oksida

Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium setelah proses *anodizing* memiliki beberapa fungsi penting, di antaranya:

1. **Perlindungan Korosi:** Lapisan oksida yang terbentuk bertindak sebagai penghalang fisik yang melindungi logam dasar dari korosi oleh elemen-elemen lingkungan seperti air, oksigen, dan bahan kimia lainnya.
2. **Kekerasan dan Ketahanan Aus:** Aluminium oksida adalah bahan yang sangat keras, yang meningkatkan ketahanan aus dan masa pakai permukaan aluminium.
3. **Peningkatan Estetika:** Lapisan oksida berpori dapat diwarnai dengan pewarna alami atau sintetis, memungkinkan berbagai pilihan warna dan penampilan dekoratif.

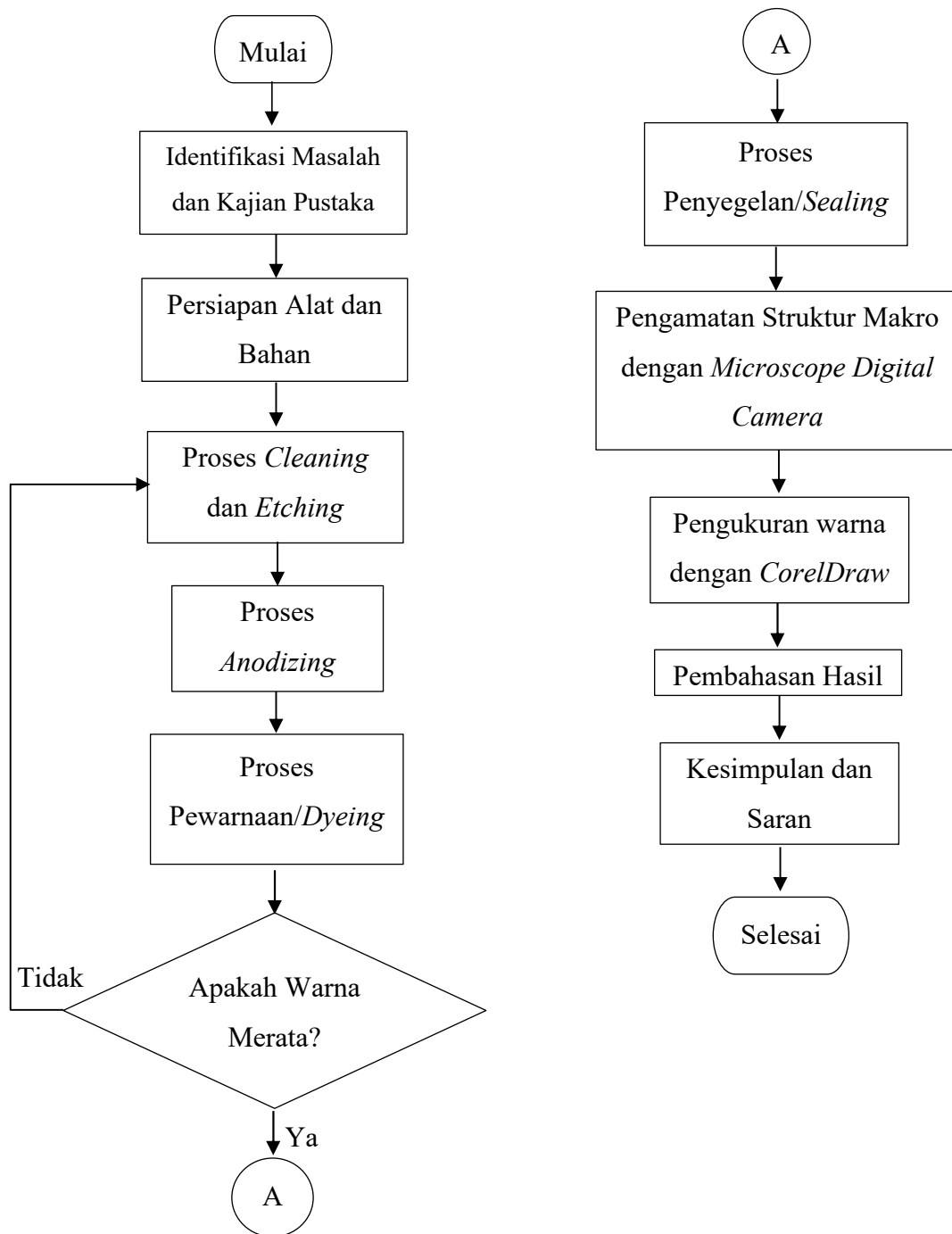
2.6 Pengamatan Struktur Makro

Pengujian struktur makro ini dilakukan untuk mengamati struktur permukaan aluminium yang sudah melakukan proses anodisasi dan pewarnaan. Pada pengujian ini, hasil *anodizing* diamati secara langsung tanpa melalui proses *mounting* atau persiapan khusus pada permukaan aluminium. Spesimen kemudian diperiksa menggunakan *microscope digital camera* dengan mengatur perbesaran lensa, sehingga struktur makro pada permukaan aluminium setelah *anodizing* dapat terlihat dengan jelas.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Berikut ialah diagram alur dari Proses Pewarnaan Alumunium dengan Metode *Anodize* menggunakan Pewarna Alami Temulawak:



3.2 Peralatan dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan untuk mendukung proses perancangan dapat ditemukan pada Tabel 3-1, sedangkan daftar bahan dapat ditemukan pada Tabel 3-2.

Table 3- 1 Alat

No	Nama Alat	Fungsi
1	Wadah/Bak Plastik	Menempatkan larutan elektrolit saat anodize
2	<i>Power Supply</i>	Sebagai penyedia dan sumber listrik
3	Plat Alumunium	Menghubungkan Anoda dan Katoda dari <i>power supply</i>
4	Gelas Ukur	Mengukur jumlah cairan yang digunakan
5	Timbangan Digital	Menimbang massa bahan-bahan yang digunakan
6	Gunting	Memotong plat alumunium
7	Gerinda Potong	Memotong material
8	Kompur Listrik	Memanaskan pewarna
9	Panci	Sebagai tempat pewarnaan sembari dipanaskan
10	Laptop	Mengoperasikan <i>CorelDRAW</i>
11	<i>Microscope Digital Camera</i>	Uji struktur makro permukaan aluminium

Table 3- 2 Bahan

No	Nama Bahan	Fungsi
1	Thinner	Untuk membersihkan material
2	Soda Api (NaOH)	Untuk melakukan proses <i>Etching</i>
3	Aki Zuur (H_2SO_4)	Sebagai larutan elektrolit
4	Air Mineral	Sebagai campuran larutan elerktrolit
5	Alumunium 6061	Sebagai material utama
6	Temulawak Bubuk	Sebagai pewarna alami

3.3 Perancangan

Desain perancangan penelitian proses *anodizing* adalah rancangan yang akan diterapkan dalam penelitian ini. Desain tersebut berfungsi sebagai panduan dalam menjalankan penelitian *anodizing* menggunakan pewarna alami dari temulawak. Tabel 3-3 berikut memperlihatkan variasi kuat arus listrik yang digunakan.

Table 3- 3 Variasi kuat arus

NO	Kode Spesimen	Kuat Arus (Ampere)	Waktu (Menit)	Larutan Elektrolit	Jumlah Pewarna (Gram)
1	10A.1	10A	30	3:1	30gr
	10A.2	10A	30	3:1	30gr
	10A.3	10A	30	3:1	30gr
2	6A.1	6A	30	3:1	30gr
	6A.2	6A	30	3:1	30gr
	6A.3	6A	30	3:1	30gr
3	2A.1	2A	30	3:1	30gr
	2A.2	2A	30	3:1	30gr
	2A.3	2A	30	3:1	30gr

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kuat arus listrik yang diterapkan selama proses *anodizing*. Dalam tabel, variasi kuat arus yang digunakan adalah 2, 6 dan 10 ampere. Variasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kuat arus terhadap hasil *anodizing* dan kuat arus listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan hasil *anodizing* yang memiliki warna merata, khususnya pada hasil pewarnaan dengan pewarna alami temulawak.

3.4 Persiapan

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dirancang untuk mengevaluasi efektivitas pewarna alami dalam proses anodisasi aluminium. Metode ini melibatkan serangkaian percobaan yang sistematis untuk mengidentifikasi dan mengukur berbagai parameter yang mempengaruhi hasil akhir, seperti kualitas pewarnaan, penyebaran warna, dan konsistensi warna yang dihasilkan oleh pewarna alami. Eksperimen ini dilakukan dengan menggabungkan proses anodisasi dengan penggunaan pewarna alami yang diekstrak dari temulawak bubuk. Data yang diperoleh dari setiap tahap percobaan dianalisis untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif mengenai potensi dan keterbatasan pewarna alami dalam aplikasi industri anodisasi aluminium.

Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan proses anodize aluminium 6061 dengan pewarna alami temulawak:

1. Pembersihan/*cleaning*:

Pada tahap ini dilakukan proses pembersihan/*cleaning* dengan menggunakan cairan *thinner*. Selanjutnya adalah *rinsing cleaning*, yaitu proses membilas benda kerja untuk menghilangkan bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium setelah proses pembersihan, menggunakan air aquades/air bersih dengan cara mencelupkannya.

2. *Etching*:

Tahapan selanjutnya ialah *etching* yang dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen aluminium kedalam larutan etsa yang mengandung natrium hidroksida (NaOH) atau soda api, setelah itu dilakukan pembilasan dengan cara mencelupkan spesimen aluminium ke dalam air bersih atau aquades lalu membersihkan permukaan dari sisa-sisa kotoran sebelum melakukan proses *anodizing*. Proses *etching* harus dilakukan dengan hati-hati dan dalam lingkungan yang terkontrol karena melibatkan bahan kimia yang berbahaya. Penggunaan alat pelindung diri (APD) seperti sarung tangan, kacamata pelindung, dan masker pelindung sangat dianjurkan untuk memastikan keselamatan.

3. Proses *Anodizing*/Anodisasi:

Pada tahap ini benda kerja atau logam ditempatkan sebagai anoda, sementara katoda dapat menggunakan lembaran timbal (Pb), aluminium, atau karbon. Larutan yang digunakan berupa asam sulfat dengan konsentrasi 3:1 atau 300gr air biasa dengan 100gr asam sulfat.

4. Proses *Dyeing*/Pewarnaan:

Di tahap ini pewarna yang digunakan berasal dari temulawak yang menghasilkan warna kuning dengan konsentrasi 30gr/liter. Aluminium yang telah dianodisasi dicelupkan ke dalam larutan pewarna yang sudah diekstrak dengan cara memanaskan temulawak bubuk pada suhu sekitar 80°C sambil diaduk perlahan selama 30 menit. Pewarna ini meresap ke dalam pori-pori lapisan oksida.

5. Proses *Sealing*/Penyegelan:

Tahap terakhir yaitu *sealing* yang dilakukan dengan cara merendam aluminium ke dalam air panas/mendidih pada suhu 90°C selama 20 menit yang menyebabkan pori-pori oksida menutup.

3.5 Kriteria Pemilihan Alat dan Bahan

Pemilihan bahan dilakukan setelah identifikasi masalah, yang meliputi pencarian informasi mengenai bahan yang akan digunakan dalam penelitian, lokasi penjual, dan harga. Bahan yang dipilih mencakup aluminium, catu daya, cairan elektrolit, dan pewarna. Dalam proses pemilihan bahan, faktor ketersediaan dan harga menjadi prioritas utama. Berikut alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Aluminium 6061

Pada penelitian ini material aluminium yang digunakan ialah aluminium jenis 6061 dengan ketebalan 10 mm. Aluminium 6061 ini menawarkan ketahanan yang baik terhadap korosi, terutama bila dianodisasi. Sifat dari aluminium 6061 ini ringan, cukup keras namun tetap mudah untuk dikerjakan dengan mesin, seperti pemotongan dan pengeboran, dan penghantar panas dan listrik yang baik.

2. Sumber Arus Searah (DC)

Sumber arus yang digunakan adalah *Power Supply Switching* yang dimana *power supply* ini menawarkan ukuran yang lebih kecil, dan menurut (Hidayatullah, 2020) *power supply switching* memiliki efisiensi daya listrik hingga 83% dibandingkan dengan *power supply* konvensional. *Power supply* konvensional memiliki efisiensi yang lebih rendah karena perbedaan besar antara tegangan *input* dan *output* menyebabkan energi berlebih diubah menjadi panas, sehingga sebagian besar daya listrik *input* hilang sebagai panas. Selain itu, sumber arus searah juga dapat diperoleh dari perangkat seperti *charger* aki.

Spesifikasi:

- a. *SWITCHING POWER SUPPLY MODEL SN-110, AC Input : 110-220V +/- 15%, DC Output 12V 10A 120W Max*
- b. *BOSSECOM MODEL: S-80-12, AC Input: 110/240V±15%, DC Output: 12V 6A*
- c. *BATTERY CHARGE Input: 220V 50Hz, DC Output 12V 2A*



Gambar 3. 1 *Power supply*

3. Asam Sulfat (H_2SO_4)

Asam sulfat yang digunakan pada penelitian ini ialah Air Aki Zuur. Air Aki Zuur adalah jenis air aki yang mengandung elektrolit dan asam sulfat dengan konsentrasi tinggi. Asam sulfat pada air aki ini juga berperan dalam menyimpan dan menghantarkan listrik.



Gambar 3. 2 Air aki zuur (Asam Sulfat)

4. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur atau menentukan campuran bahan-bahan yang akan digunakan dalam proses *anodize*, seperti komposisi atau massa dari asam sulfat, air mineral dan bubuk temulawak. Digunakannya alat ukur berat karena pewarna yang digunakan yaitu temulawak didapatkan dalam bentuk bubuk, dan agar mudah untuk melakukan perbandingan asam sulfat dan air mineral yang akan digunakan diukur massanya.



Gambar 3. 3 Timbangan digital

5. Wadah Plastik

Wadah plastik digunakan sebagai wadah larutan elektrolit untuk proses *anodize*. Wadah plastik yang dipilih ialah wadah plastik *microwave oven safe*, selain karena harganya yang murah dan mudah untuk didapatkan, wadah plastik yang akan digunakan untuk *anodize* juga harus tahan panas dan korosi.



Gambar 3. 4 Wadah plastik

6. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mengukur lama waktu proses *anodizing* dan pewarnaan.

7. Pewarna Alami

Pewarna alami yang digunakan pada penelitian ini adalah berasal dari temulawak yang sudah berbentuk bubuk.



Gambar 3. 5 Bubuk temulawak

8. *Thinner*

Thinner digunakan ketika melakukan proses *cleaning* yang berfungsi untuk membersihkan spesimen dari sisa-sisa kotoran yang menempel akibat proses pemotongan spesimen.



Gambar 3. 6 *Thinner*

9. NaOH (Soda Api)

NaOH digunakan pada saat akan melakukan proses *etching* yang berfungsi untuk menghilangkan oksida, kotoran, dan kontaminan lainnya dari permukaan aluminium.



Gambar 3. 7 Soda api (NaOH)

10. Alat Uji *Microscope* (OLYMPUS BX53M)

Alat ini digunakan untuk mengamati struktur makro pada permukaan aluminium yang telah melalui proses *anodizing*.



Gambar 3. 8 *Microscope* (Merek OLYMPUS BX53M)

3.6 *Setup Percobaan*

Tahap Persiapan:

Persiapan aluminium yang akan dianodize, merupakan langkah penting untuk memastikan keseragaman spesimen dalam proses *anodizing*. Ini memudahkan dalam penanganan, serta pengamatan hasil *anodizing*.

1. Material aluminium dipotong menjadi bagian-bagian kecil dengan dimensi sekitar 30mm x 30mm.



Gambar 3. 9 Spesimen Aluminium

2. Merakit kabel dan menyiapkan *power supply*.
3. Wadah plastik disiapkan untuk menempatkan larutan elektrolit.
4. Timbangan disiapkan untuk mengukur jumlah air, asam sulfat dan temulawak bubuk.

Tahap *Cleaning*/ Pembersihan:

Spesimen aluminium dibersihkan dengan *thinner* lalu di bilas dengan air bersih atau aquades.



Gambar 3. 10 Proses pembersihan

Tahap *Etching*:

Spesimen dibersihkan dengan menggunakan soda api (NaOH) lalu membilasnya dengan air bersih atau aquades dengan cara mencelupkannya.



Gambar 3. 11 Proses *etching*

3.7 Proses *Anodizing*

Setelah melakukan persiapan dan membersihkan spesimen aluminium selesai, langkah selanjutnya yaitu proses *anodizing* yang dilakukan dengan cara berikut:

1. 100gr air aki zuur atau asam sulfat (H_2SO_4) dimasukkan ke dalam wadah plastik.



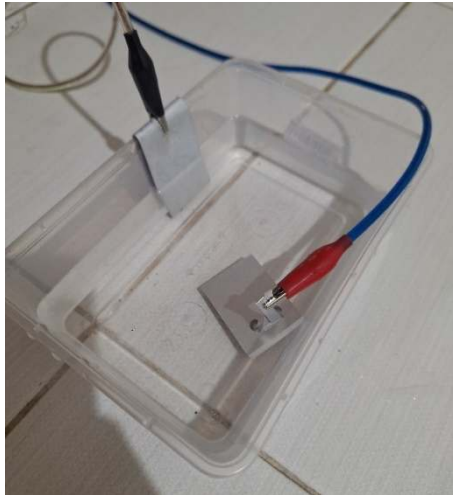
Gambar 3. 12 Proses mengukur asam sulfat

2. 300gr air bersih atau aquades dicampurkan ke dalam wadah plastik yang sudah terisi 100gr asam sulfat lalu diaduk secara perlahan.



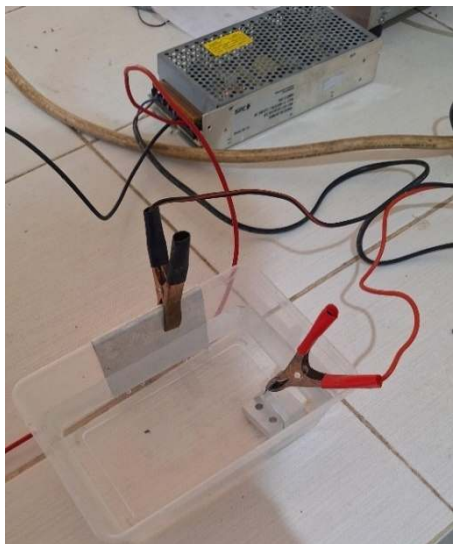
Gambar 3. 13 Proses pembuatan cairan elektrolit

3. Spesimen aluminium dipasangkan sebagai anoda (elektroda positif) dan katoda (elektroda negatif) dihubungkan dengan plat aluminium ke dalam wadah *anodizing* yang berisi larutan elektrolit.



Gambar 3. 14 Pemasangan anoda dan katoda

4. Spesimen aluminium dicelupkan ke dalam larutan elektrolit dan hidupkan *power supply*, lalu catat waktu dan arus yang digunakan pada proses ini.
5. Percobaan *anodize* dilakukan dengan variasi kuat arus 2, 6 dan 10 Ampere masing-masing selama 30 menit.
6. Setelah proses selesai dengan waktu yang ditentukan *power supply* dimatikan lalu spesimen aluminium diangkat kemudian bilas dengan air bersih dan tiriskan dengan cara diangin-anginkan.



Gambar 3. 15 Proses *anodizing*

3.8 Proses *Dyeing*/Pewarnaan

Setelah proses anodizing yang bertujuan untuk membentuk lapisan oksida selesai, langkah selanjutnya adalah proses pewarnaan (*dyeing*) yang dilakukan melalui langkah-langkah berikut:

1. Temulawak bubuk disiapkan sebanyak 30gr yang sudah dipanaskan untuk diekstrak warnanya di dalam wadah/panci.



Gambar 3. 16 Pengukuran temulawak

2. Lakukan penyaringan ampas dari temulawak.



Gambar 3. 17 Proses penyaringan ampas temulawak

3. Spesimen aluminium yang sudah di *anodize* dicelupkan ke dalam wadah/panci secara vertikal sambil dipanaskan pada suhu 80°C selama 30 menit.

4. Aduk perlahan carian pewarna agar warna dapat menyerap merata pada aluminium.
5. Lakukan dengan variasi waktu tertentu.



Gambar 3. 18 Proses pewarnaan

3.9 Proses *Sealing*/Penyegelan

Setelah proses pewarnaan selesai, tahap terakhir dalam percobaan *anodizing* adalah proses *sealing* atau penyegelan. Proses ini dilakukan dengan menyiapkan air mendidih sebagai media untuk penyegelan, sesuai dengan langkah-langkah berikut:

1. Setelah pewarnaan spesimen aluminium diangkat dan keringkan.
2. Spesimen aluminium dicelupkan ke dalam aquades yang memiliki suhu 90°C (mendidih) dan diamkan selama 20 menit.
3. Spesimen aluminium diangkat lalu keringkan.

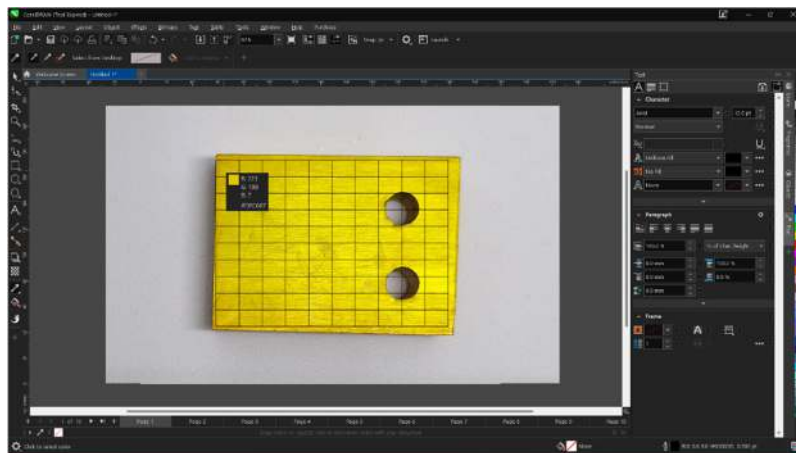


Gambar 3. 19 Proses *sealing*

3.10 Pengukuran Warna

Setelah proses anodizing selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah pengukuran warna (RGB) untuk menentukan intensitas serta penyebaran warna pada spesimen. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam melakukan pengukuran warna:

1. Siapkan *photo box* dan pasang *background* berwarna putih di bagian dalam *photo box*.
2. Hidupkan *lighting* atau lampu LED yang ada pada *photo box*.
3. Spesimen diletakkan di bagian yang tersorot oleh *lighting photo box*.
4. Pengambilan gambar dilakukan tepat dari atas spesimen dan tidak menghalangi *lighting*.
5. Siapkan aplikasi CorelDraw dan impor gambar yang sudah diambil.
6. Buat semacam grid atau tabel sebanyak 100 titik di permukaan spesimen seperti pada gambar 3.20.
7. Pengecekan warna RGB dilakukan di setiap kolom atau titik.



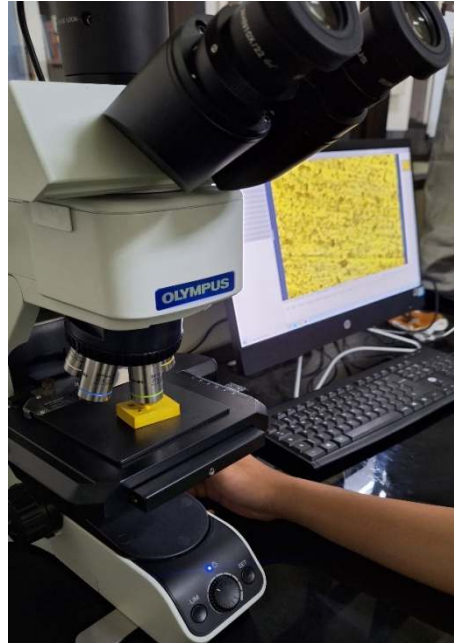
Gambar 3. 20 Pengukuran warna RGB

3.11 Pengamatan Struktur Makro

Tahap berikutnya ialah pengamatan struktur makro permukaan aluminium menggunakan mikroskop yang melibatkan beberapa langkah dan dirancang untuk mengamati struktur permukaan logam. Berikut adalah tahapan-tahapannya:

1. Spesimen dibersihkan dengan cara dibilas menggunakan air bersih.

2. Spesimen diletakkan tepat di bawah lensa mikroskop dengan perbesaran 50X.
3. Atur perbesaran lensa untuk dapat melihat struktur makro pada permukaan spesimen.
4. Hasil pengamatan dapat dilihat pada komputer yang terhubung dengan mikroskop.



Gambar 3. 21 Pengamatan struktur makro

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

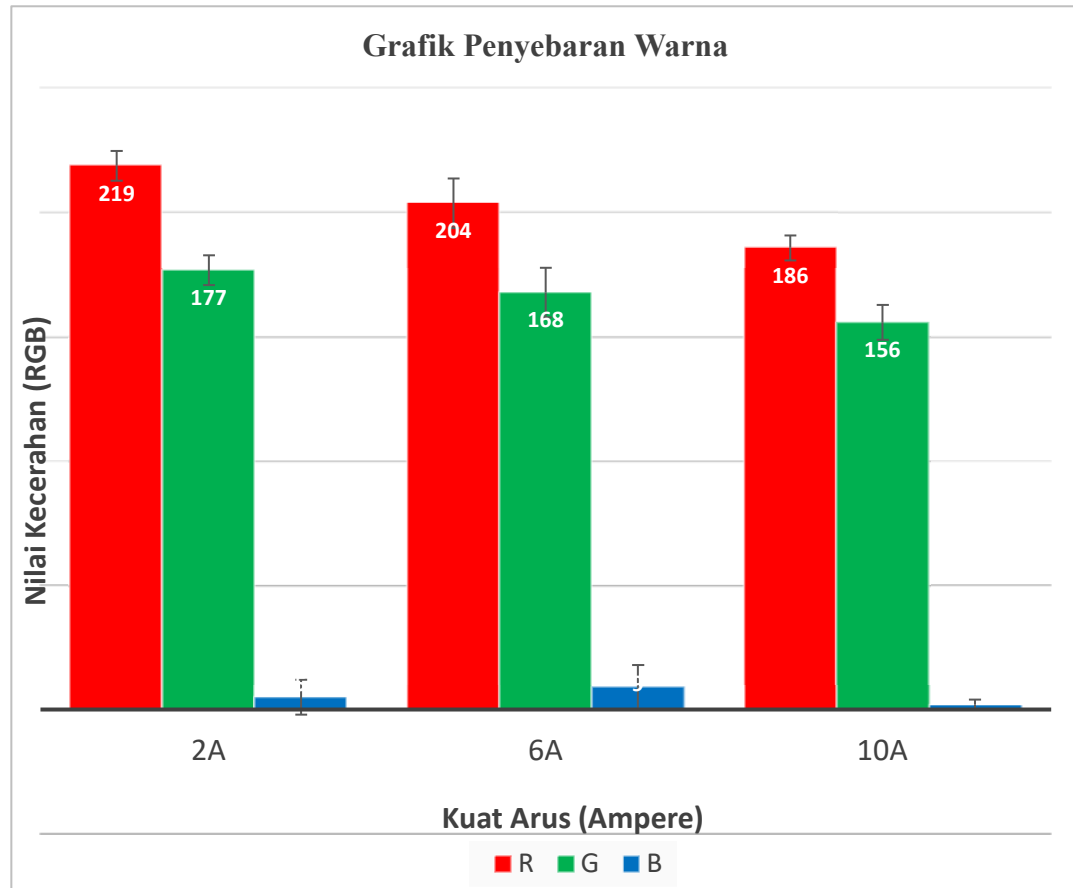
4.1 Pengaruh Kuat Arus terhadap Hasil *Anodizing*

Setelah melakukan proses *anodizing* dengan memvariasikan kuat arus listrik, spesimen dilakukan pengukuran intensitas atau kecerahan warna (RGB) menggunakan *CorelDRAW*, yang di mana akan didapatkan hasil dari intensitas atau kecerahan warna yang divariasikan kuat arusnya. Pengukuran dilakukan pada seratus titik yang berbeda. Berikut tabel hasil pengukuran kecerahan warna (RGB):

Table 4- 1 Data hasil percobaan

NO	Kode	Kuat Arus	Waktu	Larutan Elektrolit	Jumlah Pewarna	Warna Rata-rata (dari 100 titik)		
						R	G	B
1	10A.1	10A	30 Menit	3:1	30gr	184	155	2
	10A.2	10A	30 Menit	3:1	30gr	187	157	2
	10A.3	10A	30 Menit	3:1	30gr	186	157	1
	Rata-rata 10A					186	156	2
	Standar Deviasi					±5	±7	±2
2	6A.1	6 A	30 Menit	3:1	30gr	206	167	2
	6A.2	6 A	30 Menit	3:1	30gr	202	167	21
	6A.3	6 A	30 Menit	3:1	30gr	203	170	3
	Rata-rata 6A					204	168	9
	Standar Deviasi					±10	±10	±6
3	2A.1	2 A	30 Menit	3:1	30gr	213	176	1
	2A.2	2 A	30 Menit	3:1	30gr	221	175	14
	2A.3	2 A	30 Menit	3:1	30gr	222	180	1
	Rata-rata 2A					219	177	5
	Standar Deviasi					±6	±6	±7

Berdasarkan tabel 4-1 yang menyajikan hasil pengukuran intensitas atau kecerahan warna (RGB) dengan variasi kuat arus, data tersebut kemudian diolah menjadi sebuah grafik seperti yang ditampilkan pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 4. 1 Grafik hasil pengukuran warna (RBG) pada permukaan aluminium

Berdasarkan gambar 4.1 dapat dilihat bahwa rata-rata di setiap variasi kuat arusnya berbeda-beda, pada kuat arus 10 Ampere rata-rata intensitas warna yang dimiliki ialah R 186, G 156, dan B 2. Untuk kuat arus 6 Ampere R 204, G 168, B 9. Untuk kuat arus 2 Ampere R 219, G 177, B 5. Sehingga grafik tersebut menjelaskan bahwa dengan kuat arus yang tinggi, kita melihat intensitas atau kecerahan warna menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kuat arus listrik yang digunakan, semakin pekat atau gelap warna yang dihasilkan pada permukaan aluminium. Ini bisa disebabkan oleh peningkatan ketebalan lapisan oksida yang terbentuk, sehingga semakin tebal lapisan oksidanya maka warna yang terserap ke dalamnya semakin banyak seperti yang tertunjuk pada gambar 4.1 intensitas RGB dari aluminium dengan kuat arus 10 Ampere lebih rendah dari

6 dan 2 Ampere. Di sisi lain, ketika kuat arus listrik yang digunakan semakin kecil, grafik menunjukkan peningkatan kecerahan warna. Ini berarti bahwa dengan arus listrik yang lebih rendah, lapisan oksida yang terbentuk menjadi lebih tipis, sehingga dengan waktu anodisasi yang sama yaitu 30 menit aluminium menyerap sedikit warna yang digunakan dan warna yang dihasilkan menjadi lebih terang atau tidak pekat.

4.2 Hasil Penyebaran Warna

Gambar 4.1 menunjukkan grafik hasil pengujian penyebaran warna dari variasi kuat arus 10 A yang baik dan merata apabila di perhatikan pada eror bar di grafik tersebut. Jika *error bar* pada grafik pendek, ini menunjukkan bahwa standar deviasi dari pengukuran warna di 100 titik pengecekan rendah. Artinya, tidak ada perbedaan yang signifikan dalam intensitas warna (baik dalam komponen R, G, maupun B) di seluruh permukaan aluminium. Dengan kata lain, warna menyebar merata, dan variasi warna antar titik sangat kecil, yang menunjukkan bahwa proses anodisasi telah dilakukan secara konsisten.

Sebaliknya, jika *error bar* lebih panjang, itu menunjukkan standar deviasi yang lebih tinggi, yang berarti terdapat variasi yang lebih besar dalam distribusi warna antara titik-titik pengecekan. Semakin panjang *error bar*, semakin besar perbedaan intensitas warna RGB di permukaan aluminium, yang menandakan bahwa warna tidak tersebar merata seperti pada variasi kuat arus 6A. Ini menunjukkan adanya inkonsistensi dalam proses anodisasi.

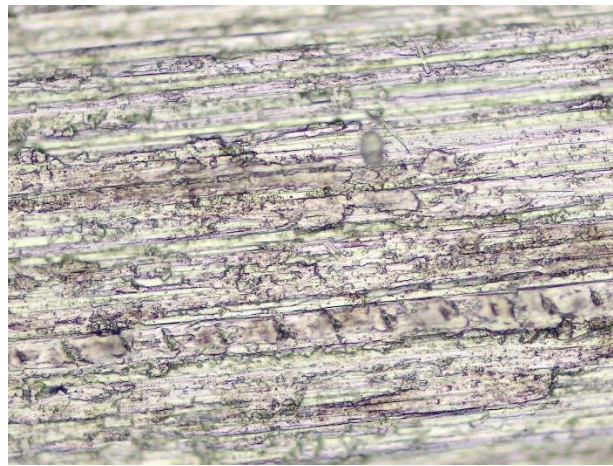
Dengan demikian, dalam grafik ini, panjang *error bar* menjadi indikasi langsung tentang konsistensi warna yang dihasilkan, dan *error bar* yang lebih pendek menunjukkan distribusi warna yang lebih merata pada hasil anodisasi.

4.3 Hasil Pengujian Struktur Makro

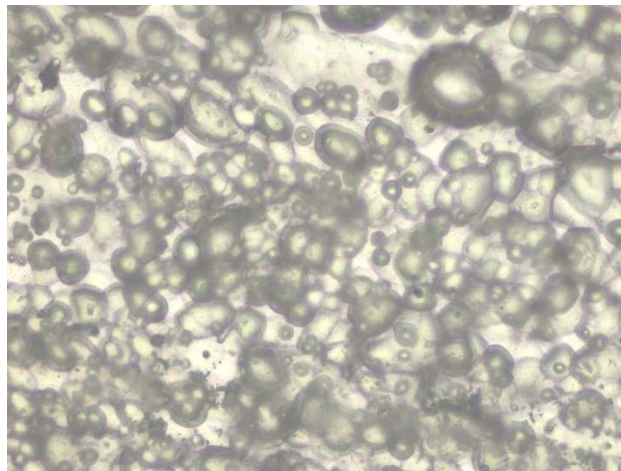
Pengujian struktur makro dilakukan menggunakan mikroskop metalurgi OLYMPUS model BX53M dengan lensa pembesaran 50x untuk melihat permukaan spesimen. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui struktur makro aluminium setelah menjalani proses *anodizing* dan pewarnaan dengan variasi arus listrik. Berikut hasil pengujian struktur makro permukaan aluminium:

4.3.1 Struktur Makro Sebelum Proses *Dyeing*/Pewarnaan

Struktur makro yang diamati pada permukaan aluminium sebelum proses pewarnaan dapat menunjukkan sejauh mana proses *anodizing* berhasil dalam membentuk lapisan oksida pelindung. Melalui pengamatan ini, pola pori-pori yang terbentuk pada lapisan oksida dapat diperiksa seperti pada gambar berikut:



(a)



(b)

Gambar 4. 2 (a) *Raw* material aluminium dan (b) Aluminium sesudah proses *anodizing*

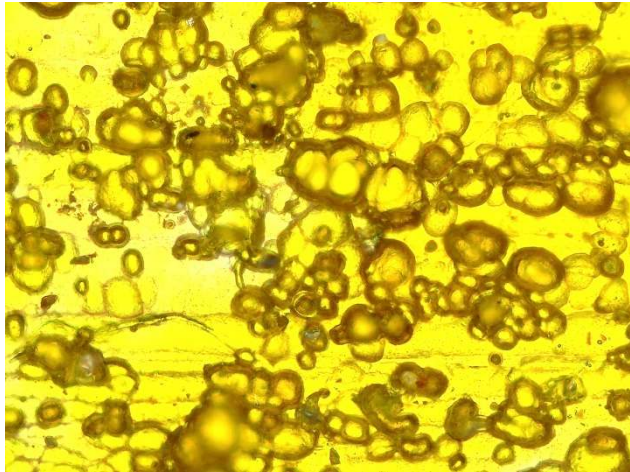
Berdasarkan kedua gambar yang di atas, terdapat perbedaan yang jelas pada struktur makro permukaan aluminium sebelum dan sesudah proses *anodizing* dengan kuat arus 10 Ampere selama 30 menit.

Pada gambar 4.2 (a) permukaan aluminium sebelum *anodizing*, struktur permukaannya tampak lebih kasar dan tidak teratur, dengan goresan atau pola alur memanjang yang kemungkinan disebabkan oleh proses fabrikasi atau permesinan. Permukaan ini tidak menunjukkan pori-pori yang jelas, menandakan bahwa aluminium masih dalam kondisi alami tanpa lapisan oksida tambahan, sehingga lebih rentan terhadap oksidasi, korosi, atau perubahan warna karena tidak memiliki perlindungan *anodized*.

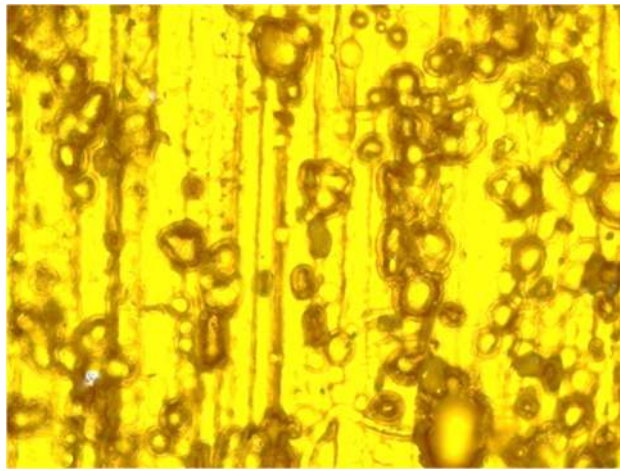
Sementara itu, pada gambar 4.2 (b) permukaan aluminium setelah *anodizing*, terdapat perubahan signifikan. Struktur pori-pori terlihat lebih teratur, menunjukkan keberhasilan proses *anodizing* dalam membentuk lapisan oksida pelindung di permukaan aluminium. Permukaan juga tampak lebih halus dan warnanya lebih seragam dibandingkan sebelum *anodizing*. Proses *anodizing* ini memperkuat ketahanan aluminium terhadap korosi serta memberikan sifat tambahan seperti kemampuan untuk diwarnai dan ketahanan lebih baik terhadap lingkungan luar. Secara keseluruhan, perbedaan utama antara kedua gambar ini adalah bahwa *anodizing* menghasilkan permukaan yang lebih halus, terstruktur, dan terlindungi oleh lapisan oksida yang meningkatkan ketahanan dan estetika permukaan aluminium.

4.3.2 Struktur Makro Setelah Proses *Dyeing*/Pewarnaan

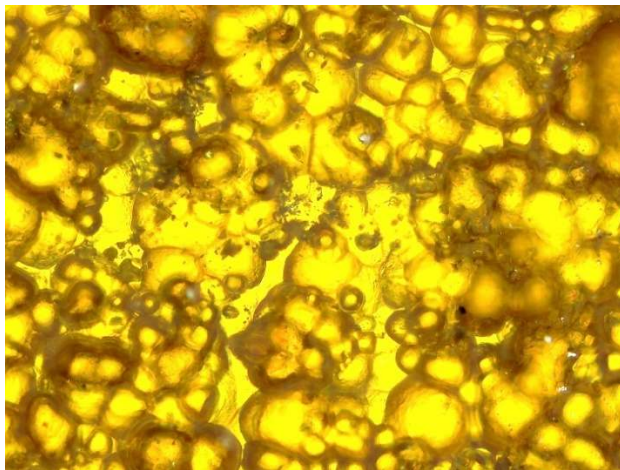
Pengamatan struktur makro setelah proses pewarnaan dilakukan untuk memastikan bahwa pewarna alami yang digunakan meresap dengan baik dan tersebar secara merata ke seluruh pori-pori lapisan *anodized*. Berikut gambar hasil pengamatan struktur makro dengan perbesaran 50 kali pada spesimen aluminium hasil *anodizing* menggunakan pewarna alami temulawak dengan kuat arus 2, 6 dan 10 Ampere:



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 (a) Struktur makro kuat arus 2A, (b) Struktur makro kuat arus 6A dan (c) Struktur makro kuat arus 10A

Berdasarkan gambar 4.3 pola pori-pori yang terbentuk selama proses *anodizing* terlihat jelas pada pembesaran ini. Pori-pori tersebut dihasilkan dari pembentukan lapisan oksida alumina di permukaan aluminium, di mana ukuran pori-pori dipengaruhi oleh kuat arus yang digunakan. Arus yang lebih besar cenderung menghasilkan pori-pori yang lebih terbuka.

Distribusi pewarna alami temulawak tampak merata ke dalam pori-pori lapisan *anodize*, yang ditunjukkan oleh warna kuning yang mendominasi gambar. Hal ini mengindikasikan bahwa pewarna berhasil meresap dengan baik ke dalam struktur pori-pori aluminium, dan pada perbesaran ini, intensitas serta variasi warna kuning terlihat dengan jelas, menunjukkan tingkat penyerapan pewarna yang cukup optimal.

Kuat arus yang digunakan juga berpengaruh pada kecepatan pembentukan pori-pori dan ketebalan lapisan oksida, yang kemudian memengaruhi kemampuan pori-pori dalam menyerap pewarna. Pada gambar 4.3 (c) yang menunjukkan variasi kuat arus 10 Ampere, terlihat bahwa pori-pori yang dihasilkan berukuran lebih besar dibandingkan dengan yang dihasilkan pada arus 2 atau 6 Ampere. Pori-pori tersebut juga terisi dengan baik oleh pewarna, menunjukkan bahwa arus 10 Ampere ini cocok untuk menghasilkan lapisan *anodize* dengan sifat penyerapan yang baik.

Meskipun sebagian besar pola pori-pori terlihat seragam, terdapat beberapa area yang menunjukkan variasi dalam ukuran dan distribusi pori. Variasi ini mungkin disebabkan oleh perbedaan lokal dalam proses *anodizing* atau tidak seragaman arus listrik. Namun secara keseluruhan, struktur permukaan terlihat cukup homogen dengan distribusi pewarna yang baik di seluruh permukaan.

4.4 Analisis Kegagalan

Analisis kegagalan ini menggambarkan sejauh mana kegagalan, penyebab kegagalan yang terjadi, dan solusi yang dapat diterapkan untuk meminimalkan kegagalan tersebut.



Gambar 4. 4 Kegagalan dalam percobaan

Dapat dilihat pada gambar 4.4 terdapat perbedaan warna yang sangat signifikan di beberapa area spesimen yang disebabkan oleh pewarna itu sendiri. Pewarna yang digunakan pada percobaan ini ialah pewarna alami yang berasal dari temulawak yang telah diolah menjadi bubuk, sehingga pada saat proses pengekstrakan warna terdapat residu atau ampas-ampas sisa dari temulawak yang tidak larut sehingga menyebabkan warna pada permukaan tidak konsisten dan semakin lama pewarna tersebut digunakan dan semakin lama waktu ekstrak pewarna, warna temulawak berubah menjadi lebih pekat, jadi penggunaan warna alami (Temualawak) tidak selalu memiliki waktu pewarnaan yang konsisten, tergantung lama waktu ekstrak pewarnaan yang digunakan, sehingga idealnya pewarna diekstrak dalam waktu 30 menit dengan air mendidih dan hanya dapat digunakan sekali proses pewarnaan agar mendapatkan hasil warna aluminium yang maksimal.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah disampaikan di atas, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Semakin besar atau semakin tinggi arus yang digunakan maka semakin tebal lapisan oksida dan semakin besar ukuran pori-pori yang terbentuk sehingga aluminium menyerap warna lebih banyak dan warna kuning yang dihasilkan akan menjadi semakin pekat.
2. Pada arus 10 Ampere, warna yang dihasilkan lebih pekat atau gelap dibandingkan dengan 2 dan 6 Ampere, yang menunjukkan korelasi langsung antara peningkatan arus listrik dan intensitas warna pada hasil anodisasi.
3. Kuat arus 10 Ampere memiliki warna kuning yang lebih merata dibandingkan dengan kuat arus lainnya karena nilai standar deviasi yang lebih kecil, menunjukkan bahwa rentang variasi nilai RGB di setiap titik lebih rendah. Hal ini mengindikasikan distribusi warna yang lebih konsisten dan seragam pada arus 10 Ampere.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

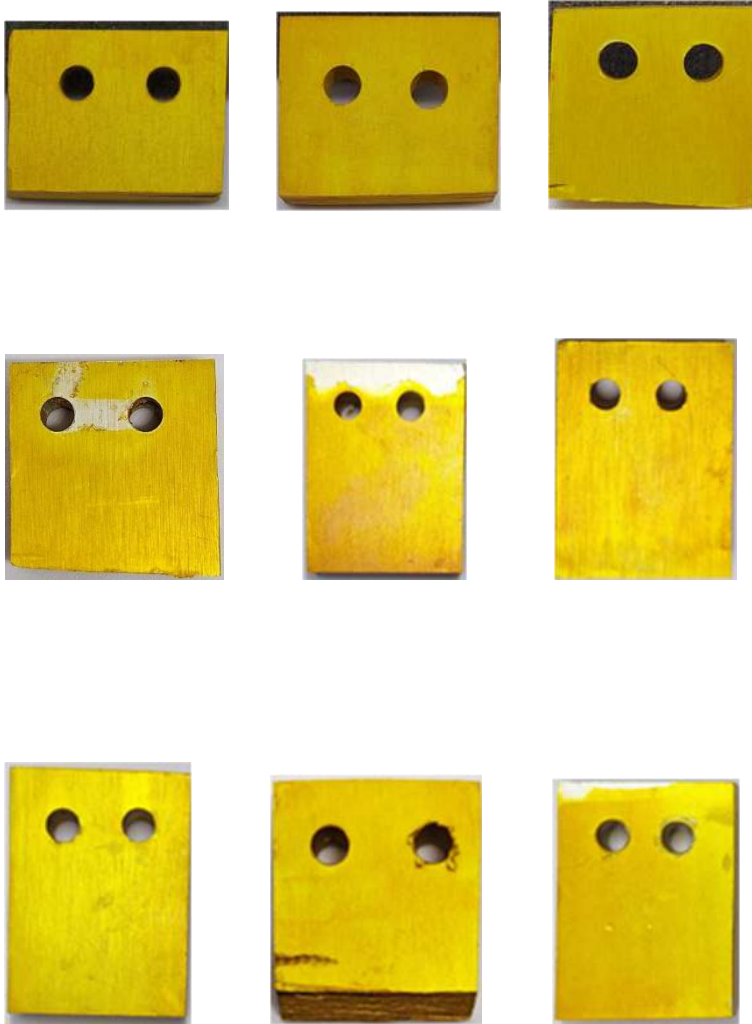
1. Sesuaikan parameter seperti arus, suhu, dan konsentrasi pewarna berdasarkan hasil uji coba agar hasil akhir lebih optimal.
2. Melakukan penyaringan ampas temulawak cukup 1 kali ketika akan melakukan proses *dyeing* atau pewarnaan.
3. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian ketahanan warna pada hasil *anodize*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, E. (2003). Khasiat dan Manfaat Rimpang Temulawak Penyembuh Aneka Penyakit. Agromedia.
- Agustriyana, L., Buwono, H., & Sulistiyono. (2020). Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik Dan Waktu Proses *Anodizing* Pada Aluminium Terhadap Laju Korosi Dalam Media Larutan Garam. *Volume 9*, p.39.
- Hidayatullah, S. S. (2020). *Pengertian Power Supply Switching Dan Cara Kerjanya. Belajar Online.*
- Kopeliovich, D. (2023, Desember). Anodizing. *SubsTech.*
- Nuwa, Patricia Erosa Putir, & Berkat Pisi. (2018). Temulawak Sebagai Pewarna Dalam Desain Produk Anyaman Rotan Di Kelurahan Menteng Kota Palangka Raya. *Volume XIII*, p.87–93.
- Pungky Eka Setyawan, Elta Sonalitha, & Dewi Izzatus Tsamroh. (2020). Analisis Pewarnaan dari Limbah Sayur dan Buah pada Material Aluminium 6061 Hasil *Anodizing*. p.84.
- Riski Akbar Kurniawan, Mochammad Basjir, & Artono Raharjo. (2023). Analisa Pewarna Alami Proses *Anodizing* Terhadap Ketebalan Permukaan Aluminium 1100. *Volume 20*, p.192.
- Safiri. (2021). Analisa Variasi Voltase Dan Waktu Proses *Anodizing* Terhadap *Bending Strength* Dan Ketebalan Lapisan Oksida. Perpustakaan Univeristas Islam Riau, p.1.

- Salman, E. (2023). Analisis Rapat Arus Dan Jarak Anoda – Katoda Pada Proses *Anodizing* Terhadap Laju Korosi Dan Nilai Kekerasan Aluminium Alloy 1100, p.7.
- Santhiarsa, N. (2010). Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Waktu Proses *Anodizing* Dekoratif Pada Aluminium Terhadap Kecerahan Dan Ketebalan Lapisan. *April 2010*, p.76.
- Surdia, T., & Saito, S. (1999). Aluminium dan Paduannya. In PENGETAHUAN BAHAN TEKNIK. PT. Pradnya Paramita. Cetakan Keempat, p. 129.
- Susilawati, dkk. (2021). *Elektroda Tembaga pada Proses Elektrokoagulasi dalam Penjernihan Air Sungai*. CV. Penerbit Qiara Media, p.19.

LAMPIRAN



Tabel 4-2 Hasil pengujian kecerahan dan penyebaran warna dengan kuat arus 10A

NO	Spesimen 10A.1			Spesimen 10A.2			Spesimen 10A.3		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	187	150	0	186	141	0	193	169	0
2	190	153	0	184	144	0	193	165	3
3	186	151	0	188	151	0	186	158	0
4	189	160	0	188	145	4	187	162	0
5	193	153	4	189	154	0	180	156	0
6	191	164	0	192	156	0	192	168	0
7	191	154	1	193	156	3	193	171	0
8	188	158	2	189	153	3	188	160	0
9	190	148	4	189	152	0	192	163	1
10	186	147	8	189	152	0	185	154	1
11	190	150	1	189	147	1	186	158	0
12	188	152	2	186	148	1	177	146	3
13	190	157	2	185	148	0	184	155	2
14	183	160	0	187	154	0	194	171	5
15	186	157	0	188	155	0	181	152	0
16	189	147	0	185	155	0	189	161	2
17	187	149	2	187	157	0	186	162	0
18	186	151	0	185	152	0	193	168	3
19	189	153	3	192	157	1	193	166	0
20	186	156	0	193	163	7	190	156	5
21	173	130	0	181	140	0	189	159	1
22	187	146	6	190	154	4	185	156	0
23	186	153	0	191	154	1	190	160	0
24	185	151	0	192	162	2	184	155	2
25	183	153	0	188	167	0	189	161	2
26	185	152	0	193	164	2	187	157	0
27	190	163	0	194	172	0	193	166	0
28	176	151	7	193	161	1	185	154	1
29	187	166	0	190	157	2	185	155	0
30	189	164	1	188	153	1	187	153	2
31	189	153	5	189	152	1	189	159	1
32	188	154	3	189	159	3	185	151	2
33	189	152	11	189	153	3	188	160	1
34	186	164	4	194	170	0	184	153	1
35	183	159	0	189	164	2	185	157	0
36	184	161	3	189	164	1	187	154	1
37	180	150	0	193	172	1	190	157	0
38	172	143	7	192	160	0	183	148	6

39	191	156	0	185	147	0	182	147	3
40	189	156	6	190	157	0	187	152	0
41	184	145	6	185	147	2	188	159	3
42	179	140	0	187	156	6	185	149	0
43	187	155	8	189	152	0	189	156	1
44	186	149	0	194	169	4	187	157	0
45	186	160	3	181	157	0	182	151	0
46	186	164	0	189	159	1	187	157	1
47	189	161	0	189	175	3	192	159	2
48	188	166	0	189	160	0	176	139	0
49	187	164	0	193	164	2	189	153	0
50	179	145	0	193	159	0	184	148	0
51	183	152	0	189	151	8	185	154	2
52	175	146	0	187	158	4	189	159	1
53	185	153	6	190	157	2	182	151	0
54	179	152	1	192	162	10	187	154	1
55	185	159	10	181	158	0	189	159	0
56	189	177	0	193	163	5	189	155	0
57	174	151	0	182	153	0	188	158	0
58	180	152	11	193	163	3	190	157	0
59	176	156	0	186	158	0	189	154	0
60	189	158	5	189	158	6	187	150	0
61	179	147	4	186	151	0	184	155	0
62	188	157	7	187	151	1	187	158	2
63	186	160	3	193	160	7	185	156	0
64	177	147	0	188	157	4	189	159	1
65	181	155	0	189	163	6	184	150	0
66	180	152	6	168	160	1	187	154	0
67	183	165	0	185	157	0	188	153	1
68	191	169	0	182	159	0	182	146	0
69	189	168	0	191	161	1	187	150	0
70	189	170	5	178	152	0	185	147	2
71	185	149	1	188	150	5	181	152	0
72	187	155	8	189	156	3	189	161	0
73	191	162	8	184	154	0	189	161	2
74	185	154	2	187	157	0	181	150	0
75	178	150	4	192	162	4	184	155	0
76	187	163	5	187	160	0	183	152	0
77	174	151	1	187	158	2	188	158	2
78	183	160	5	186	158	0	180	145	3
79	177	154	0	191	160	8	184	148	0
80	179	157	0	185	154	2	188	150	3
81	178	138	4	182	144	1	188	160	0
82	186	150	2	186	156	0	185	156	0

83	180	148	1	187	163	1	185	159	0
84	188	159	6	185	157	0	181	155	0
85	189	167	4	191	164	0	187	159	0
86	185	162	7	190	169	2	187	158	2
87	189	165	5	190	168	5	184	158	0
88	189	165	7	190	162	3	191	163	2
89	183	159	1	187	157	0	181	152	0
90	186	156	0	189	157	0	188	151	1
91	175	138	6	181	142	2	185	156	2
92	177	142	0	181	140	0	184	155	1
93	176	144	0	189	161	0	186	160	1
94	182	152	2	188	160	0	175	148	0
95	178	151	2	186	158	0	182	156	1
96	175	148	0	188	164	2	182	155	2
97	187	164	6	188	165	1	184	154	0
98	185	161	3	189	156	0	183	156	3
99	175	152	0	184	156	0	187	161	2
100	177	152	0	187	167	9	180	141	1

Tabel 4-3 Hasil pengujian kecerahan dan penyebaran warna dengan kuat arus 6A

NO	Spesimen 6A.1			Spesimen 6A.2			Spesimen 6A.3		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	204	166	3	187	134	22	199	158	4
2	206	175	7	189	141	13	209	172	5
3	208	177	1	186	138	30	199	165	0
4	203	173	1	195	149	38	203	163	3
5	206	174	1	202	162	12	205	167	4
6	206	176	2	209	169	19	206	168	0
7	199	167	0	200	164	6	201	162	0
8	206	167	1	201	168	3	213	176	0
9	207	168	3	200	166	7	205	162	5
10	206	167	2	203	171	10	209	176	3
11	203	164	7	189	136	30	200	164	6
12	199	161	0	192	144	10	200	165	3
13	200	168	0	180	132	34	201	167	0
14	202	169	4	184	135	40	212	175	0
15	197	164	0	210	168	34	200	170	0
16	209	177	4	205	169	13	203	170	0
17	205	173	0	210	175	13	207	160	5
18	206	168	0	208	175	12	203	173	0
19	208	169	4	205	177	8	207	167	0
20	207	168	2	207	176	10	209	170	7
21	201	160	6	192	141	32	196	160	2
22	202	162	5	296	152	29	199	159	1

23	205	164	4	298	157	33	200	157	3
24	204	171	6	192	152	40	209	171	0
25	298	165	0	184	141	49	195	167	6
26	205	168	0	200	160	39	208	169	4
27	204	167	0	207	175	12	204	175	9
28	197	157	0	199	168	0	211	174	7
29	203	164	0	201	168	5	208	167	0
30	198	159	0	207	179	9	201	161	3
31	197	158	1	183	134	32	204	173	5
32	204	165	2	198	157	20	207	173	3
33	208	171	4	204	162	39	203	166	0
34	195	156	0	181	138	46	205	172	0
35	198	167	0	194	154	41	210	178	0
36	200	162	0	202	169	40	202	158	0
37	206	170	0	194	161	8	201	162	5
38	200	158	0	206	175	7	211	185	0
39	204	165	0	202	171	2	207	174	0
40	206	166	8	209	179	3	209	182	7
41	203	170	7	189	137	25	200	164	8
42	201	162	0	192	149	19	204	168	0
43	205	167	4	202	165	33	203	165	0
44	207	170	3	184	145	40	209	172	5
45	201	169	0	194	158	38	207	184	8
46	208	172	0	193	159	25	194	159	5
47	209	171	0	206	177	38	195	167	8
48	208	167	0	211	189	5	193	164	0
49	203	160	3	206	183	5	201	172	0
50	208	170	0	207	180	11	208	181	6
51	206	169	2	193	147	9	203	169	9
52	207	169	0	206	165	21	202	172	0
53	208	169	6	199	168	26	203	173	1
54	205	167	6	199	163	49	203	167	9
55	201	164	0	189	151	28	198	167	0
56	209	173	0	201	168	37	191	158	0
57	208	170	0	216	179	39	199	153	8
58	206	168	0	207	182	37	206	163	6
59	209	171	2	200	175	12	206	176	0
60	208	165	8	207	182	1	202	178	8
61	204	164	4	181	132	30	204	172	8
62	207	169	0	211	170	26	210	185	4
63	205	166	0	215	178	25	203	177	4
64	209	171	0	209	181	20	194	161	8
65	205	167	0	191	156	36	208	185	7
66	206	168	0	193	159	25	202	178	6

67	207	164	0	198	162	36	209	188	1
68	202	164	0	206	186	7	210	196	9
69	209	168	0	196	173	6	208	196	0
70	197	152	0	210	179	36	201	179	9
71	209	170	5	186	143	12	190	149	5
72	209	169	9	213	178	12	207	168	13
73	203	163	3	198	171	4	209	168	2
74	209	171	0	213	190	14	206	178	0
75	209	171	2	214	194	11	198	161	0
76	206	168	0	190	158	15	204	181	3
77	200	161	0	193	166	27	200	175	0
78	208	171	0	208	199	20	208	181	6
79	214	175	0	204	175	35	206	180	0
80	209	168	2	202	175	32	201	174	7
81	206	164	0	200	152	26	201	156	5
82	206	167	0	210	168	6	208	169	4
83	211	168	3	210	181	17	201	165	6
84	211	170	2	203	181	0	197	165	0
85	209	171	2	216	196	15	209	181	9
86	208	170	0	213	193	10	204	167	1
87	208	170	0	205	190	9	209	179	0
88	211	175	0	200	186	15	200	169	3
89	218	183	0	201	179	42	203	171	0
90	204	166	0	199	174	19	196	162	3
91	205	166	3	205	162	24	193	151	5
92	200	160	0	198	166	0	200	206	7
93	209	168	2	209	184	6	215	154	9
94	213	171	1	209	188	1	203	164	0
95	213	171	0	205	183	9	206	168	0
96	206	169	0	201	181	6	204	177	0
97	219	183	0	206	188	28	206	171	5
98	210	170	0	213	190	35	200	155	0
99	204	162	0	191	170	27	197	167	0
100	210	178	0	209	190	24	210	176	6

Tabel 4-4 Hasil pengujian kecerahan dan penyebaran warna dengan kuat arus 2A

NO	Spesimen 2A.1			Spesimen 2A.2			Spesimen 2A.3		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	210	173	4	219	181	0	220	175	0
2	215	182	5	215	172	0	216	176	0
3	211	185	2	221	183	0	214	173	0
4	213	184	5	215	171	4	216	175	5
5	207	179	0	217	179	0	216	180	0
6	218	188	4	217	180	0	221	185	1

7	217	187	0	214	173	7	217	179	0
8	223	187	3	225	185	9	226	186	3
9	221	181	5	228	186	3	224	179	0
10	216	182	0	216	177	0	227	183	0
11	209	172	5	218	177	0	226	181	4
12	210	174	0	213	174	0	225	175	0
13	206	171	4	217	178	0	224	177	1
14	208	177	1	217	183	0	204	176	0
15	212	181	2	216	172	5	221	174	0
16	212	182	0	226	183	6	229	179	0
17	212	176	0	215	179	5	213	171	0
18	215	179	0	225	184	14	234	182	2
19	212	175	0	211	173	0	214	171	0
20	219	183	0	225	189	5	220	172	2
21	209	171	0	220	179	0	225	181	0
22	210	173	4	214	174	1	235	186	0
23	208	171	2	212	171	0	231	185	0
24	207	171	0	214	172	0	221	187	1
25	213	177	5	216	184	1	223	171	0
26	211	175	0	215	170	0	225	184	4
27	216	180	4	213	186	0	227	188	0
28	211	170	0	226	188	3	221	172	0
29	215	176	0	223	182	0	220	173	0
30	218	180	0	230	196	11	221	175	1
31	211	173	0	224	179	0	222	174	0
32	211	173	2	216	172	5	227	178	0
33	219	172	1	216	179	2	212	170	0
34	211	173	2	211	171	0	218	173	0
35	208	173	0	220	170	0	217	176	0
36	210	174	0	228	175	1	214	180	0
37	213	177	3	203	172	6	219	174	0
38	214	176	3	229	178	9	222	176	0
39	217	178	0	219	175	0	226	184	2
40	217	182	0	213	191	19	220	174	0
41	209	176	3	217	171	0	217	181	0
42	213	175	4	223	176	0	226	178	0
43	213	176	0	222	170	6	213	178	0
44	208	170	0	217	171	26	222	183	2
45	210	177	0	213	170	31	226	188	3
46	210	175	0	208	160	16	227	173	3
47	211	170	0	206	168	25	226	176	0
48	218	178	5	216	178	15	228	176	2
49	215	170	2	220	182	0	222	176	0
50	214	175	0	217	183	0	235	180	0

51	214	177	1	230	186	3	219	172	0
52	212	174	3	223	174	19	230	189	1
53	209	172	0	207	154	38	220	179	0
54	209	173	0	220	172	44	215	176	0
55	214	178	0	230	182	38	217	174	0
56	213	177	1	236	183	30	215	171	0
57	212	176	0	217	167	20	221	176	0
58	215	178	0	216	189	0	230	172	0
59	212	172	0	216	185	0	238	186	4
60	219	180	0	213	178	0	224	170	0
61	211	175	3	232	179	16	227	178	0
62	211	173	0	211	160	55	214	188	0
63	211	173	2	219	169	54	224	189	1
64	208	172	0	212	170	49	220	186	0
65	215	178	0	225	171	47	235	186	0
66	212	176	0	223	177	42	214	173	3
67	212	171	1	216	170	0	228	187	1
68	219	179	4	219	179	0	237	189	1
69	214	173	0	235	180	2	224	178	5
70	216	177	0	207	170	0	231	185	3
71	209	171	0	217	157	0	238	179	0
72	215	177	4	222	163	47	228	186	6
73	214	173	3	227	175	30	230	183	7
74	216	176	1	235	187	41	221	186	0
75	217	178	0	226	177	23	217	189	0
76	217	178	0	226	174	10	226	183	0
77	216	175	0	222	179	5	228	187	0
78	214	174	1	222	178	0	232	185	7
79	218	179	0	227	180	0	235	187	1
80	217	175	1	229	177	3	231	183	0
81	215	173	1	220	165	12	215	182	0
82	217	177	2	235	177	44	228	187	0
83	217	175	3	214	160	25	210	183	0
84	211	172	0	243	187	48	219	189	0
85	215	175	0	224	174	39	218	181	2
86	215	176	0	238	182	23	227	188	0
87	218	179	0	226	173	0	216	184	1
88	215	174	0	227	179	0	232	183	2
89	217	178	0	240	173	6	226	174	2
90	215	175	0	233	173	1	221	170	3
91	213	175	2	228	169	33	223	177	4
92	208	170	1	223	164	36	226	188	1
93	215	174	4	228	168	46	218	184	0
94	220	178	0	228	170	47	214	189	0

95	215	173	0	222	163	37	211	184	5
96	216	176	1	232	177	25	210	181	0
97	216	179	0	227	176	23	222	189	0
98	218	178	0	236	174	31	232	188	5
99	224	179	0	235	178	45	225	189	0
100	213	171	1	229	170	44	230	189	0