

SKRIPSI
PENGARUH VARIASI KONSENTRASI PEWARNAAN HASIL *ANODIZING*
TERHADAP STABILITAS WARNA DAN KEKERASAN
ALUMINIUM *CASTING*



Disusun oleh:
Noviana Sari
2010502055

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TIDAR
2025

Skripsi dengan judul **HALAMAN PENGESAHAN**
PEWARNAAN HASIL ANODIZING TERHADAP STABILITAS WARNA DAN
KEKERASAN ALUMINIUM CASTING

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

Nama : Noviana Sari
NPM : 2010502055
Program Studi : S1 Teknik Mesin

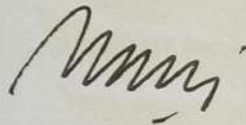
Telah disahkan oleh dewan pembimbing serta diketahui Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar.

Magelang, 12 Juni 2025

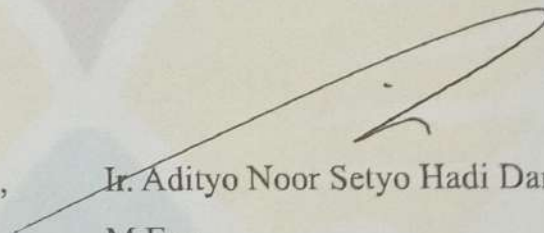
Menyetujui/mengesahkan

Pembimbing I

Pembimbing II



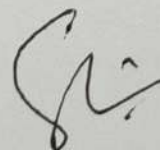
Ir. Nani Mulyaningsih, S.T., M.Eng.,
IPM
NIP. 197404182021212007



Ir. Adityo Noor Setyo Hadi Darmo, S.T.,
M.Eng
NIP. 196212122021211001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin



Ir. Sri Hastuti, S.T., M.T., IPP.
NIP. 198803102019032016

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini, Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Tidar:

Nama : Noviana Sari
NPM : 2010502055
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin dan Industri

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Konsentrasi Pewarnaan Hasil *Anodizing* Terhadap Stabilitas Warna Dan Kekerasan Aluminium *Casting*” merupakan hasil karyasaya sendiri, kecuali untuk kutipan dan ringkasan sumbernya telah saya jelaskan dan tuliskan dalam daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terdapat dari pihak lain yang mengklaim tugas akhir ini merupakan karya mereka, dengan disertai bukti yang memadai, maka saya bersedia menerima pembatalan gelar Sarjana saya beserta segala hak dan kewajiban yang melekat pada gelar itu.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Magelang, 12 Juni 2025

Yang menyatakan,



Noviana Sari

NPM 2010502055

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Skripsi dengan judul : **PENGARUH VARIASI KONSENTRASI PEWARNAAN HASIL ANODIZING TERHADAP STABILITAS WARNA DAN KEKERASAN ALUMINIUM CASTING**

Disusun oleh

Nama : Noviana Sari

NPM : 2010502055

Program Studi : S1 Teknik Mesin

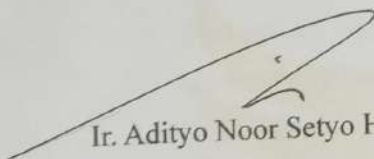
Telah Disahkan Oleh Dewan Penguji

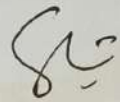
Pada Tanggal 12 Juni 2025

Susunan Dewan Penguji

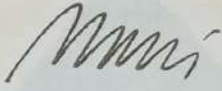
Sekretaris Dewan Penguji,

Anggota Dewan Penguji,


Ir. Adityo Noor Setyo Hadi Darmo, S.T., M.Eng
NIP. 196212122021211001



Ir. Sri Hastuti, S.T., M.T., IPP.
NIP. 198803102019032016

Ketua Dewan Penguji


Ir. Nani Mulyaningsih, S.T., M.Eng., IPM
NIP. 197404182021212007

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik,


Prof. Dr. Ir. Gito Sugiyanto, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
NIP. 198002152002121003

MOTTO PERSEMBAHAN

MOTO

“Kamu mungkin belum sekuat harapanmu, namun kamu tidaklah selemah yang kamu pikirkan”

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan Rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Diri sendiri, terimakasih sudah bertahan dan mampu melewati masa-masa ini. Terimakasih sudah mengusahakan segalanya ditengah kesusahan yang menimpa, selamat akhirnya segala yang kamu perjuangkan tuntas.
2. Bapak dan Ibu saya, Bapak Parno dan Almh ibu Kasri. Terimakasih untuk segala dukungan secara mental untuk anakmu. Terimakasih karna telah bersabar dalam segala prosesku yang rumit ini, banyak hal yang telah dikorbankan sejak aku kecil, alhamdulillah anakmu bisa menggapai keinginannya mendapatkan gelar ini. Terimakasih atas segala doa cinta dan kasih, akhirnya aku menepati janjiku semoga bapak dan ibu bisa bangga dengan ini semua.
3. Untuk kakak saya Susiyanti dan Dewi Puji Lestari, terimakasih sudah mendukung keinginan adikmu, terimakasih atas segala doa dan harapan kalian. Terimakasih kak, *i love you*
4. Dosen pembimbing Ir. Nani Mulyaningsih, S.T., M.Eng., IPM. dan Ir. Adityo Noor Setyo Hadi Darmo, S.T., M.Eng., yang telah membimbing dan memberikan masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan mata kuliah skripsi ini, terimakasih ibu dan bapak atas dukungan secara mental kepada saya sehingga saya mampu melewati ini semua.
5. Dosen penguji, yang telah membimbing dan memberikan masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan mata kuliah skripsi ini.
6. Marvinda Hervinatri, sahabat saya sejak kecil, terimakasih sudah selalu ada disamping penulis, selama proses pengerjaan skripsi ini terimakasih sudah

selalu mengingatkan penulis untuk tetap semangat menyelesaikan mata kuliah skripsi ini. Terimakasih atas kebaikanmu yang tidak mampu aku sebutkan satu-persatu.

7. Almamater saya Universitas Tidar
8. Teman seperjuangan, yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu, yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat sampai di titik ini. Terimakasih atas dukungan dan doanya.
9. Seseorang spesial yang selama penulis mengerjakan skripsi ini selalu ada disamping penulis disaat penulis dalam posisi tidak baik-baik saja. Terimakasih sudah memberikan kekuatan kepadaku dan meyakinkan aku bahwa, aku bisa melewati kesulitan yang ada. Terimakasih atas segala doa, cinta dan kasih sayang yang membuat penulis bisa bertahan hingga saat ini.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas nikmat serta karunia-Nya sehingga saya dapat menyusun skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Konsentrasi Pewarna Hasil *Anodizing* Terhadap Stabilitas Warna Dan Kekerasan Aluminium *Casting*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan gelar program sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Tidar. Dalam pembuatan skripsi tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dorongan dan kerjasama dari semua pihak. Untuk itu dengan kerendahan hati, saya mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Adapun pihak-pihak diantaranya :

1. Prof. Dr. Ir. Gito Sugiyanto, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
2. Ir. Trisma Jaya Saputra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Tidar.
3. Ir. Sri Hastuti, S.T., M.T., IPP., selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin (S1) Universitas Tidar.
4. Ir. Nani Mulyaningsih, S.T., M.Eng., IPM., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan serta petunjuk dan koreksi pada skripsi ini.
5. Ir. Adityo Noor Setyo Hadi Darmo, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan serta petunjuk dan koreksi pada skripsi ini.
6. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Mesin S1 Universitas Tidar yang telah memberikan bantuan maupun masukan terhadap penyusunan skripsi ini.
7. Kedua orang tua saya yang telah memberikan dukungan doa dan moral serta finansial.
8. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu yang sudah membantu saya selama menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kemajuan ilmu pengetahuan di masa mendatang. Akhir kata saya berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi semuanya.

Magelang, 12 Juni 2025

Noviana Sari



ABSTRAK

Anodizing merupakan salah satu metode pelapisan aluminium dengan lapisan oksida melalui proses *elektrolisis* yang dapat meningkatkan kualitas aluminium. Pewarnaan dalam proses *anodizing* dapat membuat sebuah produk memiliki nilai jual yang lebih tinggi, terutama pada dunia otomotif. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui stabilitas warna, kekilapan permukaan dan kekerasan permukaan. Aluminium *casting* seri 6XXX dengan tebal 8mm dipotong dengan ukuran 50 mm x 50 mm. Larutan *anodizing* menggunakan 18% H₂SO₄ dan katoda platina selama 40 menit. Proses pewarnaan menggunakan tinta printer Exxxx dengan variasi konsentrasi, 50 ml, 60 ml, 70 ml. Hasil penelitian menunjukkan stabilitas warna terbaik didapat pada konsentrasi 50 ml penurunan kekilapan 7,5% dengan nilai kekilapan akhir sebesar 50.538 GU, sedangkan pada konsentrasi 70 ml mengalami penurunan terbesar yaitu, 19,5 % dengan nilai kekilapan akhir 13.144 GU, namun memberikan kekerasan permukaan tertinggi sebesar 105,63 VHN. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi pewarna mempengaruhi kualitas lapisan *anodizing*, dengan konsentrasi lebih tinggi meningkatkan kekerasan namun mengurangi kekilapan dan stabilitas warna.

Kata kunci : aluminium *casting*, *anodizing*, stabilitas warna, kekerasan

ABSTRACT

Anodizing is one of the methods for coating aluminum with an oxide layer through an electrolysis process, which can improve the quality of aluminum. The coloring stage in anodizing can significantly increase the commercial value of product, especially in the automotive industry. This study aims to examine the color stability, surface glossiness and surface hardness of 6XXX series. The aluminium samples, with a thickness of 8 mm, were cut into 50 mm x 50 mm pieces. The anodizing process was carried out using an 18% H₂SO₄ solution and a platinum cathode for 40 minutes. The coloring process utilized Exxxx printer ink with concentration variations of 50 ml, 60 ml, 70 ml. The results showed that the best color stability was achieved at a concentration of 50ml, with a gloss reduction of 7,5% and final gloss value of 50.538 GU. In contrast, the 70 ml caused the greatest gloss reduction of 19,5% resulting final gloss value of 13.144 GU, but produced the highest surface hardness at 105.63 VHN, albeit with a significant gloss reduction of 19,5%. These findings indicate that color concentrations significantly affect the anodizing layer's quality, with higher concentrations increasing hardness but reducing gloss and color stability.

Keywords : aluminium casting, anodizing, color stability, hardness

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI	iv
MOTTO PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	9
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Metode Penelitian.....	24
3.4 Variabel Penelitian.....	26
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	26
3.6 Teknik Analisis Data.....	27
3.7 Pelaksanaan Penelitian	27
3.8 Prosedur Penelitian.....	31

3.9 Diagram Alir.....	32
BAB IV PEMBAHASAN.....	33
4.1 Komposisi Kimia Aluminium <i>Casting</i>	33
4.2 Stabilitas Warna.....	34
4.3 Pengujian Kekerasan.....	42
4.4 Pengamatan <i>Visual</i>	46
BAB V PENUTUP.....	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN.....	54



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema peralatan <i>anodizing</i>	11
Gambar 2. 2 Pembentukan oksida saat proses <i>anodizing</i>	12
Gambar 2. 3 Indentor <i>micro vickers</i> (ASTM E384).....	17
Gambar 3. 1 Bak plastik.....	18
Gambar 3. 2 <i>Power supply</i>	18
Gambar 3. 3 Gelas ukur	19
Gambar 3. 4 <i>Stopwatch</i>	19
Gambar 3. 5 Gergaji besi	19
Gambar 3. 6 Jangka sorong.....	20
Gambar 3. 7 Amplas.....	20
Gambar 3. 8 Sarung tangan karet.....	20
Gambar 3. 9 Tang.....	20
Gambar 3. 10 Alat pemanas	21
Gambar 3. 11 Termometer suhu	21
Gambar 3. 12 Aluminium <i>casting</i>	21
Gambar 3. 13 <i>Asam sulfat</i>	22
Gambar 3. 14 <i>Caustic soda</i>	22
Gambar 3. 15 <i>Nitric acid</i>	22
Gambar 3. 16 <i>Aquades</i>	23
Gambar 3. 17 Tinta printer.....	23
Gambar 3. 18 <i>Optical Electron Spectroscopy (OES)</i>	23
Gambar 3. 19 <i>Gloss Meter GM-06</i>	24
Gambar 3. 20 Alat uji mikro <i>vickers</i>	24
Gambar 3. 21 Proses pengamplasan dan pemotongan spesimen	27
Gambar 3. 22 Proses <i>cleaning</i> dan <i>rinsing</i>	28
Gambar 3. 23 Larutan soda api	28
Gambar 3. 24 Larutan <i>nitric acid</i>	29
Gambar 3. 25 Proses <i>anodizing</i>	29
Gambar 3. 26 Proses pewarnaan	30

Gambar 3. 27 Proses <i>sealing</i>	30
Gambar 3.28 Diagram alir.....	32
Gambar 4. 1 Spesimen uji komposisi.....	33
Gambar 4. 2 Pemanasan cahaya hari pertama.....	36
Gambar 4. 3 Pemanasan cahaya hari ketujuh.....	37
Gambar 4. 4 Hubungan antara pengaruh proses pemaparan udara terbuka terhadap nilai kekilapan warna	41
Gambar 4. 5 Hubungan antara variasi konsentrasi pewarna terhadap kekerasan	45
Gambar 4. 6 Spesimen hasil pewarnaan <i>anodizing</i>	47



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Kandungan komposisi aluminium <i>casting</i>	33
Tabel 4. 2 Hasil uji kekilapan sebelum proses pemaparan pada ruang terbuka	34
Tabel 4. 3 Uji kekilapan setelah proses pemaparan pada ruang terbuka.....	37
Tabel 4. 4 Presentase penurunan kekilapan spesimen.....	40
Tabel 4. 5 Hasil pengujian kekerasan permukaan.....	43



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri otomotif di Indonesia terus mengalami pertumbuhan, yang didorong oleh meningkatnya kebutuhan konsumen serta daya beli masyarakat yang meningkat. Peningkatan produksi kendaraan, terutama sepeda motor mendorong usaha menengah untuk memproduksi aksesoris serta *sparepart* sepeda motor terutama yang berbahan aluminium. Proses produksi *sparepart* pada industri kecil menengah yang hanya menggunakan peralatan atau mesin sederhana dengan harga yang terjangkau di masyarakat. Selain itu, mereka juga mempercantik tampilan dengan menambahkan warna pada permukaannya.

Anodizing adalah teknik perlindungan yang sering digunakan untuk melindungi aluminium dari korosi yang dapat merusak sifat fisik maupun mekaniknya. Proses ini melibatkan pembentukan lapisan oksida yang kuat dan tahan terhadap korosi pada permukaan aluminium. Selain melindungi dari korosi, *anodizing* juga dapat meningkatkan kekuatan permukaan aluminium. Aluminium sering digunakan dalam proses fabrikasi, karena sifatnya yang lunak dan mudah dibentuk dibandingkan dengan logam lainnya. Proses *anodizing* dilakukan dengan merendam aluminium dalam larutan elektrolit yang dialiri oleh arus listrik dalam durasi tertentu. Setelah proses *anodizing* selesai material aluminium dicelupkan pada pewarna untuk memperindah tampilannya. Proses *anodizing* menghasilkan pembentukan lapisan oksida yang kuat di permukaan aluminium, meningkatkan daya tahan aluminium terhadap korosi dan meningkatkan kekuatan permukaannya. Dengan demikian, *anodizing* tidak hanya meningkatkan tampilan dekoratif aluminium tetapi juga meningkatkan ketahanannya terhadap lingkungan yang merusak.

Tinta printer dapat dimanfaatkan sebagai zat warna anorganik pada proses *anodizing* aluminium (Buwono et al., 2018). Pada penelitian ini penulis menggunakan variasi konsentrasi larutan H_2SO_4 sebesar 15% dan 20% untuk proses *anodizing* serta variasi waktu perendaman *anodizing* selama 30,45,60,dan 90 menit. Pewarna yang digunakan adalah tinta printer Exxxx berwarna biru pada temperatur $50^{\circ}C$ dengan

waktu pencelupan 5 menit. Pada penelitian ini hanya dilakukan pengujian stabilitas warna dengan metode *visual*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Aditya et al., 2017) menggunakan variasi temperatur larutan *anodizing*, jarak katoda, dan pewarnaan menggunakan tinta printer merah, hitam, dan biru pada suhu 55-60°C mendapatkan hasil terbaik penyerapan warna pada variasi temperatur larutan *anodizing* 20°C. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperature larutan *anodizing* dan semakin pendek jarak antar katoda dan anoda mampu membuka pori-pori aluminium *oxide* secara maksimal sehingga zat pewarna yang masuk kedalam material lebih pekat dan merata.

Konsentrasi larutan warna terbukti memiliki efek yang signifikan terhadap hasil dekoratif aluminium hasil *anodizing* menggunakan pewarna organik. Penelitian yang dilakukan oleh (Muslim et al. 2018) memberikan hasil baru tentang pengaruh variasi konsentrasi larutan pewarna terhadap nilai keausan aluminium. Semakin tinggi konsentrasi larutan pewarna maka semakin gelap warna yang dihasilkan dan semakin tinggi konsentrasi larutan pewarna yang digunakan mampu meningkatkan nilai ketahanan ausnya.

Berdasarkan dari penelitian yang sudah dijelaskan diatas, minimnya informasi tentang pengaruh konsentrasi zat pewarna tinta printer yang dalam proses *dye-anodizing* maka penelitian kali ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai pengaruh konsentrasi pewarna tinta printer terhadap stabilitas warna dan juga bisa menjadi alternatif jenis pewarna pada industri UMKM *anodizing* untuk meningkatkan kualitas tampilan produk serta nilai kekerasannya, maka penelitian ini akan membahas tentang “ANALISIS PENGARUH VARIASI KONSENTRASI PEWARNAAN HASIL *ANODIZING* TERHADAP STABILITAS WARNA DAN KEKERASAN ALUMINIUM *CASTING*”

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh konsentrasi pewarna pada proses *anodizing* terhadap stabilitas warna dan sifat mekanik aluminium *casting* pada konsentrasi 50ml, 60ml, 70ml dengan waktu pencelupan 10 menit.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil untuk penulisan laporan ini adalah:

1. Material spesimen digunakan aluminium *casting*.
2. Parameter konsentrasi campuran larutan elektrolit H₂SO₄ (Asam Sulfat) yang digunakan untuk proses *anodizing* 18% H₂SO₄ dan 82% *aquades* dengan durasi perendaman 40 menit.
3. Kuat arus sebesar 3 A dengan Tegangan 12 V.
4. Katoda platina dan anoda aluminium *casting*.
5. Pewarna yang digunakan yaitu tinta printer merk Exxxn warna magenta.
6. Variasi larutan warna 50 ml, 60 ml, dan 70 ml dengan pelarut *aquades* , sebagai berikut :
 - a. 50 ml pewarna tinta printer : 950 ml *aquades*
 - b. 60 ml pewarna tinta printer : 940 ml *aquades*
 - c. 70 ml pewarna tinta printer : 930 ml *aquades*
7. Suhu selama proses pewarnaan *anodizing* adalah 60°C
8. Proses pewarnaan *anodizing* selama 10 menit.
9. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia , uji kekilapan warna, dan uji kekerasan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian proses pewarnaan *anodizing* bertujuan untuk mengetahui antara lain:

1. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi pewarna terhadap stabilitas warna aluminium *casting* seri 6XXX.
2. Menganalisis pengaruh *anodizing* terhadap peningkatan nilai kekerasan lapisan luar aluminium *casting* seri 6XXX.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dari proses *anodizing* adalah:

1. Mendapatkan pengetahuan dan pengalaman mengenai perbandingan kestabilan warna pada konsentrasi zat warna dalam aluminium *casting* seri 6XXX.

2. Dapat dijadikan referensi dalam pengembangan penggunaan zat pewarna yaitu tinta printer Exxxx dalam proses *anodizing*.
3. Dapat dijadikan alternatif metode pewarnaan pada proses *anodizing* di masyarakat yang bergerak pada bidang *anodizing*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Peningkatan industri aluminium dari tahun ke tahun terjadi karena permintaan pasar yang terus meningkat baik dalam pemanfaatannya di kehidupan sehari-hari maupun di sektor skala industri. Sifat-sifat khusus aluminium, seperti ketahanannya terhadap korosi karena pembentukan lapisan tipis oksida (Al_2O_3) saat terpapar udara bebas, menjadi salah satu alasan utama terjadinya peningkatan penggunaan material ini. Selain itu, sifat amfoteriknya yang memungkinkan aluminium bereaksi dengan baik dalam larutan asam maupun basa juga membuatnya menjadi bahan yang sangat berguna dalam berbagai aplikasi industri. Aluminium adalah logam ringan (Hartomo dan Tomijiro, 1992) yang memiliki ketahanan korosi serta konduktivitas listrik yang baik. Selain itu, aluminium juga memiliki sifat mekanis yang baik dan kemampuan pengelasan yang cukup tinggi (Aziz et al., 2017). Aluminium umumnya digunakan dalam bentuk paduan dengan logam lain untuk berbagai keperluan, termasuk peralatan rumah tangga, industri, konstruksi, dan lain-lain. Penemuan aluminium terjadi pada tahun 1825 oleh Hans Christian Oersted, namun pengakuannya secara pasti baru dilakukan oleh F. Wohler pada tahun 1827. Aluminium tidak ditemukan dalam bentuk bebas, bijih utamanya adalah bauksit. Penggunaan aluminium mencakup pembuatan kabel, kerangka pesawat terbang, kendaraan bermotor, serta berbagai produk rumah tangga. Senyawanya juga memiliki beragam aplikasi, seperti dalam obat-obatan, penjernih air, fotografi, dan digunakan sebagai bahan dalam cat, pewarna, ampelas, dan pembuatan permata sintetis.

Aluminium salah satu bahan logam yang secara luas digunakan dan terus dikembangkan di berbagai bidang, terutama industri. Untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanisnya, beberapa perlakuan khusus diterapkan pada aluminium. Salah satu metode yang digunakan untuk pengembangan aluminium adalah proses *anodizing*. *Anodizing* merupakan suatu proses perlakuan permukaan yang bertujuan untuk meningkatkan ketebalan lapisan oksida alami pada logam aluminium. Proses ini melibatkan elektrolisis di mana aluminium yang akan diolah ditempatkan sebagai

anoda. Selama proses *anodizing*, lapisan oksida terbentuk pada permukaan aluminium sebagai hasil dari reaksi elektrokimia, sementara gas hidrogen dilepaskan pada katoda. Tujuan dari *anodizing* aluminium adalah untuk menghasilkan lapisan oksida yang tidak hanya memberikan perlindungan tetapi juga aspek dekoratif pada aluminium tersebut. Meskipun lapisan oksida ini merupakan bagian dari aluminium yang dilapisi, namun memiliki struktur berpori yang memungkinkan untuk proses pewarnaan. Dengan demikian, proses *anodizing* dapat mengubah aluminium menjadi lebih menarik secara visual dan meningkatkan ketahanannya terhadap korosi. Aluminium merupakan material logam yang sangat cocok untuk proses *anodizing*.

Menurut (Andrianto et al., 2016), korosi pada aluminium sering kali disebabkan oleh adanya unsur lain dalam bahan tersebut. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal ini, proses kimia atau *anodic oxidation (anodizing)* digunakan untuk membentuk lapisan oksida yang lebih tebal sebagai lapisan pelindung. Proses *anodizing* merupakan pembentukan lapisan oksida pada logam, terutama aluminium, dengan mereaksikan logam tersebut dengan oksigen yang diambil dari larutan elektrolit sebagai media, sehingga terbentuklah lapisan oksida. Penelitian ini terdiri dari dua tahap utama, yaitu proses *anodizing* dan pewarnaan logam. Pada tahap *anodizing*, pori-pori logam aluminium terbuka dan membentuk lapisan aluminium oksida, sedangkan pada tahap pewarnaan, zat warna memasuki pori-pori aluminium untuk mengisi permukaan yang berpori tersebut. Dalam penelitian ini, dua percobaan dilakukan pada tahap *anodizing*: percobaan pertama menggunakan waktu *anodizing* yang berbeda (5, 10, 15, 20, 25 menit) dengan arus tetap 1 ampere, sedangkan percobaan kedua menggunakan waktu *anodizing* tetap 10 menit dengan variasi arus (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 Ampere). Semakin lama waktu *anodizing* dan semakin besar arusnya, maka semakin besar pula massa aluminium yang terdegradasi. Warna yang dihasilkan pun menjadi lebih pekat. Namun, arus yang besar dapat mengakibatkan ketidakrataan dalam hasil pewarnaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap kualitas pewarnaan adalah waktu *anodizing* untuk mendapatkan hasil yang merata.

Aluminium sering digunakan dalam pembuatan komponen otomotif karena keunggulannya yang ringan dan mudah diolah. Namun, aluminium juga memiliki

kelemahan, seperti mudah terdeformasi dan memiliki kekerasan serta ketahanan aus yang rendah, sehingga kurang sesuai untuk aplikasi yang memerlukan tahan gesek dengan komponen lainnya (Febriyanti, 2011). Oleh karena itu, untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus aluminium, salah satu metode yang digunakan adalah proses *anodizing*. Dalam penelitian ini, proses *anodisasi* keras dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat 15% yang dicampur dengan konsentrasi asam oksalat yang bervariasi, serta dengan pengaturan temperatur dan waktu *anodisasi* yang berbeda-beda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi asam oksalat dapat meningkatkan ketebalan dan kekerasan lapisan hasil proses anodisasi keras hingga mencapai titik optimal. Namun, kenaikan temperatur *anodisasi* justru menyebabkan penurunan ketebalan dan kekerasan lapisan *anodis*. Selain itu, peningkatan waktu *anodisasi* juga menyebabkan peningkatan ketebalan lapisan *anodis* namun menurunkan kekerasannya. Hasil terbaik yang dicapai adalah ketebalan lapisan *anodis* sebesar 89,6 μm pada suhu 9°C, konsentrasi asam oksalat 2%, dan waktu *anodisasi* selama 60 menit. Sedangkan kekerasan lapisan anodis tertinggi sebesar 515 HV dicapai pada suhu 5°C, konsentrasi asam oksalat 1%, dan waktu anodisasi selama 30 menit.

Penelitian tentang pewarnaan pada logam aluminium hasil *anodizing* dengan menggunakan tinta printer komersil menggunakan variasi konsentrasi larutan H_2SO_4 sebesar 15% dan 20% untuk proses *anodizing* serta variasi waktu perendaman *anodizing* selama 30, 45, 60, dan 90 menit. Hasil penelitian ini mendapatkan hasil terbaik kelekatan pewarna dan stabilitas warna aluminium pada proses perendaman 45 menit (Buwono et al., 2018).

Penelitian pengaruh rapat arus pada proses *anodizing coloring* aluminium dengan pewarna printer dengan menggunakan rapat arus 0,03A/m² dan larutan H_2SO_4 sebesar 15% serta proses *anodizing* dilakukan pada suhu 27°C. Pada proses pewarnaan suhu larutan perwarna yaitu 50°C dengan durasi pencelupan 5 menit. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa kualitas warna pada material yang dihasilkan dipengaruhi oleh rapat arus dan jenis bahan pewarna yang digunakan. Kenaikan rapat arus dapat memberikan peningkatan kualitas warna (Yudiyanto et al., 2020).

Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis konduktor dan pembersihan elektrolisis terhadap kualitas warna dan konduktifitas permukaan aluminium, pada proses *anodizing coloring* aluminium dengan pewarna printer dan menggunakan material aluminium tipe AA1100. Penelitian ini menggunakan kawat konduktor tembaga dan aluminium serta rapat arus $0,01A/m^2$. Larutan yang digunakan adalah larutan sebesar 15% serta proses *anodizing* dilakukan pada suhu $27^{\circ}C$. Pada proses pewarnaan suhu larutan perwarna yaitu $50^{\circ}C$ dengan durasi pencelupan 5 menit. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa proses pewarnaan dapat dilakukan dengan pembersihan elektrolisis maupun pembersihan elektrolisis (Amrullah et al., 2020). Proses *pre-treatment* material sebelum *anodizing* adalah hal yang penting untuk mendapatkan hasil terbaik dalam pelapisan serta distribusi pewarna (Arrahman, 2025).

Pewarnaan merupakan salah satu hal penting yang dapat menjadikan nilai jual suatu barang menjadi meningkat, sehingga perlunya sebuah produk memiliki stabilitas warna yang baik. Uji kekilapan pada material hasil *anodizing* dapat dijadikan salah satu cara untuk mengetahui stabilitas warna (Almuharif et al., 2022). Pada penelitian ini mendapatkan hasil bahwa lamanya waktu *anodizing* dapat mempengaruhi kekilapan pada aluminium. Pada durasi 10 menit menghasilkan nilai kekilapan yang tertinggi sebesar 87,63 GU dan nilai kekilapan terendah 78,57 GU diperoleh pada waktu durasi *anodizing* selama 30 menit. Perubahan warna adalah masalah yang seringkali terjadi pada sebuah produk yang digunakan untuk ekterior (Sihombing et al., 2013). Kombinasi antara kelembaban dan paparan sinar UV memberikan kontribusi pada perubahan warna produk selama dipaparkan terhadap cuaca, salah satu contoh dari proses degradasi warna adalah perubahan warna produk menjadi lebih kusam setelah melalui proses pemaparan pada ruang terbuka.

Dalam melakukan proses *anodizing*, hasil dari pewarnaan proses ini dipengaruhi beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses *anodizing*, seperti suhu, kerapatan arus, jarak, temperatur, dan waktu proses, diperlukan pengendalian yang tepat untuk menghasilkan produk yang diinginkan. Dengan demikian, penelitian mengenai pengaruh variasi konsentrasi dan waktu perendaman pewarnaan hasil *anodizing* terhadap stabilitas warna dan kekerasan aluminium perlu

dilakukan. Waktu perendaman material diyakini dapat memengaruhi ketebalan dan kekerasan lapisan oksida dalam proses *anodizing*, karena faktor-faktor ini sangat berpengaruh terhadap kualitas akhir produk yang dihasilkan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Definisi *Anodizing*

Anodizing merupakan elektrokimia yang digunakan untuk membentuk atau meningkatkan ketebalan lapisan protektif alami pada logam. Proses ini menghasilkan lapisan oksida berpori yang memungkinkan untuk melakukan proses tambahan seperti pewarnaan. Proses elektrokimia yang terjadi pada bahan aluminium dikonversi menjadi aluminium oksida (Al_2O_3) diatas permukaan material yang akan dilapisi (Jeff Pernick, International Hardcoat, Inc). Proses elektrolisis terjadi melalui reaksi kimia saat arus listrik melewati material. Komponen utama dalam proses elektrolisis adalah elektroda dan elektrolit. Selama proses oksidasi pada permukaan aluminium, aluminium diubah menjadi oksida aluminium. Reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut: aluminium bereaksi dengan asam sulfat pekat menghasilkan aluminium oksida, air, dan gas sulfur dioksida. Dalam reaksi ini, asam sulfat bertindak sebagai oksidator. Ketebalan oksida yang terbentuk biasanya sekitar dua kali dari jumlah aluminium yang bereaksi. Pada proses ini, katoda berperan sebagai kutub negatif yang berfungsi sebagai penghantar benda kerja, sedangkan anoda adalah kutub positif yang merupakan benda kerja itu sendiri.

Karakteristik dalam lapisan *anodizing* menghasilkan lapisan tipis oksida yang memberikan keunggulan pada logam dasarnya. Keunggulan tersebut meliputi:

1. Peningkatan nilai kekerasan material
2. Transparan, setelah proses *anodizing* dapat dilakukan pewarnaan untuk meningkatkan nilai dekoratif material.
3. Lapisan yang diciptakan tidak mudah mengelupas, sehingga dapat memperlambat laju korosi material hasil *anodizing*.

Ketiga hal tersebut merupakan keunggulan dari proses pembentukan lapisan oksida dari proses *anodizing*. Menurut (Salman et al., 2023) proses anodisasi memiliki beberapa tujuan, di antaranya:

1. Meningkatkan ketahanan korosi

Proses anodisasi menghasilkan lapisan oksida pada permukaan logam yang lebih tahan terhadap serangan korosi, baik di lingkungan air garam maupun atmosfer. Lapisan oksida ini bertindak sebagai penghalang yang melindungi logam di bawahnya dari kondisi lingkungan yang korosif.

2. Meningkatkan sifat *adhesive*

Lapisan tipis oksida yang dihasilkan dari anodisasi dengan menggunakan asam fosfat dan kromat dapat meningkatkan kekuatan ikatan dan ketangguhan, yang sangat penting dalam industri penerbangan.

3. Meningkatkan ketahanan aus/durabilitas

Proses *hard anodizing* dapat menghasilkan lapisan oksida dengan ketebalan 25-100 mikron. Lapisan ini, dengan kekerasan inheren aluminium oksida yang tinggi, cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan abrasi. Lapisan oksida (Al_2O_3) ini memiliki kekerasan tinggi, hampir setara dengan safir, dan hanya lebih rendah dari intan.

4. Isolator listrik:

Lapisan oksida yang terbentuk memiliki resistivitas tinggi, terutama jika pori-porinya tertutup, sehingga berfungsi sebagai isolator listrik yang baik.

5. Mendukung proses plating:

Pori-pori dari lapisan anodik oksida dapat mendukung proses elektroplating. Biasanya, asam fosfat digunakan sebagai elektrolit dalam proses ini

6. Aplikasi dekoratif/tampilan:

Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan logam memberikan tampilan yang mengkilap. Pada aluminium, lapisan oksida alami sangat diinginkan. Selain itu, lapisan oksida dapat diwarnai dengan metode lain. Pewarnaan organik akan diserap oleh pori-pori lapisan untuk menghasilkan warna tertentu, dengan pigmen yang mengendap di dalam pori-pori memberikan warna yang stabil.

7. Ketahanan panas:

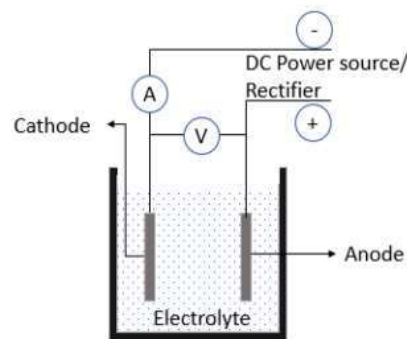
Aluminium oksida memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi. Ketahanan panas dari komponen yang dianodisasi hanya terbatas pada titik lebur aluminium itu sendiri atau kekuatan mekanik pada suhu tinggi.

8. Keamanan untuk aplikasi medis dan makanan:

Aluminium yang dianodisasi secara umum dianggap aman untuk aplikasi medis serta untuk makanan dan minuman.

2.2.2 Proses *Anodizing*

Dalam proses *Anodizing*, larutan elektrolit asam sulfat digunakan sebagai penghubung antara katoda dan anoda. Aluminium dipasang pada kutub positif (anoda), menyebabkan permukaannya mengalami oksidasi dan membentuk lapisan oksida aluminium. Lapisan ini tidak hanya berfungsi sebagai perlindungan tetapi juga memberikan tampilan dekoratif pada material. Proses ini tidak terbatas hanya pada aluminium; logam lain seperti magnesium, tembaga, cadmium, perak, titanium, dan sebagainya juga dapat mengalami proses serupa. Pada proses *anodizing* juga dapat dilanjutkan dengan proses pewarnaan untuk memperindah nilai dekoratif material.



Gambar 2. 1 Skema peralatan *anodizing*

Aluminium diberi muatan positif pada catu daya searah (DC), menjadikannya anoda dalam proses tersebut. Kutub negatif dapat menggunakan elektroda lain seperti aluminium, baja, timbal, karbon, atau jenis lainnya. Pada anoda, terjadi reaksi oksidasi yang menghasilkan pelepasan ion aluminium ke dalam larutan, membentuk rongga-rongga atau pori-pori pada permukaan aluminium. Pori-pori yang terbentuk kemudian

diisi dengan pewarna dan disegel melalui proses sealing. Pada katoda atau elektroda tandem, terjadi proses reduksi. Proses ini tidak menyebabkan pelarutan elektroda tandem ke dalam larutan, dan juga tidak menghasilkan pembentukan pori-pori pada permukaan logam. Pada proses pewarnaan *anodizing* bertujuan untuk meningkatkan kualitas pada aluminium yaitu:

1. Stabilitas Warna

Warna yang diterapkan pada lapisan hasil *anodizing* memiliki hasil yang lebih tahan terhadap sinar ultraviolet, sehingga tidak rentan terhadap pemudaran.

2. Ketangguhan

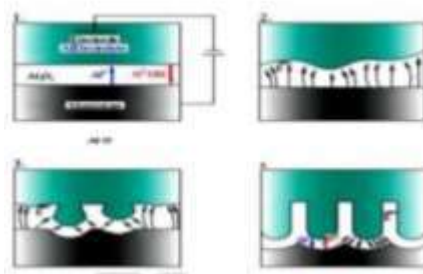
Produk yang telah mengalami proses *anodisasi* memiliki umur pakai yang lebih panjang dan ketangguhan material meningkat. Hal ini disebabkan oleh sifat lapisan yang melekat kuat pada substrat logam dasarnya.

3. Tampilan visual

Proses *anodizing* dapat menciptakan warna kilap yang sangat menarik dan menarik perhatian. Berbeda dengan metode perlakuan permukaan lainnya, *anodizing* memungkinkan untuk mempertahankan serta meningkatkan penampilan visual logam dasarnya.

Proses *anodizing* pembentukan lapisan oksida sangat berpengaruh untuk hasil yang berkualitas. Berikut ini adalah tahapan pembentukan oksida yang bagus:

1. Pembentukan awal barrier layer
2. Pembentukan awal pori-pori
3. Pembentukan pori-pori dan bertambah
4. Pembentukan pori-pori stabil



Gambar 2. 2 Pembentukan oksida saat proses *anodizing*

2.2.3. Proses Pewarnaan

Anodized coloring merupakan teknik yang memungkinkan pengendalian ketebalan, bentuk, dan ukuran pori-pori pada lapisan aluminium oksida yang terbentuk di permukaan logam. Teknik ini telah menjadi populer sejak diperkenalkan secara komersial pada tahun 1923. Lapisan oksida yang dihasilkan memiliki beberapa manfaat, termasuk ketahanan terhadap korosi, peningkatan kekerasan, dan keindahan estetika. Proses pewarnaan bertujuan untuk memberikan warna pada pori-pori lapisan oksida yang terbentuk setelah oksidasi anodik, sehingga menghasilkan warna yang cerah dan pekat pada material, serta menjadi ciri khas sebuah produk hasil *anodizing*. Proses anodisasi warna dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk jenis pembersihan yang digunakan, pengadukan larutan warna, temperatur, keberadaan pengotor, jumlah langkah dalam proses, dan tingkat aerasi udara. Pembersihan secara kimiawi lebih sering digunakan karena kemampuannya untuk menangani variasi dimensi dan tingkat kekotoran pada permukaan aluminium, dengan hasil pewarnaan yang memuaskan.

Larutan yang digunakan sebagai pewarna dalam proses anodisasi dapat berasal dari larutan garam logam tertentu, zat warna organik, maupun zat warna anorganik.

a. Zat Warna Organik:

Setelah aluminium menjalani proses anodisasi dan dibilas dengan air bersih, lapisan oksida pada permukaannya dapat diberi warna dengan cara dicelupkan ke dalam larutan organik pada suhu sekitar 65°C. Bahan pewarna yang biasa digunakan sebagai zat warna organik yaitu kunyit, pandan, kulit buah naga dan lain-lain.

b. Zat Warna Anorganik:

Beberapa zat anorganik juga dapat diserap ke dalam lapisan aluminium. Proses penyerapan ini terdiri dari dua tahap: pertama, zat organik diserap ke dalam pori-pori lapisan oksida, dan kedua, zat organik tersebut diendapkan dalam pori-pori dengan larutan pengendapnya. Tersedia berbagai jenis pewarna anorganik diantaranya tinta printer, pewarna bubuk, wantex, *dye anodize* dan lain sebagainya.

c. Pengendapan Logam:

Mirip dengan pewarnaan menggunakan zat organik, garam logam juga dapat diserap ke dalam pori-pori lapisan oksida. Logam dari garam-garam tersebut

diendapkan secara elektrolitik. Proses ini terdiri dari dua tahap, dimana tahap kedua melibatkan elektrolisis.

Pewarnaan melalui proses anodisasi menggunakan tinta printer warna biru telah terbukti menghasilkan warna yang memuaskan (Puspito Buwono et al., 2019). Namun, belum ada laporan mengenai kemampuan tinta printer warna lain, seperti warna magenta, sebagai alternatif pewarnaan yang dapat diandalkan pada proses anodisasi. Oleh karena itu, penelitian diperlukan untuk mengeksplorasi kemungkinan penggunaan warna tinta selain biru. Penelitian ini juga akan memperdalam pemahaman tentang perilaku pewarnaan dengan mempertimbangkan variasi dalam konsentrasi larutan warna, suhu pewarnaan serta waktu perendaman pada proses pewarnaan yang digunakan.

2.2.4 Proses Sealing

Proses sealing bertujuan untuk menutup pori-pori yang masih terbuka pada lapisan oksida yang dihasilkan dari proses *anodisasi*. Lapisan yang telah ditutup melalui proses *sealing* membantu untuk mencegah pewarna keluar dari pori-pori lapisan oksida sehingga tidak mengalami pemudaran. Dalam proses *sealing* menggunakan larutan akudes sebanyak 1 liter.

2.2.5 Velg

Wheel rim, yang juga dikenal sebagai *Velg*, adalah salah satu komponen krusial pada sepeda motor roda dua yang berfungsi untuk menanggung beban dan tekanan yang dihasilkan oleh kondisi jalan. *Velg* adalah bagian inti pada komponen roda sepeda motor yang mengalami pembebanan dinamis secara berulang dan memiliki beban kejutan pada saat digunakan (Nugroho et al. 2016). *Wheel rim* merupakan lingkaran logam yang dirancang untuk menopang dan menjaga ban yang telah dipasang pada kendaraan seperti sepeda motor. Sebagai analogi, pada roda sepeda, *wheel rim* adalah lingkaran luar yang besar yang melekat pada ujung luar dari jari-jari roda yang memegang ban dan tabung.

Velg motor memiliki beberapa fungsi utama:

1. Menopang Ban: Fungsi utama *velg* adalah sebagai tempat ban dipasang. *Velg* dirancang untuk memberikan dukungan yang kuat dan stabil terhadap ban, sehingga roda motor dapat berputar dengan lancar.
2. Mendistribusikan Beban: *Velg* mendistribusikan beban dari motor ke permukaan jalan dengan merata, membantu menjaga stabilitas dan keseimbangan kendaraan.
3. Pengaruh Estetika: *Velg* juga memainkan peran penting dalam estetika motor. Desain dan finishing *velg* dapat memberikan penampilan yang menarik dan memperindah penampilan keseluruhan kendaraan.
4. Peningkatan Performa: *Velg* yang ringan dan kokoh dapat membantu mengurangi berat total kendaraan dan meningkatkan responsivitas serta kelincuhan saat berkendara.

Dengan demikian, *velg* motor bukan hanya komponen fungsional, tetapi juga memiliki dampak signifikan pada kinerja dan penampilan kendaraan.

2.2.6 Uji Komposisi

Uji komposisi adalah proses analisis untuk menentukan unsur-unsur dan senyawa yang ada dalam aluminium atau paduan aluminium. Uji ini penting untuk memastikan kualitas, sifat mekanik, dan kesesuaian aluminium dengan aplikasi yang dimaksud. Metode yang digunakan pada uji komposisi yaitu Spektroskopi Emisi Optik Plasma (ICP-OES) yang menggunakan plasma untuk mengionisasi sampel, kemudian mengukur panjang gelombang cahaya yang dipancarkan oleh ion untuk mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi elemen. Manfaat dari pengujian komposisi diantaranya:

1. Penelitian dan Pengembangan

Mengembangkan paduan aluminium baru dengan sifat yang ditingkatkan, seperti kekuatan, ketahanan korosi, atau konduktivitas termal.

2. Keandalan dan Performa

Memastikan aluminium yang digunakan memiliki karakteristik yang tepat untuk aplikasi yang dimaksud, seperti dalam industri otomotif, kedirgantaraan, dan konstruksi.

Dengan melakukan uji komposisi secara teratur, dapat memastikan bahwa material tersebut memiliki kualitas dan karakteristik yang diinginkan, mendukung keamanan dan efisiensi dalam penggunaannya.

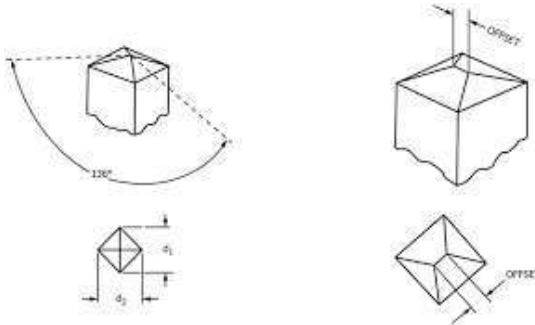
2.2.7 Uji Stabilitas Warna

Uji stabilitas warna merupakan metode yang digunakan untuk menilai ketahanan warna suatu bahan atau produk terhadap berbagai faktor yang dapat menyebabkan perubahan warna, seperti cahaya, suhu, kelembaban, serta kontak dengan bahan kimia tertentu. Pengujian ini juga sebagai bahan evaluasi performa warna material terhadap paparan faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan warna untuk menentukan durabilitas warna tersebut selama penggunaan serta menilai kualitas dari pewarna yang digunakan. Pemaparan spesimen dibawah sinar matahari dalam jangka waktu tertentu menjadi salah satu metode yang sering digunakan dalam pengujian stabilitas warna. Setelah pemaparan spesimen dibawah sinar matahari dalam waktu tertentu bisa dievaluasi menggunakan alat maupun tanpa alat bantu. Uji kekilapan warna menggunakan *glossmeter* bisa dijadikan salah satu alat bantu untuk mengetahui perbedaan yang terjadi selama proses pemaparan spesimen dibawah sinar matahari.

2.2.8 Uji Kekerasan

Kekerasan pada sebuah bahan menandakan kemampuan pengendalian deformasi plastis. Percobaan uji kekerasan ini dilakukan guna mendapatkan pengetahuan mengenai pengaruh tahap *anodizing* terhadap aluminium sebelum serta setelah dilakukannya proses *anodizing*. Uji kekerasan memiliki beberapa metode yang salah satunya adalah metode penekan (*indentation hardness*). Percobaan *vickers* termasuk dalam *indentation hardness* karena memakai pemecah piramida intan yang dibawahnya berupa bujur sangkar. Nilai kekerasan *vickers* (VHN) dimaknai menjadi berat dibagi

luas lapisan lekukan. Dalam praktiknya luas tersebut diakumulasikan pada ukuran mikroskopik panjang diagonal jejak.



Gambar 2. 3 Indentor micro vickers (ASTM E384)

Gambar 2.3 menunjukkan ilustrasi dari indentor yang digunakan dalam uji kekerasan mikro *vickers*. Indentor berbentuk piramida dengan dasar persegi dan sudut antar sisi berlawanan sebesar 136° , yang terbuat dari intan. Uji ini dilakukan dengan menekan indentor ke permukaan spesimen menggunakan beban ringan, yang kemudian menghasilkan jejak berbentuk belah ketupat pada permukaan material. Ukuran diagonal dari jejak ini dihitung untuk mendapatkan hasil nilai kekerasan *vickers*. Nampak beberapa posisi dan arah pandang dari indentor dan impresinya, termasuk penunjukkan terhadap adanya kemungkinan adanya pergeseran atau ketidaksejajaran (*offset*) selama proses penekanan. Guna mengetahui angka kekerasan barang percobaan, maka diagonal rata-rata pada jejak perlu diukur menggunakan mikroskop. Nilai kekerasan *vickers* bisa didapat melalui pembagian besar berat percobaan yang dipakai beserta luas lapisan jejak penekan.

VHN bisa ditetapkan pada formulasi berikut :

$$\text{VHN} = \frac{(1,854) P}{d^2} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

VHN : *Vickers* Hardness Number (kg/mm²)

P : Berat ditetapkan (kgf)

d : Ukuran diagonal rata-rata (mm) , pada $d_{\text{rata-rata}} = \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)$

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2024 hingga Maret 2025. Proses pembuatan spesimen dan *anodizing* dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Tidar. Pengujian komposisi material, uji kekilapan serta uji kekerasan permukaan dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Tidar.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada proses penelitian ini sebagai berikut :

1. Bak

Bak yang digunakan adalah bak yang terbuat dari plastic dengan ukuran 13 X 13 X 14 cm. Bak ini berfungsi untuk menampung larutan asam sulfat, yaitu larutan yang digunakan dalam proses *anodizing* dan juga untuk tempat aluminium yang akan di *anodizing*.



Gambar 3. 1 Bak plastik

2. *Power supply (Rectifier)*

Power Supply digunakan untuk mrngalirkan arus listrik DC dalam proses aluminium *anodizing*



Gambar 3. 2 *Power supply*

3. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur campuran larutan *anodizing*.



Gambar 3. 3 Gelas ukur

4. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mrngukut lamanya tiap-tiap proses yang akan dilakukan.



Gambar 3. 4 *Stopwatch*

5. Gergaji besi

Gergaji besi digunakan untuk memotong aluminium pada proses *anodizing*.



Gambar 3. 5 Gergaji besi

6. Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur panjang, lebar dan tebal aluminium.



Gambar 3. 6 Jangka sorong

7. Amplas

Amplas digunakan untuk menghaluskan specimen uji. Amplas yang digunakan adalah amplas nomor 600,800,1000,1200.



Gambar 3. 7 Amplas

8. Sarung tangan

Sarung tangan digunakan untuk melindungi tangan dari larutan kimia dan untuk melindungi tangan saat proses *anodizing*.



Gambar 3. 8 Sarung tangan karet

9. Tang

Tang digunakan untuk menjepit benda kerja, agar tidak terjadi kontak langsung bahan kimia yang berbahaya dengan tangan.



Gambar 3. 9 Tang

10. Alat pemanas

Alat pemanas digunakan untuk memanaskan larutan pewarna sesuai dengan parameter penelitian.



Gambar 3. 10 Alat pemanas

11. Termometer suhu

Termometer suhu digunakan untuk mengukur suhu agar sesuai dengan parameter penelitian.



Gambar 3. 11 Termometer suhu

3.2.2 Bahan

1. Material aluminium *casting*

Material yang berbahan aluminium dengan metode *casting*.



Gambar 3. 12 Aluminium *casting*

2. Asam Sulfat

Asam sulfat digunakan dalam proses *aluminium anodizing* ini sebagai larutan elektrolit dimana mengubah permukaan Aluminium menjadi *aluminium dioksida*.



Gambar 3. 13 Asam sulfat

3. Detergent

Detergent digunakan pada saat proses *cleaning* untuk membantu menghilangkan minyak, gemuk (*grease*), debu pada spesimen

4. Caustic Soda

Caustic Soda / Soda api digunakan pada saat *etching* untuk menghilangkan lapisan oksida alami pada spesimen.



Gambar 3. 14 *Caustic soda*

5. Nitric Acid

Nitric acid digunakan pada saat proses *desmutt* untuk menghilangkan sisa non-logam dari permukaan spesimen.



Gambar 3. 15 *Nitric acid*

6. *Aquadest*

Aquadest digunakan sebagai larutan campuran dan juga berfungsi sebagai sensing / pembersihan material proses *anodizing*.



Gambar 3. 16 *Aquades*

7. Pewarna Printer Exxxx

Pewarna printer digunakan untuk proses *dyeing* setelah pelapisan oksida (*anodizing*).



Gambar 3. 17 Tinta printer

3.2.3 Alat Uji

Alat Uji yang digunakan dalam penelitian antara lain:

1. Alat Uji Spektrometer

Digunakan untuk mengetahui kandungan komposisi kimia seperti aluminium, seng, mangan dan komposisi lainnya dalam spesimen.



Gambar 3. 18 *Optical Electron Spectroscopy (OES)*

2. Gloss Meter

Digunakan untuk mengukur tingkat kilap suatu permukaan hasil pewarnaan menggunakan cahaya dengan sudut pantul sebesar 60° . Alat ini menilai seberapa banyak cahaya yang dipantulkan oleh permukaan ketika disinari kemudian nilai keluar pada monitor dengan satuan GU. Pengukuran ini penting karena memberikan informasi tentang kualitas estetika dan sifat fisik permukaan.



Gambar 3. 19 Gloss meter GM-06

3. Alat uji kekerasan *Vickers*

Digunakan untuk menghitung nilai kekerasan permukaan spesimen hasil pewarnaan *anodizing* dengan beban 50 gf.



Gambar 3. 20 Alat uji mikro *vickers*

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah studi eksperimental. Metode eksperimental adalah metode yang digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan terhadap objek yang diteliti dengan membandingkan apabila dilakukan perlakuan dan tanpa adanya perlakuan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui stabilitas warna dan laju korosi hasil *dye-anodizing* pada komponen *velg* bekas sepeda motor yang sebelumnya di *anodizing* pada media korosi berupa asam sulfat. Berikut adalah tahapan penelitian yang akan dilakukan.

1. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia ini dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada *velg* sepeda motor bekas yang akan digunakan sebelum mulai melakukan penelitian. Pada pengujian ini menggunakan standart uji ASTM E407. Alat yang digunakan untuk pengujian komposisi adalah Spektrometer WAS. Kriteria dari spesimen yang akan diuji menggunakan alat ini sebagai berikut :

- a. Sampel uji didapat dengan dipotong langsung dari benda yang akan diuji, dalam hal ini bentuk sampel uji bebas dengan permukaan sampel yang harus rata. Permukaan pada sampel dilakukan pengamplasan menggunakan amplas P60, P80, P100, P120, P320, P500, P800, P1000, dan P 2000 hingga permukaan mengkilat.
- b. Ukuran sampel uji :
Diameter: 50mm
Tebal : 8mm
- c. Unsur kimia yang dapat terdeteksi pada alat uji ini yaitu :
(Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Cr, Ni, Zn, Sn, Ti, Pb, Be, Ca, sr, V, Zr)
- d. Sampel diuji dengan alat uji Spektrometer WAS untuk mengidentifikasi komposisi kimia dan unsur-unsur yang terkandung pada aluminium yang digunakan.

2. Uji Stabilitas Warna

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui Pengujian ini juga sebagai bahan evaluasi performa warna material terhadap paparan faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan warna untuk menentukan durabilitas warna tersebut selama penggunaan serta menilai kualitas dari pewarna yang digunakan. Pengujian ini menggunakan standart ASTM G7 (*Standard Prattice for Natural Weathering of Materials*, 2021) dengan melakukan pemaparan spesimen dibawah sinar UV (sinar matahari) selama 7x24 jam , lalu dilakukan pengukuran kekilapan menggunakan *Gloss Meter*.

3. Pengujian *Vickers*

Percobaan keras micro *vickers* tersebut memiliki maksud dalam pengukuran besarnya kekerasan lapisan aluminium sesudah tahap *anodizing*. Piramida intan yang memiliki sudut saling menghadap 136° difokuskan pada lapisan yang hendak dilakukan pengukuran melalui berat sebanyak 50gf, selanjutnya didapat ukuran

diagonal-diagonal serta komparasi bebandengan ukuran tapak penekan. Maka bisa diperoleh hasil kekerasan mikro *vickers* dalam komponen lapisan aluminium sesudah tahap *anodizing*.

3.4 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan 3 parameter variabel, berikut variabel yang digunakan :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi zat pewarna. Adapun konsentrasi zat pewarna yang digunakan pada penelitian ini adalah 50 ml, 60 ml, dan 70ml.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah aluminium *casting*, stabilitaswarna, kekerasan permukaan.

3. Variabel kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah Larutan H_2SO_4 konsentrasi 18% dengan waktu *anodizing* 40menit, tegangan 12 volt dan proses pewarnaan selama 10 menit.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Metode yang digunakan untuk mengakumulasi dan menghitung data didasarkan oleh referensi melalui penelitian terdahulu untuk teknik menghitungnya dan berdasarkan uji laboratorium yang dilakukan penulis untuk mendapatkan perolehan sumber data.

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan sebuah metode pengumpulan data dengan mencari data dari literatur yang dibutuhkan, antara lain dengan membaca dan mempelajari buku atau jurnal mengenai stabilitas warna, dan kekerasan aluminium.

2. Uji Laboratorium

Kegiatan mengumpulkan dan menganalisis data penelitian melalui pengujian komposisi aluminium *casting*, uji stabilitas warna, dan uji kekerasan permukaan *vickers*.

3.6 Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian tingkat stabilitas warna, dan laju korosi kemudian disusun dan disajikan dalam bentuk grafik untuk dianalisis. Grafik ini digunakan untuk menggambarkan perbedaan yang terlihat jelas antara berbagai variasi, sambil memberikan deskripsi yang menjelaskan hasil dari grafik tersebut.

3.7 Pelaksanaan Penelitian

Tahapan-Tahapan pada proses *anodizing* aluminium dan proses pewarnaan sebagai berikut :

1. Proses pendahuluan spesimen

Sebelum menjalankan tahapan penelitian *dye-anodizing* pada aluminium *casting* langkah awal yang dilakukan adalah menyiapkan spesimen uji. Persiapan spesimen dilakukan melalui proses pengamplasan dan pemolesan permukaan. Pengamplasan dilakukan secara bertahap menggunakan amplas dengan ukuran grit P60, P80, P240, P320, P600, P800, P1000 dan P2000. Setelah itu, permukaan dipoles menggunakan batu hijau dengan bantuan alat polish grinder. Proses pengamplasan dapat dilihat pada gambar 3.21.



Gambar 3. 21 Proses pengamplasan dan pemotongan spesimen

Setelah dilakukan proses pengamplasan dan pemolesan, selanjutnya adalah mempersiapkan alat *anodizing* seperti bak, alat penggantung, alat pemanas, timbangan

serta gelas ukur. Dilanjutkan dengan menyiapkan bahan-bahan *anodizing* seperti, larutan asam sulfat, aquades, nitric acid serta soda api. Spesimen selanjutnya dilakukan proses *cleaning* menggunakan *natrium karbonat* (Na_2CO_3) untuk meningkatkan daya bersih pada proses pencucian spesimen. Konsentrasi yang digunakan pada proses ini sebesar (10gr/l) air RO (*Reverse Osmosis*). Pembersihan dilakukan selama 5 menit untuk membersihkan pori-pori tangan yang menempel pada permukaan. Setelah proses *cleaning* selesai dilakukan proses di *rinsing* dengan air RO (*Reverse Osmosis*).



Gambar 3. 22 Proses *cleaning* dan *rinsing*

Proses yang selanjutnya dilakukan adalah proses *etching*, dimana proses ini adalah menghilangkan lapisan oksida yang masih melekat setelah proses *cleaning*. Larutan yang digunakan pada proses ini yaitu soda api, dengan konsentrasi (100gr/l) air RO (*Reverse Osmosis*). Perendaman spesimen selama 5 menit. Setelah proses *etching* selesai spesimen di *rinsing* menggunakan air RO (*Reverse Osmosis*).



Gambar 3. 23 Larutan soda api

Proses terakhir selanjutnya adalah proses *desmut* yaitu penghilangan lapisan warna abu-abu yang biasa disebut *smut* yang terbentuk dari bahan-bahan logam paduan pembentuk aluminium yang masih melekat pada proses *etching*. Pada tahap ini spesimen dicelupkan menggunakan larutan *nitric acid*. Proses pencelupan dilakukan selama 10 menit. Setelah proses *desmut* spesimen di *rinsing* dengan menggunakan air RO (*Reverse Osmosis*).



Gambar 3. 24 Larutan nitric acid

2. Proses *Anodizing*

Proses *anodizing* dilakukan setelah tahap *pre-treatment* selesai dilaksanakan. Dalam tahap *anodizing*, spesimen dicelupkan ke larutan yang terdiri dari 18% asam sulfat (H_2SO_4) dan 82% air RO (*Reverse Osmosis*). Proses ini dilakukan dengan arus listrik sebesar 3A, tegangan sebesar 12 V, dan dengan waktu *anodizing* 45 menit. Setelah proses *anodizing* selesai, spesimen di *rinsing* dengan menggunakan air RO (*Reverse Osmosis*). Proses *anodizing* ditunjukkan pada gambar 3.25.



Gambar 3. 25 Proses *anodizing*

Setelah melalui proses *anodizing* dan *rinsing*, spesimen dimasukkan ke dalam bak pewarna sesuai dengan variasi konsentrasi penelitian. Konsentrasi 50ml tinta printer dilarutkan dengan air RO (*Reverse Osmosis*) sebanyak 950ml, konsentrasi 60ml tinta printer dilarutkan dengan air RO (*Reverse Osmosis*) sebanyak 940ml, sedangkan untuk konsentrasi 70ml tinta printer dilarutkan dengan air RO (*Reverse Osmosis*) sebanyak 930ml. Proses *dyeing* dilakukan selama 10 menit pada suhu 58-60°C.



Gambar 3. 26 Proses pewarnaan

Spesimen yang sudah melalui proses pewarnaan dilanjutkan dengan proses *sealing* menggunakan air RO (*Reverse Osmosis*) pada suhu 95°C-98°C selama 10 menit untuk menutup kembali pori-pori lapisan oksida yang telah terbentuk.



Gambar 3. 27 Proses *sealing*

3. Uji Kekilapan

Pengujian kekilapan menggunakan alat yang disebut *Gloss Meter*. Pengujian ini dilakukan dengan memantulkan cahaya pada sudut 60° sesuai standart ASTM D523. Setelah cahaya dipantulkan pada permukaan spesimen akan muncul nilai dengan satuan kekilapan GU (*Gloss Unit*).

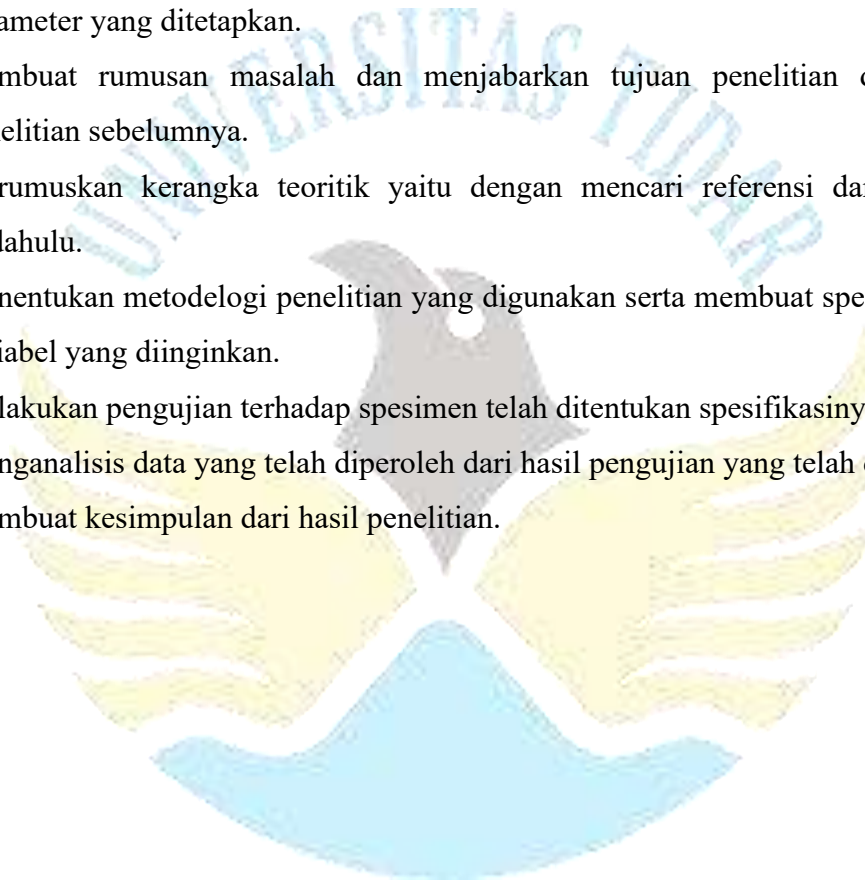
4. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan alat *micro hardness tester vickers*. Spesimen ditekan menggunakan sebuah intan berbentuk piramida dengan beban 50 gf, setelah proses penekanan akan meninggalkan jejak tekan yang kemudian dihitung diagonalnya untuk menentukan uji kekerasan. Penelitian ini menggunakan standar pengujian kekerasan mikro *vickers* ASTM E384.

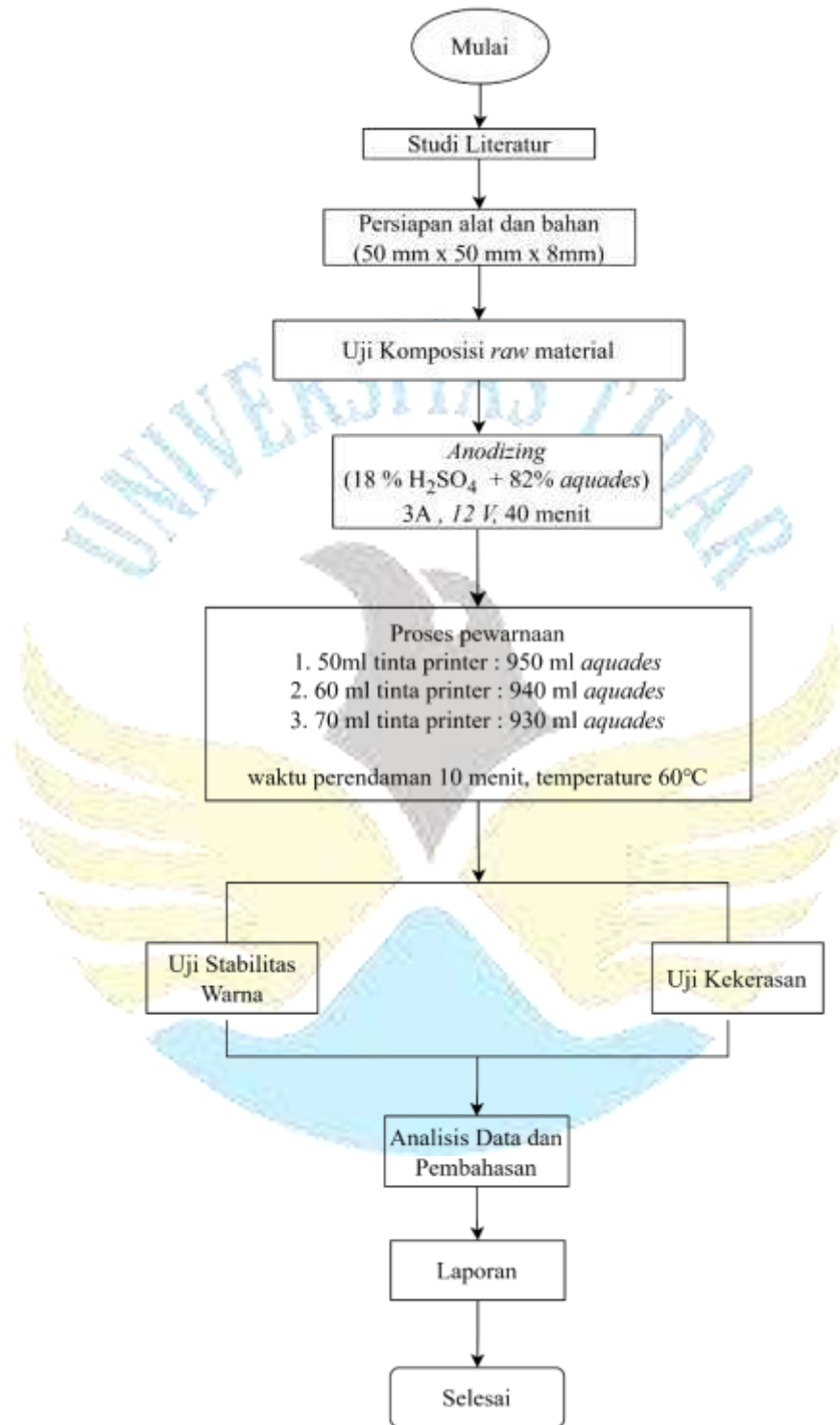
3.8 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang akan dilakukan penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Sebelum mulai melakukan peneliti terlebih dahulu mencari bahan informasi dan kebutuhan lain yang diperlukan saat dilakukannya penelitian seperti mencari informasi latar belakang dan studi literatur.
- b. Berikutnya peneliti mengidentifikasi dan mengembangkan topik dengan parameter yang ditetapkan.
- c. Membuat rumusan masalah dan menjabarkan tujuan penelitian dari topik penelitian sebelumnya.
- d. Merumuskan kerangka teoritik yaitu dengan mencari referensi dari peneliti terdahulu.
- e. Menentukan metodologi penelitian yang digunakan serta membuat spesimen dan variabel yang diinginkan.
- f. Melakukan pengujian terhadap spesimen telah ditentukan spesifikasinya.
- g. Menganalisis data yang telah diperoleh dari hasil pengujian yang telah dilakukan.
- h. Membuat kesimpulan dari hasil penelitian.



3.9 Diagram Alir



Gambar 3.28 Diagram alir

BAB IV PEMBAHASAN

Setelah pengujian selesai dilakukan, data hasil pengujian yang telah didapatkan selanjutnya dilakukan pembahasan berdasarkan masing-masing pengujian. Berikut merupakan hasil dari pengujian yang dilakukan :

4.1 Komposisi Kimia Aluminium *Casting*

Pengujian komposisi pada material bertujuan untuk mengetahui komposisi dari spesimen yang digunakan dalam penelitian ini. Pengujian komposisi dilakukan dengan alat *spectrometer DYNATECH Foundry Mater Expert*.

Dengan hasil pengujian yang didapatkan seperti pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Kandungan komposisi aluminium *casting*

Unsur	Komposisi (%)
Al	97.07
Si	1.49
Fe	0.402
Cu	0.280
Mn	0.5
Mg	0.003
Zn	0.175
Cr	0.001



Gambar 4. 1 Spesimen uji komposisi

Berdasarkan hasil pengujian komposisi yang telah diketahui bahwa aluminium *casting* memiliki kandungan aluminium (Al) mencapai (97.07%) dengan kandungan silikon (Si) 1.4% , besi (Fe) 0.4% dan mangan (Mn) 0.5%. Apabila ditinjau dari Buku Bahan Teknik Untuk Rekayasa (Logam Bukan Ferro), maka komponen aluminium *casting* ini termasuk dalam jenis aluminium seri 6xxx.

4.2 Stabilitas Warna

Setelah proses *anodizing* dilanjutkan dengan proses pewarnaan dengan menggunakan tinta printer merk Exxxx warna magenta selama 10 menit pada suhu larutan 56°C-60°C . Proses pewarnaan ini menggunakan konsentrasi larutan pewarna sebesar 50ml, 60ml, dan 70ml.

Setelah proses pewarnaan selesai, dilanjutkan dengan proses *sealing* menggunakan air RO (*Reverse Osmosis*) selama 10 menit pada suhu °C. Setelah itu spesimen digantung pada suhu ruang tertutup selama 4jam untuk proses pengeringan. Selanjutnya dilakukan uji kilap menggunakan glossmeter GM-06 pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data awal kekilapan spesimen uji untuk menentukan tingkat kestabilan warna pada spesimen. Pada proses pengujian ini spesimen dipantukan cahaya dengan sudut pantul 60°. Setelah cahaya tersebut dipantulkan maka nilai langsung terbaca pada monitor layar dari alat uji. Hasil pengujian kekilapan permukaan sebelum proses pemaparan ruang terbuka yang dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil uji kekilapan sebelum proses pemaparan pada ruang terbuka

Konsentrasi	Spesimen	Titik	Hasil uji kekilapan (GU)	Nilai kekilapan rata-rata (GU)	Total Rata-rata (GU)
50ml	50A	1	51.3	55.40	54.644
		2	56.3		
		3	58.6		

	50 B	1	54.4	54.47	35.111
		2	53.1		
		3	55.9		
	50C	1	59.1	54.07	
		2	49.4		
		3	53.7		
60ml	60A	1	39.7	37.03	
		2	35.1		
		3	36.3		
	60B	1	33.7	34.63	
		2	34.9		
		3	35.3		
	60C	1	31.1	33.67	
		2	35.6		
		3	34.3		
70ml	70A	1	17.7	18.30	16.30
		2	17.3		
		3	19.9		
	70B	1	15.8	15.37	
		2	14.9		
		3	15.4		
	70C	1	14.7	15.23	
		2	15.3		
		3	15.7		

Berdasarkan hasil uji kekilapan sebagaimana ditunjukkan oleh tabel 4.2, dapat diamati bahwa terdapat perbedaan nilai kekilapan rata-rata pada spesimen dengan variasi konsentrasi warna 50ml,60ml,70ml. Untuk variasi spesimen 50ml diperoleh nilai kekilapan rata-rata 55,40 GU, 54,47 GU dan 54,07 GU. Nilai ini menunjukkan bahwa permukaan spesimen masih memiliki sifat reflektif yang cukup

tinggi, mengindikasikan bahwa lapisan *anodizing* belum sepenuhnya menghilangkan kilap permukaan asli aluminium.

Pada variasi konsentrasi 60 ml, nilai kekilapan dengan nilai rata-rata masing-masing 37,03 GU, 34,63 GU, dan 33,67 GU. Pada spesimen 60 ml permukaan hasil pewarnaan *anodizing* menjadi lebih kasar dan lebih sedikit memantulkan cahaya. Hal ini mengidentifikasi bahwa konsentrasi pewarna pada proses *anodizing* memberikan efek pada peningkatan ketebalan pada spesimen.

Nilai kekilapan lebih rendah terjadi pada spesimen dengan konsentrasi pewarna tinta printer 70ml, di mana kekilapan rata-rata yang diperoleh adalah 18,30 GU, 16,30 GU, dan 15,23 GU. Nilai kekilapan yang sangat rendah ini mengidentifikasi bahwa hasil dari proses pewarnaan pada konsentrasi 70ml menghasilkan warna yang lebih *matte* dan tidak reflektif.

Selanjutnya spesimen dipaparkan pada kondisi udara terbuka selama 7x24jam terhadap spesimen hasil pewarnaan dilanjutkan dengan uji kekilapan untuk perbandingan sebelum dan sesudah dilakukannya percobaan kestabilan warna hasil tinta printer Exxxx.



Gambar 4. 2 Pemaparan pada ruang terbuka hari pertama



Gambar 4. 3 Pemaparan pada ruang terbuka hari ketujuh

Setelah melalui proses pemaparan pada ruangan terbuka selama 7x24jam, selama beberapa hari itu pula material terkena paparan suhu panas sinar matahari langsung, dan suhu dingin pada malam hari secara berulang terus menerus. Secara visual material terjadi perubahan warna menjadi lebih kusam dikarenakan oksidasi yang terjadi namun tidak nampak adanya kelunturan warna pada material. Setelah proses pemaparan pada ruang terbuka dilanjutkan dengan pengukuran *gloss meter* untuk mendapatkan nilai penurunan kekilapan spesimen yang disebabkan oleh faktor lingkungan. Dengan menggunakan alat yang sama dan sudut yang sama pada pengujian kekilapan awal sebesar 60° berikut ini adalah hasil pengujian kekilapan setelah proses pemaparan pada ruang terbuka dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Uji kekilapan setelah proses pemaparan pada ruang terbuka

Konsentrasi (ml)	Spesimen	Titik	Hasil uji kekilapan (GU)	Nilai kekilapan rata-rata (GU)	Total Rata-Rata (GU)
50ml	50A	1	53.1	52.27	50.533
		2	51.7		
		3	52		
	50 B	1	55.1	49.27	
		2	48.2		

		3	44.5		
	50C	1	48.4	50.07	
		2	53.1		
		3	48.7		
60ml	60A	1	34.6	25.77	
		2	22.2		
		3	20.5		
	60B	1	38.4	31.77	29.078
		2	24.8		
		3	32.1		
	60C	1	21.4	29.70	
		2	33.8		
		3	33.9		
70ml	70A	1	12.7	12.13	
		2	12.1		
		3	11.6		
	70B	1	15.3	14.03	13.144
		2	13.2		
		3	13.6		
	70C	1	14.1	13.27	
		2	12.9		
		3	12.8		

Keterangan :

GU : *Gloss Unit*

Berdasarkan tabel hasil pengujian kekilapan setelah proses pemaparan jika dibandingkan dengan hasil uji kekilapan sebelum pemaparan, terlihat adanya

penurunan nilai kekilapan pada semua variasi konsentrasi. Penurunan ini memperlihatkan adanya perubahan kondisi permukaan aluminium akibat faktor lingkungan seperti oksidasi lanjutan, dan kemungkinan degradasi lapisan *anodizing* akibat suhu dan paparan udara.

Pada konsentrasi 50ml, nilai kekilapan rata-rata dari ketika spesimen (50A, 50B, 50C) setelah pemaparan mencapai 50,538 GU. Spesimen 50A memiliki nilai rata-rata sebesar 52,27 GU, 50B sebesar 49,27GU, dan 50C sebesar 50,7 GU. Hasil ini menunjukkan bahwa kekilapan permukaan aluminium *anodizing* masih cukup tinggi dan tidak banyak mengalami degradasi setelah terpapar udara terbuka.

Pada konsentrasi 60ml, nilai rata-rata kekilapan mengalami penurunan yang cukup signifikan menjadi 29,078 GU. Nilai spesimen 60A, 60B, 60C masing-masing adalah 25,77 GU, 31,77 GU, dan 29,70 GU. Penurunan kekilapan ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi tinta printer menyebabkan perubahan lapisan *anodizing* yang cenderung lebih poros sehingga lebih rentan terhadap perubahan warna dan degradasi akibat pengaruh lingkungan.

Sementara itu, pada konsentrasi tertinggi yaitu 70ml, kekilapan permukaan menurun lebih drastis dengan rata-rata hanya 13,144 GU. Spesimen 70A memiliki nilai rata-rata 12,13 GU, 70B sebesar 14,03 GU, dan 70C sebesar 13,27 GU. Hasil nilai tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi pewarna yang lebih tinggi maka lapisan warna yang terbentuk pada permukaan aluminium semakin tebal. Ketebalan lapisan ini dapat mengurangi reflektansi pada cahaya pada permukaan material, sehingga berdampak pada penurunan kilap. Oleh karena itu meskipun warna yang dihasilkan tampak lebih pekat, tingkat kilap permukaannya cenderung lebih rendah dibandingkan dengan spesimen yang diberi pewarna dengan konsentrasi lebih rendah.

Berdasarkan tabel 4.2 dan 4.3 dilakukan perhitungan presentase penurunan nilai kekilapan spesimen menggunakan rumus

$$\text{Persentase} = \frac{\text{Total rata-rata sebelum} - \text{Total rata-rata setelah}}{\text{Total rata-rata sebelum pemaparan}} \times 100\%$$

Diketahui nilai total rata-rata pada konsentrasi 50ml sebelum proses pemaparan adalah 54,664 GU dan total nilai rata-rata setelah pemaparan 50,538 GU. Selanjutnya dimasukkan dalam rumus

$$\begin{aligned} \text{Persentase} &= \frac{56,664 - 50,538}{54,664} \times 100\% \\ &= 7,5\% \end{aligned}$$

Berikut ini adalah hasil perhitungan presentase penurunan nilai kekilapan material dapat dilihat pada tabel 4.4

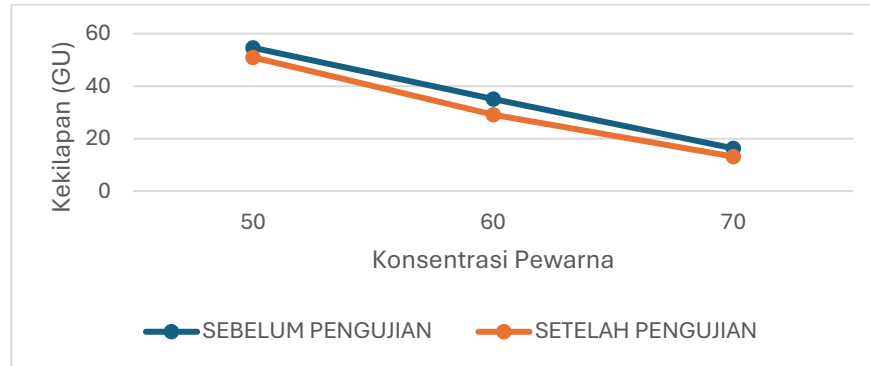
Tabel 4. 4 Presentase penurunan kekilapan spesimen

Variasi Konsentrasi (ml)	Sebelum pemaparan ruang terbuka (GU)	Setelah pemaparan ruang terbuka (GU)	Hasil Persentase (%)
50	54.664	50.538	7.5%
60	35.111	29.078	17.2%
70	16.3	13.144	19.4%

Pada konsentrasi pewarna 50ml rata-rata kekilapan sebelum pemaparan 54,64 GU dan setelah pemaparan turun menjadi 50,538 GU. Hal ini menunjukkan penurunan rata-rata sebesar 7,5% yang masih tergolong kecil. Penurunan ini mengindikasikan bahwa lapisan *anodizing* pada konsentrasi 50ml masih cukup stabil terhadap paparan lingkungan dalam kondisi suhu maksimal 50°C.

Pada konsentrasi 60ml rata-rata kekilapan sebelum pemaparan 35,11 GU, yang kemudian turun menjadi 29,08 GU setelah pemaparan. Penurunan lebih signifikan sebesar 17,2% dari nilai awal, menunjukkan bahwa lapisan *anodizing* pada konsentrasi 60ml lebih sensitif terhadap pengaruh lingkungan, kemungkinan karena struktur pori-pori yang lebih terbuka. Sedangkan pada konsentrasi 70ml, rata-rata kekilapan sebelum pemaparan adalah 16,61 GU dan setelah pemaparan menurun menjadi 13,14 GU. Penurunan yang terjadi sekitar 19,4% menunjukkan bahwa proses *dye-anodizing* dengan konsentrasi pewarna yang lebih tinggi cenderung lebih rentan terhadap

perubahan lingkungan serta disebabkan oleh lapisan *anodizing* yang lebih porous dan tidak sepadat spesimen dengan konsentrasi pewarna yang lebih rendah.



Gambar 4. 4 Hubungan antara pengaruh proses pemaparan udara terbuka terhadap nilai kekilapan warna

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi pewarna 50ml mengalami penurunan kekilapan yang paling kecil dibandingkan dengan konsentrasi lainnya. Nilai kekilapan rata-rata spesimen 50ml hanya turun sebesar 7,5% sedangkan konsentrasi 60ml mengalami penurunan sebesar 17,2% dan konsentrasi 70ml mengalami penurunan sebesar 19,4%. Penurunan kekilapan paling rendah pada konsentrasi 50ml menunjukkan bahwa lapisan *anodizing* yang dihasilkan memiliki struktur yang lebih rapat dan padat sehingga stabil dalam mempertahankan sifat optiknya setelah terpapar lingkungan udara terbuka. Sebaliknya, pada konsentrasi 60ml dan 70ml terjadi penurunan kekilapan yang jauh lebih signifikan. Penurunan kekilapan ini terjadi akibat lamanya waktu celup *anodizing* selaras dengan penelitian (almuharif et al., 2022), sehingga lapisan oksida hasil *anodizing* lebih dalam cenderung menjadi lebih porous. Struktur pori yang lebih besar atau lebih banyak menyebabkan pewarnaan lebih rentan terhadap degradasi akibat interaksi dengan udara bebas, sehingga nilai kekilapan permukaan menjadi menurun. Selain itu, penggunaan konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan ketidaksempurnaan dalam pengisian pori-pori *anodizing*, sehingga pewarna mudah larut atau mengalami perubahan warna setelah paparan.

Dalam pengujian ini, meskipun seluruh spesimen telah melalui proses *sealing* selama 10 menit menggunakan air RO (*Reverse Osmosis*) pada suhu 98°C pada sampel

tetap mengalami penurunan nilai kekilapan yang ditandai dengan perubahan tampilan visual permukaan yang menjadi lebih doff. Perubahan warna menjadi lebih doff ini bukanlah indikator bahwa warna atau lapisan pelindung semakin baik, perubahan warna ini mengindikasikan terjadinya degradasi termal pada molekul pewarna yang terserap dalam pori-pori *anodizing* sejalan dengan penelitian (Sihombing et al., 2013).

4.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan permukaan dilakukan di Laboratorium Universitas Tidar adalah untuk mengetahui Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Tidar, Kota Magelang. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui perbedaan karakteristik di kedua bagian dari material yaitu bagian dalam material dan bagian luar material yang telah terlapisi oleh lapisan oksida hasil *anodizing*, serta untuk mengetahui sejauh mana proses *anodizing* mempengaruhi ketahanan material terhadap beban mekanis. Pengujian kekerasan dalam penelitian ini menggunakan metode indentasi micro *vickers*, dimana permukaan material akan dikenakan beban sebesar 50gf. Identor yang digunakan memiliki bentuk piramida intan dengan sudut kemiringan antar muka berlawanan 136°. Dalam mencari kekerasan *vickers* dicari menggunakan rumus :

$$\text{VHN} = \frac{1,854 \times P}{d^2} \dots\dots\dots 2$$

Dimana :

VHN : *Vickers* Hardness Number (kg/mm²)

P : Berat ditetapkan (kgf)

d : Ukuran diagonal rata-rata (mm) , pada $d_{\text{rata-rata}} = \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)$

Pengujian kekerasan ini dilakukan menggunakan 3 titik uji untuk setiap spesimennya. Titik uji yang dilakukan yaitu pada bagian tengah, ujung kanan dan kiri material luar serta bagian tengah, dan ujung kanan, kiri dari material bagian dalam. Uji kekerasan *vickers* ini dilakukan setelah proses *anodizing* dilakukan. Contoh perhitungan pada titik uji material luar satu spesimen variasi konsentrasi 50ml dari pengujian kekerasan sebagai berikut.

Diketahui : P = 50gf = 0.05 kgf (hasil konversi satuan)

$$d_1 = 31.74 \mu\text{m} = 0,03174 \text{ mm}$$

$$d_2 = 31.74 \mu\text{m} = 0,03174 \text{ mm}$$

$$d = 0,03174 \text{ mm (hasil rata-rata dari nilai } d_1 \text{ dan } d_2)$$

Selanjutnya dimasukkan dalam rumus yang digunakan.

$$\begin{aligned} \text{VHN} &= \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854 \times P}{d^2} \\ &= \frac{(1,854)0,05\text{kgf}}{(0,03174)^2} = \frac{(1,854)0,05\text{kgf}}{0,001007} = 92,01654 \text{ kgf/mm}^2 = 92,01 \text{ VHN} \end{aligned}$$

Berikut ini adalah hasil pengujian kekerasan permukaan bagian luar dan dalam yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil pengujian kekerasan permukaan

Kode Spesimen		Kekerasan (kgf/mm ²)				
		Titik uji 1	Titik Uji 2	Titik uji 3	Rata-rata 3 titik uji	Rata-rata 3 spesimen
RL	1	82.258	81.094	73.021	78.791	76.856
	2	71.568	68.526	73.103	71.066	
	3	80.214	77.076	84.841	80.710	
50L	1	92.017	92.424	116.942	100.461	97.998
	2	86.165	93.335	94.834	91.445	
	3	87.817	107.613	110.837	102.089	
60L	1	129.355	94.925	91.554	105.278	101.787
	2	100.175	94.110	102.658	98.981	
	3	119.603	85.279	98.421	101.101	
70L	1	102.521	102.966	105.091	103.526	105.632
	2	101.674	110.990	108.610	107.091	
	3	107.174	107.907	103.760	106.280	
RD	1	56.321	55.660	59.024	57.002	57.462
	2	60.916	57.534	59.084	59.178	
	3	57.952	53.361	57.305	56.206	

50D	1	53.208	49.833	57.851	53.631	57.066
	2	59.534	58.965	60.342	59.614	
	3	60.651	56.206	54.138	57.953	
60D	1	61.324	57.220	58.462	59.002	57.669
	2	56.740	54.124	57.793	56.219	
	3	64.741	52.626	55.989	57.785	
70D	1	57.735	57.938	58.816	58.163	58.725
	2	57.377	61.260	60.280	59.639	
	3	59.685	59.989	55.443	58.372	

Keterangan :

RL = Raw Material Pada Permukaan Luar

50L= Permukaan luar hasil *dye anodizing* konsentrasi 50ml

60L= Permukaan luar hasil *dye anodizing* konsentrasi 60ml

70L= Permukaan luar hasil *dye anodizing* konsentrasi 70ml

RD = Raw Material Pada Permukaan Dalam (20mm)

50D= Permukaan dalam hasil *dye anodizing* konsentrasi 50ml

60D= Permukaan dalam hasil *dye anodizing* konsentrasi 60ml

70D= Permukaan dalam hasil *dye anodizing* konsentrasi 70ml

1 = Spesimen ke-1

2 = Spesimen ke-2

3 = Spesimen ke-3

Pembacaan Kode Spesimen

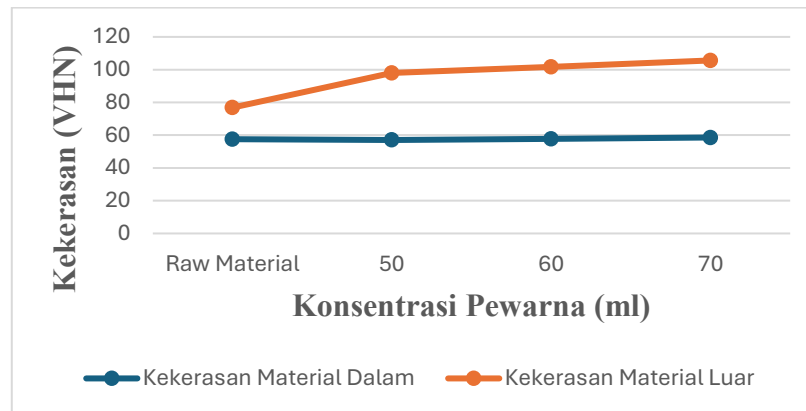
RL 1

- a) Dua huruf pertama menunjukkan nama spesimen raw material permukaan luar
- b) Angka yang mengikuti dibelakangnya adalah nomor spesimen (Spesimen ke-1)

50D1

- a) Dua angka pertama menunjukkan konsentrasi larutan pewarna yang digunakan (Konsentrasi 50ml)

- b) Huruf menunjukkan nama spesimen permukaan dalam hasil *dye-anodizing* konsentrasi 50ml
- c) Angka yang mengikuti dibelakangnya adalah nomor spesimen (Spesimen ke-1)



Gambar 4. 5 Hubungan antara variasi konsentrasi pewarna terhadap kekerasan

Berdasarkan gambar 4.5 Hasil pengujian kekerasan *vickers* pada material aluminium *casting* yang telah melalui proses *anodizing* dan pewarnaan (*dyeing*), ditemukan adanya perbedaan antara kekerasan permukaan luar dan dalam. Pada kekerasan material permukaan luar mengalami peningkatan yang seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan pewarna. *Raw material* permukaan luar pada kondisi awal sebelum dilakukan *anodizing*, kekerasan permukaannya tercatat sebesar 76,85 VHN. Setelah dilakukan proses *anodizing* dan *dyeing* konsentrasi pewarna 50ml kekerasan meningkat menjadi 97,99 VHN, menunjukkan peningkatan sebesar 27,5%. Pada konsentrasi 60ml, kekerasan meningkat menjadi 101,786 VHN atau naik sebesar 32,4%. Sedangkan pada konsentrasi 70ml, kekerasan mencapai 105,63 VHN, mengalami peningkatan sebesar 37,5% dibandingkan kondisi awal. Peningkatan ini menggambarkan bahwa variasi konsentrasi pewarna pada proses *anodizing* hanya berpengaruh kecil pada peningkatan kekerasan permukaan. Hal ini selaras dengan penelitian (Aditya et al., 2017). Pada proses pewarnaan hasil *anodizing* lapisan oksida menjadi lebih rapat dan kuat, serta menyerap lebih banyak pewarna, memperkuat struktur permukaan material. Hal ini selaras dengan penelitian (Ku et al., 2024) oleh









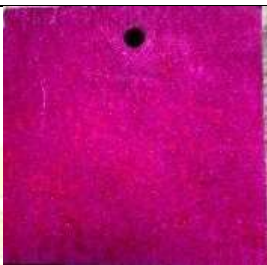
karena itu proses pewarnaan *anodizing* terbukti dapat memberikan efek positif terhadap peningkatan kekerasan permukaan luar aluminium.

Sebaliknya, hasil kekerasan permukaan bagian dalam material tidak menunjukkan adanya perubahan nilai kekerasan setelah proses *dye-anodizing* dilakukan pada material. Kekerasan awal permukaan dalam adalah sebesar 57,462 VHN. Setelah perlakuan *anodizing* dan pewarnaan dengan konsentrasi 50ml, kekerasan tercatat sebesar 57,066 VHN. Pada konsentrasi 60ml, kekerasan bagian dalam sebesar 57,669 VHN, sedangkan pada kekerasan dalam konsentrasi 70ml, nilai kekerasannya sebesar 58,599 VHN. Nilai kekerasan yang didapatkan setelah pengujian *vickers* menyatakan bahwa proses pewarnaan *anodizing* tidak memiliki dampak pada bagian dalam material. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan penetrasi larutan elektrolit dan distribusi arus listrik dalam proses *anodizing*, yang efektif bekerja pada bagian permukaan luar material yang bersentuhan langsung dengan larutan elektrolit. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Phei et al., 2015) bahwa pertumbuhan lapisan anodik bersifat permukaan dan bergantung pada kontak langsung dengan elektroda serta lingkungan elektrolit.

Secara keseluruhan proses pewarnaan *anodizing* efektif dalam meningkatkan permukaan luar aluminium *casting*, tetapi tidak menunjukkan pengaruh terhadap bagian dalam material. Oleh karena itu, untuk aplikasi yang membutuhkan kekerasan tinggi hanya pada permukaan, metode ini sangat efisien dan ekonomis.

4.4 Pengamatan *Visual*

Kegagalan yang terjadi pada proses pewarnaan dapat diamati melalui beberapa indikasi *visual* yang mencerminkan kurang optimalnya parameter proses yang digunakan. Salah satu bentuk kegagalan pada penelitian ini adalah tidak menempelnya warna secara merata pada permukaan aluminium yang telah melalui tahapan pewarnaan. Hal ini menunjukkan bahwa pori-pori lapisan oksida yang terbentuk belum cukup terbuka atau belum memiliki morfologi yang ideal untuk penyerapan warna secara efektif.

Variasi Konsentrasi	A	B	C
50ml			
60ml			
70ml			

Gambar 4. 6 Spesimen hasil pewarnaan *anodizing*

Berdasarkan pengamatan terhadap hasil proses pewarnaan spesimen 50B *anodizing*, terlihat adanya kecacatan visual seperti warna yang tidak merata, bercak-bercak gelap dan perbedaan intensitas warna spesimen. Sesuai dengan penelitian (Sambas, 2011) hal ini terjadi karena proses pembersihan permukaan (*pre-treatment*) dilakukan kurang optimal. Akibatnya, permukaan aluminium masih mengandung sisa-sisa minyak, oksida alami, atau kontaminan lain yang menghambat pembentukan lapisan oksida pada proses *anodizing* dan mempengaruhi pembentukan pori-pori lapisan oksida. Karena terhambatnya pembentukan pori-pori lapisan oksida membuat keterikatan pewarna dalam proses *anodizing* kurang merata (Arrahman, 2025). Semakin optimal proses *pre-treatment*, maka semakin merata lapisan oksida yang terbentuk. Hal ini akan menghasilkan pori-pori yang lebih seragam dan terbuka, yang

sangat penting untuk proses penyerapan warna. Sebaliknya, *pre-treatment* tidak maksimal akan menyebabkan permukaan homogen, sehingga lapisan oksida menjadi tidak merata dan menyebabkan pewarna tidak dapat terserap secara konsisten. Pada proses pencelupan pewarnaan pada suhu 60°C dimana larutan pewarna sedikit mendidih dan langsung dicelupkan sehingga didalam larutan pewarna masih terdapat gelembung udara selama proses pencelupan. Keberadaan gelembung yang disebut *gas trapping* mempengaruhi proses pewarnaan dimana menghalangi proses distribusi zat pewarna secara merata ke seluruh pori-pori lapisan *anodized* sehingga menimbulkan absorpsi pewarna yang rendah, menghasilkan tampilan warna yang tidak seragam dan terdapat bercak atau gradasi yang tidak diinginkan. Dengan demikian, semakin stabil dan homogen kondisi larutan pewarna, semakin baik pula distribusi warna dan hasil akhir pewarnaan.

Pada sampel 50C dan 60A terjadi perbedaan warna posisi tertentu dikarenakan proses *rinsing* yang kurang maksimal setelah proses *anodizing* selesai, hal ini disebut dengan *poor rinsing between anodizing and coloring* (Short, 2003), endapan dari aluminium hidroksida yang menyumbat pori-pori lapisan anodik kemudian menyebabkan deposisi zat pewarna menjadi tidak merata pada proses pewarnaan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan data hasil penelitian yang sudah dilakukan terkait uji komposisi kimia, uji kekilapan, uji kekerasan pada proses *dye-anodizing* dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian kekilapan warna, penggunaan konsentrasi larutan 50 ml menghasilkan penurunan sebesar 7,5 % menunjukkan bahwa lapisan *anodizing* yang terbentuk lebih stabil terhadap paparan udara luar. Sebaliknya pada konsentrasi 60ml dan 70 ml, penurunan kekilapan masing-masing 17,2 % dan 19,4 %. Semakin tinggi konsentrasi larutan yang digunakan, semakin besar penurunan kekilapan yang terjadi, hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi menyebabkan terbentuknya lapisan *anodizing* dengan struktur pori yang lebih terbuka dan kurang stabil, sehingga lebih rentan terhadap degradasi optik.
2. Hasil pengujian *vickers* bahwa proses *dye-anodizing* meningkatkan kekerasan permukaan luar aluminium *casting* dari 76,85 VHN menjadi 97,99 VHN pada konsentrasi 50ml, konsentrasi 60ml sebesar 101,79 VHN , dan 105,63 VHN untuk konsentrasi 70ml. Kekerasan permukaan bagian dalam aluminium pada ketebalan 25mm memiliki rata-rata 57,72 VHN. Nilai kekerasan pada permukaan ini tidak mengalami perubahan menandakan bahwa proses *anodizing* hanya efektif pada area kontak langsung dengan elektrolit.

5.2 Saran

Dalam pelaksanaan penelitian ini masih terdapat beberapa kekurangan untuk selanjutnya dapat diperbaiki. Saran untuk penelitian ini agar penelitian dapat dilakukan lebih maksimal sebagai berikut :

1. Optimalisasi proses *pre-treatment* untuk memastikan permukaan bebas minyak dan oksida alami.
2. Menerapkan pengendalian dan penghilangan gelembung udara dalam larutan pewarna.

3. Dilakukan penelitian menggunakan variasi waktu sealing dan teknik sealing untuk mengetahui pengaruhnya terhadap stabilitas warna.
4. Perlu dipersiapkan dengan baik dalam hal Kesehatan dan Keselamatan Kerja ketika penelitian berlangsung.



DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, R., Jufriadi, & Yuaniati. (2017). Pengaruh Variasi Temperatur, Jarak Anoda Dengan Katoda Dan Pewarnaan Terhadap Kekerasan Permukaan Pada Proses Anodisasi Al 1100. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 1(1).
- Almuharif, I., Mulyaningsih, N., & Salahudin, X. (2022). Optimasi Variasi Waktu Pada Proses Anodizing Terhadap Uji Kekilapan Pada Komponen Sepeda Motor. *PROSIDING SEMINAR RISET TEKNOLOGI TERAPAN*.
- Amrullah, U. S., Muzzaki, M., Nur'aini, E. L., & Buwono, H. P. (2020). Pengaruh Jenis Konduktor Dan Pembersihan Elektrolisis Terhadap Kualitas Warna Dan Konduktifitas Permukaan Aluminium. *Jurnal Teknik Mesin Elemen*, 7(02), 93–98.
- Andrianto, A., Suwardiyono, & Kurniasari, L. (2016). *Pengaruh Kuat Arus Dan Waktu Terhadap Hasil Pewarnaan Dan Massa Aluminium Pada Proses Anodizing Dengan Elektrolit H₂SO₄ 15%*.
[https://doi.org/https://doi.org/10.31942/inteka.v1i1.1645](https://doi.org/10.31942/inteka.v1i1.1645)
- Arrahman, A. R. (2025). Pengaruh Variasi Kuat Arus, Lama Waktu Anodize, Lama Waktu Pewarnaan, Dan Perbandingan Larutan Elektrolit Terhadap Kualitas Warna Pada Proses Anodizing Menggunakan Pewarna Sintetis. *Journal UII*.
- Aziz, A. A., Kiryanto, & Santosa, A. W. B. (2017). Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk, Komposisi dan Cacat Pengecoran Paduan Aluminium Flat Bar dan Limbah Kampas Rem dengan Menggunakan Cetakan Pasir dan Cetakan Hidrolik sebagai Bahan Komponen Jendela Kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 05(1). <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/naval>
- Buwono, H. P., Yudiyanto, E., Muzaki, M., Syah Amrullah, U., Udianto, P., & Hadi, S. (2018). Tinta Printer Sebagai Pewarna Aluminium Oksida Yang Stabil Pada Proses Anodisasi Coloring. *Jurnal Elemen*, 5, 62–65.
- Febriyanti, E. (2011). *Optimasi Proses Pelapisan Anodisasi Keras Pada Paduan Aluminium*. <https://doi.org/10.14203/METALURGI.V26I2.15>

- Hartomo, A. J., & Tomijiro, K. (1992). *Mengenal pelapisan logam : (elektroplating)* . <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20299344&lokasi=lokal>
- Ku, C. A., Wu, C. C., Hung, C. W., & Chung, C. K. (2024). Influence of Normal-to-High Anodizing Voltage on AAO Surface Hardness from 1050 Aluminum Alloy in Oxalic Acid. *Micromachines*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/mi15060683>
- Muslim, A., & Widyo Nugroho, A. (2018). Karakterisasi Permukaan Pada Aluminium Anodized-Dyed dengan Pewarna Alami Kunyit. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 2(1). <https://doi.org/10.18196/jmpm.2117>
- Nugroho, E., & Hudawan, Y. (2016). Pengaruh Variasi Putaran Cetakan dan Penambahan Inokulan Ti-B Pada Centrifugal Casting Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Paduan Aluminium A356.0. *Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro*, 1, 57–61.
- Phei, Z., Yu, Z., Xuhui, Z., Yuming, T., & Zhang, X. (2015). Correlation between microhardness and microstructure of anodic film on 2024 aluminium alloy.
- Salman, E., Mulyaningsih, N., & Salahudin, X. (2023). Analisis Rapat Arus Dan Jarak Anoda-Katoda Pada Proses Anodizing Terhadap Nilai Kekerasan Aluminium Alloy 1100. *Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan*.
- Sambas, A. (2011). *Proses Pewarnaan Logam Aluminium Dengan Metode Anodizing*. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/33863>
- Short, T. (2003). *The Identification And Prevention of Defects on Anodizes Aluminium Parts* (A. Kuhn, Ed.). Metal Finishing Information Services Ltd.
- Sihombing, V. F., Hakim, L., & Batubara, R. (2013). Pengaruh Cuaca Terhadap Perubahan Warna Fiber Plastic Composite Dari Kertas Kardus Dan Polietilena (PE) Dengan Penambahan Maleat Anhidrida (MAH) Dan Benzoil Peroksida. *Peronema Forestry Science Journal*.
- Standard Practice for Natural Weathering of Materials*. (2021). ASTM License Agreement.

Yudiyanto, E., Rizza, M. A., Sarjiyana, & Buwono, H. P. (2020). Pengaruh Rapat Arus Pada Anodize Coloring Aluminium Dengan Pewarna Tinta Printer. *Jurnal Teknik: Ilmu Dan Aplikasi*, 09(2).



LAMPIRAN

1. Uji Komposisi



Peletakan spesimen pada alat uji komposisi



Analisis hasil uji komposisi

Measurement Results

Instrument: 77C1004
 Sample: AL 358 | AL | Novena
 Alloy: AL_408 Mode: **Wet** Element Concentration: 04.10.2024 10:05:21

SpArcfire

	Al [%]	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]	Zn [%]
1	96.95	1.53	0.497	0.290	>0.500	<0.0030	0.196
2	97.13	1.48	0.365	0.275	>0.500	<0.0030	0.196
3	97.14	1.49	0.342	0.274	>0.500	<0.0030	0.174
ff							
Ø	97.07	1.48	0.402	0.280	>0.500	<0.0030	0.175
ii							
	Cr [%]	Ni [%]	Ti [%]	Se [%]	Ca [%]	Li [%]	Pb [%]
1	<0.0010	<0.0050	<0.0010	<0.0001	0.0116	0.0002	<0.0010
2	0.0012	<0.0050	<0.0010	<0.0001	0.0122	0.0002	<0.0010
3	<0.0010	<0.0050	<0.0010	<0.0001	0.0122	0.0002	<0.0010
ff							
Ø	0.0011	<0.0050	<0.0010	<0.0001	0.0120	0.0002	<0.0010
ii							
	Sn [%]	Sr [%]	V [%]	Na [%]	Bi [%]	Zr [%]	Ga [%]
1	<0.0050	<0.0001	<0.0020	<0.0001	<0.0030	<0.0010	<0.0010
2	<0.0050	<0.0001	<0.0020	<0.0001	<0.0030	<0.0010	<0.0010
3	<0.0050	<0.0001	<0.0020	<0.0001	<0.0030	<0.0010	<0.0010
ff							
Ø	<0.0050	<0.0001	<0.0020	<0.0001	<0.0030	<0.0010	<0.0010
ii							
	Cd [%]	Co [%]	Ag [%]	Sb [%]	P [%]		
1	<0.0020	<0.0020	<0.0001	<0.0050	0.0342		
2	<0.0020	<0.0020	<0.0001	<0.0050	0.0405		
3	<0.0020	<0.0020	<0.0001	<0.0050	0.0413		
ff							
Ø	<0.0020	<0.0020	<0.0001	<0.0050	0.0387		
ii							

Hasil pengujian komposisi spesimen



Proses pemaparan pada ruang terbuka



Uji Kekilapan

Tabel hasil uji kekilapan

Sebelum Pemaparan Ruang Terbuka

Variasi Konsentrasi	Spesimen	Titik	Hasil uji kekilapan	Satuan	Nilai kekilapan rata-rata	Rata-rata
50ml	50A	1	54.4	GU	54.47	54.64
		2	53.1	GU		
		3	55.9	GU		
	50 B	1	51.3	GU	55.40	
		2	56.3	GU		
		3	58.6	GU		
	50C	1	59.1	GU	54.07	
		2	49.4	GU		
		3	53.7	GU		
60ml	60A	1	39.7	GU	37.03	35.11
		2	35.1	GU		
		3	36.3	GU		
	60B	1	31.1	GU	33.67	
		2	35.6	GU		
		3	34.3	GU		
	60C	1	33.7	GU	34.63	

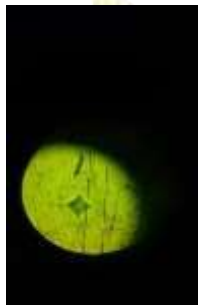
		2	34.9	GU		
		3	35.3	GU		
70ml	70A	1	17.7	GU	18.30	16.30
		2	17.3	GU		
		3	19.9	GU		
	70B	1	15.8	GU	15.37	
		2	14.9	GU		
		3	15.4	GU		
	70C	1	14.7	GU	15.23	
		2	15.3	GU		
		3	15.7	GU		

Setelah Pemaparan Ruang Terbuka

Variasi Konsentrasi	Spesimen	Titik	Hasil uji kekilapan	Satuan	Nilai kekilapan rata-rata	Rata-Rata
50ml	50A	1	53.1	GU	49.87	50.98
		2	44.5	GU		
		3	52	GU		
	50 B	1	55.1	GU	50.67	
		2	48.2	GU		
		3	48.7	GU		
	50C	1	48.4	GU	52.40	
		2	53.1	GU		
		3	55.7	GU		
60ml	60A	1	38.4	GU	31.77	29.08
		2	24.8	GU		
		3	32.1	GU		
	60B	1	21.4	GU	29.70	
		2	33.8	GU		
		3	33.9	GU		

	60C	1	34.6	GU	25.77	13.14
		2	22.2	GU		
		3	20.5	GU		
70ml	70A	1	12.7	GU	12.13	
		2	12.1	GU		
		3	11.6	GU		
	70B	1	15.3	GU	14.03	
		2	13.2	GU		
		3	13.6	GU		
	70C	1	14.1	GU	13.27	
		2	12.9	GU		
		3	12.8	GU		

Uji Kekerasan *Vickers*



Penekanan pada spesimen



Proses Pengujian *Vickers*



Spesimen Pengujian *Vickers*

Tabel Hasil Pengujian *Vicker**Raw Material Luar*

Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	Kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	33.57	33.57	33.57	0.03357	0.00112694	82.258
2	0.05	33.81	33.81	33.81	0.03381	0.00114312	81.094
3	0.05	35.62	35.64	35.63	0.03563	0.0012695	73.021
Average							78.79099

B							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	35.98	36	35.99	0.03599	0.00129528	71.568
2	0.05	36.78	36.78	36.78	0.03678	0.00135277	68.526
3	0.05	35.62	35.6	35.61	0.03561	0.00126807	73.103
Average							71.065591

C							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	34.01	33.98	33.995	0.033995	0.00115566	80.214
2	0.05	34.66	34.7	34.68	0.03468	0.0012027	77.076
3	0.05	33.01	33.1	33.055	0.033055	0.00109263	84.841
Average							80.710418

Variasi 50ml Permukaan Luar

Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	31.74	31.74	31.74	0.03174	0.00100743	92.017
2	0.05	31.78	31.56	31.67	0.03167	0.00100299	92.424

3	0.05	28.22	28.09	28.155	0.028155	0.0007927	116.942
Average							100.4606

B							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	32.81	32.79	32.8	0.0328	0.00107584	86.165
2	0.05	31.57	31.46	31.515	0.031515	0.0009932	93.335
3	0.05	31.34	31.19	31.265	0.031265	0.0009775	94.834
Average							91.444697

C							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	32.45	32.53	32.49	0.03249	0.0010556	87.817
2	0.05	29.37	29.33	29.35	0.02935	0.00086142	107.613
3	0.05	28.56	29.28	28.92	0.02892	0.00083637	110.837
Average							102.08888

Variasi 60ml Permukaan Luar

Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	26.77	26.77	26.77	0.02677	0.00071663	129.355
2	0.05	30.16	32.34	31.25	0.03125	0.00097656	94.925
3	0.05	31.83	31.81	31.82	0.03182	0.00101251	91.554
Average							105.27806

B							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	30.42	30.42	30.42	0.03042	0.00092538	100.175

2	0.05	31.39	31.38	31.385	0.031385	0.00098502	94.110
3	0.05	30.05	30.05	30.05	0.03005	0.000903	102.658
Average							98.98097

C							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average^2	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	27.84	27.84	27.84	0.02784	0.00077507	119.603
2	0.05	32.97	32.97	32.97	0.03297	0.00108702	85.279
3	0.05	30.61	30.77	30.69	0.03069	0.00094188	98.421
Average							101.10077

Variasi 70ml Permukaan Luar

A							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average^2	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	30.07	30.07	30.07	0.03007	0.0009042	102.521
2	0.05	29.96	30.05	30.005	0.030005	0.0009003	102.966
3	0.05	29.67	29.73	29.7	0.0297	0.00088209	105.091
Average							103.526

B							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average^2	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	30.19	30.2	30.195	0.030195	0.00091174	101.674
2	0.05	28.9	28.9	28.9	0.0289	0.00083521	110.990
3	0.05	29.21	29.22	29.215	0.029215	0.00085352	108.610
Average							107.09118

C							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average^2	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)

1	0.05	29.4	29.42	29.41	0.02941	0.00086495	107.174
2	0.05	29.31	29.31	29.31	0.02931	0.00085908	107.907
3	0.05	29.9	29.88	29.89	0.02989	0.00089341	103.760
Average							106.28006

Raw Material Permukaan Dalam

A							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	40.57	40.57	40.57	0.04057	0.001646	56.321
2	0.05	40.81	40.81	40.81	0.04081	0.001665	55.660
3	0.05	39.62	39.64	39.63	0.03963	0.001571	59.024
Average							57.002

B							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	38.98	39.04	39.01	0.03901	0.001522	60.916
2	0.05	40.78	39.5	40.14	0.04014	0.001611	57.534
3	0.05	39.62	39.6	39.61	0.03961	0.001569	59.084
Average							59.178

C							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	40.01	39.98	39.995	0.039995	0.0016	57.952
2	0.05	41.66	41.7	41.68	0.04168	0.001737	53.361
3	0.05	40.11	40.33	40.22	0.04022	0.001618	57.305
Average							56.206

Konsentrasi 50ml Permukaan Dalam

A							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	41.74	41.74	41.74	0.04174	0.001742	53.207744
2	0.05	43.13	43.13	43.13	0.04313	0.00186	49.833434
3	0.05	39.56	40.5	40.03	0.04003	0.001602	57.850691
Average							53.630623

B							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	39.96	38.96	39.46	0.03946	0.001557	59.53407
2	0.05	39.12	40.18	39.65	0.03965	0.001572	58.964871
3	0.05	39.08	39.31	39.195	0.039195	0.001536	60.341819
Average							59.613586

C							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	39.09	39.1	39.095	0.039095	0.001528	60.650907
2	0.05	39.16	40.07	39.615	0.039615	0.001569	59.069108
3	0.05	41.38	41.38	41.38	0.04138	0.001712	54.13757
Average							57.952528

Konsentrasi 60ml Permukaan Dalam

A							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	38.88	38.88	38.88	0.03888	0.001512	61.323541
2	0.05	40.16	40.34	40.25	0.04025	0.00162	57.220015
3	0.05	39.83	39.81	39.82	0.03982	0.001586	58.462478
Average							59.002011

B							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	40.42	40.42	40.42	0.04042	0.001634	56.739711
2	0.05	41.39	41.38	41.385	0.041385	0.001713	54.12449
3	0.05	40.05	40.05	40.05	0.04005	0.001604	57.792927
Average							56.219043

C							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	37.84	37.84	37.84	0.03784	0.001432	64.740713
2	0.05	41.97	41.97	41.97	0.04197	0.001761	52.626174
3	0.05	40.61	40.77	40.69	0.04069	0.001656	55.989212
Average							57.785366

Konsentrasi 70ml Permukaan Dalam

A							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	40.07	40.07	40.07	0.04007	0.001606	57.73525
2	0.05	39.96	40.04	40	0.04	0.0016	57.9375
3	0.05	39.67	39.73	39.7	0.0397	0.001576	58.816438
Average							58.163063

B							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average ²	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm ²)	(kgf/mm ²)
1	0.05	40.19	40.2	40.195	0.040195	0.001616	57.376713
2	0.05	38.9	38.9	38.9	0.0389	0.001513	61.260499
3	0.05	39.21	39.22	39.215	0.039215	0.001538	60.280285

Average	59.639166
----------------	------------------

C							
Titik Uji	Load	D1	D2	D	D	Average^2	VHN
	kgf	(μm)	(μm)	(μm)	(mm)	(mm²)	(kgf/mm²)
1	0.05	39.4	39.42	39.41	0.03941	0.001553	59.685229
2	0.05	39.31	39.31	39.31	0.03931	0.001545	59.98928
3	0.05	40.9	40.88	40.89	0.04089	0.001672	55.442846
Average							58.372451

