TUGAS AKHIR – TM184835

PERBANDINGAN PENGARUH ELEKTROLIT ASAM DAN BASA DENGAN ADITIF NANOSILVER PADA PROSES COLOR ANODIZING TITATIUM

WILDHAN NUGROHO LATIEF
NRP 0211164000012

Dosen Pembimbing
Fahmi Mubarok., S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKONOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

TUGAS AKHIR – TM184835

PERBANDINGAN PENGARUH ELEKTROLIT ASAM DAN BASA DENGAN ADITIF NANOSILVER PADA PROSES COLOR ANODIZING TITATIUM

WILDHAN NUGROHO LATIEF
NRP 0211164000012

Dosen Pembimbing
Fahmi Mubarok., S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKONOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

FINAL PROJECT – TM184835

THE COMPARISON BETWEEN ACID AND BASE ELECTROLYTE IN TITANIUM COLOR ANODIZING PROCESS WITH NANOSILVER ADDITIVES

WILDHAN NUGROHO LATIEF
NRP 0211164000012

Advisory Lecturer
Fahmi Mubarok., S.T., M.Sc., Ph.D.

BACHELOR'S DEGREE
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEM ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2020

PERBANDINGAN PENGARUH ELEKTROLIT ASAM DAN BASA DENGAN ADITIF NANOSILVER PADA PROSES COLOR ANODIZING TITANIUM

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Wildhan Nugroho Latief

NRP. 02111640000012

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Fahmi Mubarok, S.T.,M.Sc.,PhD .....(Pembimbing)
   NIP. 197801152003121002
2. Putu Suwarta., S.T., M.Sc., PhD.. .(Penguji 1)
   NIP. 198203032009121007
3. Dr. Eng. Sutikno., S.T., M.T.....(Penguji 2)
   NIP. 197407032000031001
4. Suwarno., S.T., M.Sc., Ph.D.. .....(Penguji 3)
   NIP 198005202005001003

SURABAYA
AGUSTUS, 2020

PERBANDINGAN PENGARUH ELEKTROLIT ASAM DAN BASA DENGAN ADITIF NANOSILVER PADA PROSES COLOR ANODIZING TITANIUM

Nama Mahasiswa : Wildhan Nugroho Latief
NRP : 02111640000012
Departemen : Teknik Mesin FTIRS – ITS
Dosen Pembimbing : Fahmi Mubarok., ST., MSc., PhD

Abstrak

Dalam bidang kedokteran, titanium banyak digunakan untuk membuat implan seperti implant tulang pinggul dan lutut buatan, serta peralatan untuk memperbaiki tulang yang patah dan peralatan-peralatan untuk melakukan operasi. Dalam dunia kedokteran, dimensi dan jenis implan diidentifikasi berdasarkan warna. Hal ini dikarenakan pada saat operasi, waktu merupakan variabel yang krusial dimana pengalokasian waktu harus optimal untuk setiap subkegiatan. Dengan demikian pengidentifikasian ukuran implan berdasarkan warna membantu usaha optimisasi waktu tersebut. Untuk menjaga biokompatibilitas dari suatu implan titanium, pewarnaan implan dilakukan dengan proses anodizing.

Color anodizing dilakukan dengan sumber voltase *Direct Current* dengan Ti6Al4V sebagai anoda dan alumunium foil sebagai katoda. Pada eksperimen ini digunakan dua jenis elektrolit yaitu elektrolit asam sulfat (H_2SO_4 20 wt%) dengan pH 1,38 dan elektrolit basa trisodiumphospat (Na_3PO_4 0.002 wt%) dengan pH 11,43. Aditif nano silver sebesar 0.02 wt% ditambahkan agar lapisan TiO_2 yang terbentuk memiliki karakteristik antimicrobal dan antivirus. Percobaan dilakukan untuk beda potensial setiap kenaikan 20 V yang bervariasi (20 s.d. 120 V). Setelah proses anodizing, sampel dibilas dengan *deionized water* dan dikeringkan pada temperartur ruangan. Warna yang dihasilkan pada titanium setelah proses *anodizing* disebut sebagai interference colours. Dimana perbedaan ketebalan lapisan oksida akan memberikan perbedaan warna pada spesimen. Untuk mengkuantitatifkan suatu

warna diperlukan sebuah metode yaitu CIELab. Dengan alat *spectrophotometer* CM-700d didapatkan nilai *L**, *a** dan *b**, lalu selanjutnya didapatkan nilai *chromaticity* dan *wavelength* warna untuk setiap spesimen. Nilai *chromaticity* menunjukan intensitas (kepekatan) dari sebuah warna, sehingga semakin tinggi nilai *chromaticity* maka warna tersebut dapat dengan jelas untuk terlihat dan teridentifikasi oleh mata manusia.

Dari hasil penelitan diketahui bahwa Nilai *chromaticity* tertinggi diperoleh dengan elektrolit asam terdapat pada voltase 60 V yaitu sebesar 49,40 sedangkan dengan elektrolit basa terdapat pada voltase 20 V yaitu sebesar 35,98. Elektrolit asam dan basa mempengaruhi warna yang dihasilkan pada proses anodizing. Dengan membanding nilai *chromaticity* pada kedua elektrolit tersebut. Didapatkan pada voltase 20 V dan 40 V dihasilkan warna yang lebih pekat dengan menggunakan elektrolit basa dan pada voltase 60 V dan 80 V dihasilkan warna yang lebih pekat dengan menggunakan elektrolit asam. Untuk kedua elektrolit yaitu asam dan basa, kenaikan voltase dari 20 V sampai 80 V akan meningkatkan ketebalan lapisan oksida yang terbentuk pada titanium. Melalui pengujian EDS didapatkan bahwa dengan penambahan aditif nanosilver sebesar 0.02 wt% pada elektrolit asam dan basa pada saat proses anodizing tidak memberikan pengaruh terhadap pembentukan lapisan titanium dioksida dimana diharapkan akan ada partikel nanosilver yang ikut serta (*embedded*) dalam pembentukan lapisan titanium dioksida.

Kata kunci: Biokompatibilitas, chromaticity, color anodizing, CIELAB Color Space, implan, nanosilver, Ti6Al4V

THE COMPARISON BETWEEN ACID AND BASE ELECTROLYTE IN TITANIUM COLOR ANODIZING PROCESS WITH NANOSILVER ADDITIVES

Student Name : Wildhan Nugroho Latief
NRP : 02111640000012
Departement : Teknik Mesin FTIRS – ITS
Advisor : Fahmi Mubarok., ST., MSc., PhD

Abstract

In the medical field, titanium is widely used to make implants such as artificial hip and knee implants, as well as equipment for repairing broken bones and equipment for performing surgery. Implant size is identified by color, particulary at the time of surgery. In surgery, time is a crucial variable where the time allocation must be optimal for each sub-activity. Thus, the identification of implant size by color helps to optimize this time. To maintain the biocompatibility of a titanium implant, the implant is colorized by anodizing process.

Color anodizing is conducted using Direct Current power supply with Ti6Al4V as anode and alumunium foil as cathode. In this experiment, two types of electrolytes were used, sulfuric acid electrolyte (20 wt% H_2SO_4) with a pH of 1,38 and trisodiumphospat (0,002 wt% Na_3PO_4) with a pH of 11,43. Nanosilver additive (0,02 wt%) was added so that the TiO_2 layer formed has antimicrobial and antibacterial characteristics. Experiments were carried out for the potential difference for each varying 20 V increase (20 to 120 V). After the anodizing process, the samples were rinsed with deionized water and dried at room temperature. The color produced on the titanium surface after anodizing is known as interference colors. Where the difference in the thickness of the oxide layer will provide a color difference to the specimen. CIELab method is needed to quantify a color difference of titanium. Using the CM-700d spectrophotometer, the values for L^*,a^* and b^* were obtained, the the chromaticity and

wavelength values for each specimen were obtained. The chromaticity value shows the intensy of a color, so that the higher chromaticity value, the color can be clearly seen and identified by the human eye

In this experimental study, it is known that the highest chromaticity value obtained with acid electrolytes is found at a voltage of 60 V which is equal to 49,40, while with base electrolytes found at 20 V which is equal to 35,98. Acid and base electrolytes give effect to the color produced in the anodizing process. By comparing the chromaticity values of the two electrolytes. Obtained at a voltage of 20 V and 40 V produced a darker color using a base electrolyte and at a voltage of 60 V and 80 V a darker color was produced using an acid electrolyte. For both acid and base electrolytes, increasing the voltage from 20 V to 80 V will increase the thickness of the oxide layer formed on titanium. Through the EDS test, it was found that the addition of 0.02 wt% nanosilver additives to acid and base electrolytes during the anodizing process did not have an effect on the formation of the titanium dioxide layer where it was expected that nanosilver particles would be embedded in the formation of the titanium dioxide layer.

Key Word: Biocompatibility, , chromaticity, color anodizing, CIELAB Color Space, implant, nanosilver, Ti6Al4V

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Allah SWT yang telah melimpahkan berkah, rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga bisa menuntaskan penulisan tugas akhir dengan judul **Perbandingan Pengaruh Elektrolit Asam Dan Basa Dengan Aditif Nanosilver Pada Proses Color Anodizing Titanium** sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, ITS.

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, dukungan moral, materiil dan spiritual telah banyak diberikan oleh banyak pihak demi kelancaran penyusunan. Dengan demikian, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih dan penghargaan setinggi – tingginya kepada:

1. Bapak **Fahmi Mubarok., S.T., M.Sc., Ph.D.** selaku dosen pembimbing, atas dedikasihnya dalam membimbing penulis.
2. Bapak **Putu Suwarta., S.T., M. Sc., PhD.**, **Dr. Eng. Sutikno., S.T., M.T.**, dan **Suwarno., S.T., M.Sc., Ph.D.** selaku dosen penguji seminar dan sidang Tugas Akhir, atas kritik, saran serta *insight* yang membangun dalam penyempurnaan penulisan Tugas Akhir ini.
3. Orang tua penulis, Bapak **Ridwansyah** dan Ibu **Erianty Kusuma Dewi**, atas segala dukungan dan doanya yang tidak ada hentinya diberikan.
4. *Partner* penulis dalam segala hal, **Suksmatatya Paramesti**., yang tak kunjung henti dengan sabar menemani dan membantu penulis dalam serangkaian proses pengerjaan Tugas Akhir. Terimakasih atas dukungannya selama ini.
5. Adik penulis, **Wanda Nadilla** dan **Wianda Nirmala Sari** atas dukungan yang selalu diberikan

6. Staff dan karyawan Departemen Teknik Mesin atas kinerjanyanya sebagai fasilitator eksperimen, seminar proposal dan sidang Tugas Akhir sehingga ketiganya dapat berjalan dengan baik.
7. Rekan – rekan seperjuangan tugas akhir, **Mbak Amanda**, **Mas Reyhan**, **Ghusti**, **Pieter**, **Yosua** dan seluruh Rakyat Laboratorium Metalurgi atas ilmu dan cerita.
8. Rekan – rekan Kurnia Kos; **Bagus**, **Vano**, **Raka**, **Raihan**, **Fatir**, **Yusuf**, **Hildan** dan yang lainnya atas hiburan dan fasilitas selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
9. Segenap warga WarCip; **Bor**, **Yc**, **Aji**, **Bijey**, **Jare, Macil**, **Panjul**, **Malik** dan yang lainnya atas dukungan moralnya selama perkuliahan sejak SMA dalam situasi suka dan duka.
10. **BPH HMM 2018/2019** dan **KWU HMM 2018/2019** yang telah memberikan banyak pengalaman baru bagi penulis selama menempuh kuliah.
11. Semua pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tuga akhir ini. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari segala pihak. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis,
Wildhan Nugroho Latief

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Rumusan Masalah 3

1.3. Tujuan Penelitian 3

1.4. Batasan Penelitian 3

1.5. Manfaat Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1. Biomaterial Logam 5

2.2. Titanium dan paduannya 6

2.3. Titanium Grade 5 (Ti-6Al-4V) 8

2.4. Color Anodizing 11

2.5. Nanosilver 15

2.6. CIELAB Color Space 17

2.7. Pengaruh Elektrolit dan Voltase pada Proses Anodizing 19

..... 22

BAB III METODE PENELITIAN 23

3.1. Diagram Alir Penelitian 23

3.2. Bahan Penelitian 24

3.3. Alat Penelitian 24

3.4. Persiapan Penelitian 27

3.4.1. Pembuatan Spesimen Ti6Al4V 27

3.4.2. Pembuatan Larutan dan Proses Anodizing .29
3.5. Pengujian.....30
3.5.1. Spectrophotometer 31
3.5.2. Scanning Electron Microscopy (SEM) & Energy Dispersive X-Ray 33
3.6. Hasil Analisis Data 34
BAB IV DATA DAN ANALISA.....37
4.1. Hasil Color Anodizing 37
4.1.1. Color Anodizing dengan Elektrolit H_2SO_4 .38
4.1.2. Color Anodizing dengan Elektrolit Trisodiumphospat 45
4.1.3. Perbandingan Color *Anodizing* Elektrolit H_2SO_4 dan *Trisodiumphospat* 52
4.1.4. Color *Anodizing* dengan Aditif Nanosilver.55
4.2. Hasil Pengujian *Spectrophotometer*.....56
4.2.1. Hasil Pengujian *Spectrophotometer* dengan Elektrolit H_2SO_4.....59
4.2.2. Hasil Pengujian *Spectrophotometer* dengan Elektrolit *Trisodiumphospat* 61
4.2.3. Perbandingan Hasil Pengujian *Spectrophotometer* Elektrolit H_2SO_4 62
4.3. Perhitungan dan Analisis Ketebalan Lapisan Oksida Titanium.....66
4.4. Anomali Hasil Anodizing pada Voltase 100V dan 120V 72

4.5. Analisa Hasil SEM dan EDS pada Permukaan Material 77
..... 84
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 85
5.1. Kesimpulan 85
5.2. Saran 86
DAFTAR PUSTAKA 87
..... 92
LAMPIRAN 93

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aplikasi biomaterial pada medical screw implant. (Schoenbaum, T., 2019) 5
Gambar 2.2 Mikrostruktur Ti-6Al-4V (Lutjering G, 2017) 9
Gambar 2.3 Diagram Fasa Biner Ti-6Al-4V (*Prithviraj, 2012*) .. 10
Gambar 2.4 Skema Anodisasi (*Wadhawani et al, 2018)* 13
Gambar 2.5 Standarisasi warna untuk baut implan (*Wigfield et al, 2003*) 15
Gambar 2.6 Mikrostruktur Nano-silver (*Suvannapruk et al, 2013)* 16
Gambar 2.7 3D CIELAB *color space* (*Ohno Y, 2000*) 17
Gambar 2.8 Pengaruh elektrolit asam pada proses anodizing. (Ali Karambakhsh et al, 2010) 20
Gambar 2.9 Perbedaan warna akibat perbedaan voltase. Dari kiri ke kanan: tidak dianodasi; 10V (emas); 15V (cokelat); 20V (ungu); 25V (biru tua); 30V, 35V, 40V (biru muda); 45V (biru pucat) dan 50V (putih/kuning) (Wadhawani et al, 2018) 21
Gambar 2. 10 Perbedaan warna akibat perbedaan voltase. Dari kiri ke kanan: 55V (putih/kuning); 60V, 65V (kuning); 70V (merah muda/kuning); 75V (merah muda); 80V (merah muda) dan 85V (merah muda/ungu) (Wadhawani et al, 2018) 21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 23
Gambar 3.2 Mesin *wire cut* 25
Gambar 3.3 *Grinder – Polisher* GRIPO 300-1V 26
Gambar 3.4 *DC Power Supply* 26
Gambar 3.5 pH Meter 27
Gambar 3.6 Spesimen Ti6Al4V 29
Gambar 3.7 Skema *color anodizing* 30
Gambar 3.8 Spectrophotometer CM-700d 31
Gambar 3. 9 The Visible Light Spectum (ThoughtCo, 2020) 32
Gambar 3.10 Alat Uji SEM dan EDX 33
Gambar 4.1 Nilai Kromatisitas dan Lightness Anodizing dengan Elektrolit Asam 59

Gambar 4. 2 Nilai Kromatisitas dan *Lightness Anodizing* dengan Elektrolit Basa.....61
Gambar 4.3 Perbandingan Nilai Kromatisitas Elektrolit Asam dan Basa.....63
Gambar 4.4 Perbandingan Nilai Lightness Elektrolit Asam dan Basa.....64
Gambar 4.5 Mekanisme *interference color (Architectural Titanium, 2020).*.....67
Gambar 4.6 *Spectrum Visible Chart* (*ThoughtCo, 2020*).....67
Gambar 4.7 Hubungan Voltase terhadap Ketebalan Lapisan Oksida pada Anodizing dengan Menggunakan Elektrolit Asam.71
Gambar 4.8 Hubungan Voltase terhadap Ketebalan Lapisan Oksida pada *Anodizing* dengan Menggunakan Elektrolit Basa ...72
Gambar 4.9 Hubungan Voltase terhadap Ketebalan Lapisan Oksida terhadap warna pada Anodizing (Matt Wikstrom, 2018) 75
Gambar 4.10 Hubungan Ketebalan Lapisan Oksida.....76
Gambar 4.11 Hasil Spektrum Material Ti6Al4V hasil anodizing elektrolit asam dengan penambahan aditif nanosilver 78
Gambar 4.12 Hasil SEM Ti6Al4V dengan elektrolit asam dan penambahan aditif nanosilver pada 100 V 80
Gambar 4.13 Hasil Spektrum Material Ti6Al4V hasil anodizing elektrolit basa dengan penambahan aditif nanosilver 81
Gambar 4.14 Ti6Al4V hasil anodizing elektrolit basa dengan penambahan aditif nanosilver pada 100 V 82

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Ti-6Al-4V (ASTM F136) 10
Tabel 2. 2 Sifat Mekanik yang Dibutuhkan untuk Ti-6Al-4V sebagai Material Implan (ASTM F136).....11
Tabel 2.3 ketebalan lapisan oksida yang terbentuk (*Manjajah et al, 2017)* 13
Tabel 2.4 Parameter warna proses *anodizing* pada setiap voltase. (*Ali Karambakhsh et al, 2010*).....18
Tabel 3. 1 Perbandingan Komposisi kimia berdasarkan ASTM F136 dan hasil uji OMS 34
Tabel 4. 1 Hasil Anodizing Elektrolit Asam pada Variasi Waktu yang Berbeda.....41
Tabel 4.2 Hasil Anodizing dengan Elektrolit Asam 43
Tabel 4.3 Hasil Anodizing Elektrolit Basa pada Variasi Waktu yang Berbeda.....48
Tabel 4.4 Hasil Anodizing dengan Elektrolit Basa.....49
Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Anodizing dengan Menggunakan Elektrolit Asam dan Basa.....53
Tabel 4.6 Hasil Anodizing dengan Penambahan aditif nanosilver 56
Tabel 4.7 Hasil Pengujian spectrophotometer 57
Tabel 4.8 Nilai chromaticity 58
Tabel 4.9 Panjang gelombang sampel anodizing dengan elektrolit asam 68
Tabel 4.10 Panjang gelombang sampel anodizing dengan elektrolit basa 68
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Ketebalan Lapisan Oksida Film pada Proses Anodizing dengan Elektrolit Asam.....70
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Ketebalan Lapisan Oksida *Film* pada Proses *Anodizing* dengan Elektrolit Basa 70
Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Anodizing pada Voltase Tinggi dengan Elektrolit Asam.....73
Tabel 4.14 Perbandingan Hasil Anodizing pada Voltase Tinggi dengan Elektrolit Basa 73

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material titanium makin banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari manusia. Mulai dari kerangka kaca mata, peralatan olahraga, dan komponen jam tangan. Titanium memilki *density* yang rendah sehingga ringan, memiliki kekuatan dan kekerasan yang tinggi serta ketahanan korosi yang tinggi. Titanium adalah logam transisi ringan dengan warna putih perak, logam ini membentuk lapisan oksida pelindung pasif saat terkena udara pada suhu tinggi yang menyebabkannya tahan terhadap korosi. Titanium merupakan unsur kesembilan paling banyak terdapat di kerak bumi. Karena sifatnya, paduan titanium banyak digunakan pada industri pesawat terbang, pipa untuk pembangkit, pelapis baja, industri kapal laut, serta rudal. Dalam dunia kedokteran, titanium banyak digunakan untuk membuat implan tulang pinggul dan lutut buatan, serta pen untuk memperbaiki tulang yang patah. Dalam dunia kedokteran, dimensi dan jenis implan diidentifikasi berdasarkan warna. Hal ini dikarenakan pada saat operasi, waktu merupakan variabel yang krusial dimana pengalokasian waktu harus optimal untuk setiap subkegiatan. Dengan demikian warna pada implan dapat membantu dan mempersingkat waktu tim medis dalam proses pengidentifikasian dimensi implan yang akan digunakan pada saat operasi.

Biokompatibilitas titanium dan paduan titanium utamanya ditentukan oleh lapisan oksida yang terbentuk secara spontan ketika material tersebut mengalami kontak dengan oksigen. Lapisan ini transparan dan tipis [28]. Ketika cahaya putih jatuh pada lapisan ini, permukan

logam bagian bawah dipantulkan dan dihasilkan warna abu logam. Namun, jika lapisan oksida ini dipertebal maka akan terjadi fenomena pembentukan warna secara natural atau yang sering disebut sebagai *light interference effects*,[28].Warna merah muda dan kuning merupakan warna yang paling berguna dalam meningkatkan estetika komponen implan di bawah jaringan gingival dan untuk substruktur *implant prosthesis*. Salah satu metode untuk menaikkan ketebalan lapisan oksida adalah menggunakan *anodization*.[15] Proses *anodizing* hanya memodifikasi permukaan material saja, sehingga *mechanical properties* pada material relatif tidak berubah.

Proses anodizing pada titanium dan paduan titanium sering disebut sebagai *color anodizing* karena, ketika titanium atau paduan titanium dihubungkan secara elektrolit dan elektronik maka akan terjadi fenomena pembentukan lapisan oksida pada permukaan, dimana lapisan oksida ini mempunyai karakteristik warna tergantung pada voltase serta media yang diberikan pada proses *anodizing*.[29] Sehingga proses *color anodizing* sering dipakai khususnya untuk memberikan warna pada implant tubuh untuk membantu tenaga medis dalam mengidentifikasi atau mengkategorikan implant yang akan digunakan. Selain itu, proses pewarnaan ini tidak menggunakan zat pewarna sehingga tidak akan mempengaruhi dari biokompatibilitas material.[28]

Penambahan zat aditif *nanosilver*, berfungsi sebagai antibakteri.[16]. Sebagai antibakteri yang kuat, *nanosilver* mempunyai sifat yang reaktif secara kimia dan mudah terionisasi serta kemampuan antimikroba *nanosilver* yang dapat membunuh mikroorganisme patogenik.[22].Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan elektrolit asam yaitu H_2SO_4 dan basa yaitu Trisodium Fosfat untuk mengembangkan dan merumuskan hubungan antara *range* voltase *anodizing,*

elektrolit dan pembentukan warna pada titanium grade 5 (Ti6Al4V) sehingga didapatkan voltase spesifik yang dapat menghasilkan pola *color interference* yang paling tepat untuk komponen implan dan substruktur

1.2. Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh voltase terhadap warna yang dihasilkan pada proses color *anodizing* titanium *grade* 5
2. Perbandingan pengaruh elektrolit asam dan basa terhadap warna yang dihasilkan pada proses *color anodizing* titanium *grade* 5
3. Apakah penambahan aditif nanosilver berpengaruh terhadap lapisan TiO2 yang dihasilkan pada proses *color anodizing* titanium grade 5

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh voltase terhadap warna yang dihasilkan pada titanium *grade 5*
2. Melihat pengaruh elektrolit asam dan basa terhadap warna yang dihasilkan pada proses *color anodizing* titanium *grade 5*
3. Melihat pengaruh aditif nanosilver pada proses *color anodizing* titanium

1.4. Batasan Penelitian

1. Temperatur elektrolit tidak mempengaruhi reaksi dalam proses *color anodizing*

2. Dimensi, tebal dan *surface finish* dari setiap spesimen titanium diasumsikan sama.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik untuk berbagai kalangan, adapun manfaat yang bisa diberikan yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi peneliti dan komunitas ilmiah.
2. Penelitian ini diharapkan dapat membantu industri dalam penetuan pewarnaan pada titanium dengan proses color anodizing
3. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi dunia kedokteran.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biomaterial Logam

Secara umum biomaterial dapat diartikan sebagai suatu substansi/material yang telah direkayasa dari suatu bentuk, sendiri atau sebagian dari suatu sistem yang kompleks, yang digunakan untuk mengarahkan, dengan cara mengontrol interaksi substansi dengan komponen sistem hidup, dan telah diuji secara *in vitro, in vivo,* maupun uji klinis pada manusia [32]. Biomaterial merupakan bidang dengan berbagai disiplin ilmu yang memerlukan pengetahuan dan pemahaman mengenai ilmu dasar dari sifat-sifat material secara umum dan interaksi material dengan lingkungan. [32]

Gambar 2.1 Aplikasi biomaterial pada medical screw implant. (*Schoenbaum, T., 2019*)

Adapun hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan biomaterial. Penggantian atau perbaikan anggota badan , jaringan, organ, atau fungsi menandakan bahwa material yang digunakan harus mempunyai sifat mekanik, fisis, dan

kimia yang khusus serta memperhatikan keadaan dimana tidak terjadi interaksi berbahaya antara biomaterial dengan sistem biologis dan sebaliknya yang disebut biokompatibilitas [4]. Biomaterial bisa berupa material keramik, polimer dan logam. Baja tahan karat (*stainless steel)*, paduan Co-Cr dan paduan Ti banyak digunakan sebagai material implan dalam dunia kedokteran dan sudah banyak biomaterial mendapat standar internasional dalam berbagai aplikasinya. Implan dengan bahan titanium sering digunakan untuk menggantikan jaringan keras yang rusak, seperti, sendi panggul buatan, sendi lutut buatan, plat tulang, implan gigi dan keperluan gigi lainnya, seperti mahkota gigi dan gigi palsu. Titanium dan paduannya sangat unggul dalam dunia biomedis, karena memiliki sifat seperti, modulus elastis yang sangat baik, sifat tahan korosi yang baik dan memiliki densitas rendah. Titanium juga dianggap sebagai bahan biologis paling kompatibel pada jaringan vital dan memiliki sifat mekanik yang baik, dan tahan terhadap korosi [23]. Menurut Donachie, titanium memiliki sifat ketahanan korosi dan rasio kekuatan terhadap densitasnya yang paling baik di antara semua logam lain [7]. Beberapa keunggulan titanium dibanding logam lain yaitu:

- Titanium memiliki kekuatan yang sama dengan *low carbon steel* namun hanya memiliki 60% dari berat baja tersebut.
- Dengan rasio berat-kekuatan yang lebih rendah daripada aluminium, maka komponen-komponen yang terbuat dari titanium membutuhkan ruang yang lebih sedikit dibanding aluminium. [5]

2.2. Titanium dan paduannya

Titanium memiliki sifat utama yaitu kekuatan yang tinggi, densitas yang rendah dan ketahanan korosi yang

sangat baik. Hal ini yang membuat titanium banyak diaplikasikan di berbagai bidang seperti bidang *aerospace* (kekuatan tinggi dalam kombinasi dengan kepadatan rendah), *aero-engine* (kekuatan yang tinggi, densitas yang rendah, dan ketahanan mulur yang baik hingga sekitar 550° C). Titanium memiliki ketahanan korosi yang baik serta kekuatan yang tinggi, hal ini yang menyebabkan titanium juga banyak diaplikasikan dalam bidang biomedis. Salah satu pengaplikasian titanium dalam bidang biomedis adalah pada pembuatan gigi palsu, alat-alat bedah, dan ortopedi implan [14].

Titanium mempunyai bentuk *allotrophy.* Pada temperatur rendah hingga temperatur 885° C, titanium memiliki fasa α dengan struktur kristal *hexagonal-close-packed* (HCP) dan diatas temperatur 885° C, titanium akan berubah menjadi fasa β yang mempunyai struktur kristal *base-centered-cubic* (BCC). Paduan titanium dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu paduan *alpha* (α), paduan *beta* (β), dan paduan *alpha-beta* [2].

Paduan *alpha titanium* memiliki ketahanan mulur yang lebih tinggi dibandingkan dengan paduan beta dan lebih banyak digunakan untuk aplikasi pada temperatur tinggi. Paduan ini memiliki ketahanan korosi yang baik dan mempunyai kekuatan yang baik. Paduan alpha titanium tidak dapat diperkuat dengan perlakuan panas, berbeda dengan paduan beta. Paduan alpha tergolong paduan titanium yang mempunyai unsur paduan berupa penstabil alpha, seperti alumunium, gallium, zirconium, tin, nitrogen da noksigen. Paduan penstabil alpha dapat menaikkan temperatur transisi sehingga transformasi fasa α dan β akan terjadi pada temperatur diatas 885° C. Seperti paduan alpha titanium yaitu titanium murni, Ti-2.5Cu dan Ti-5Al-2.5Sn [20].

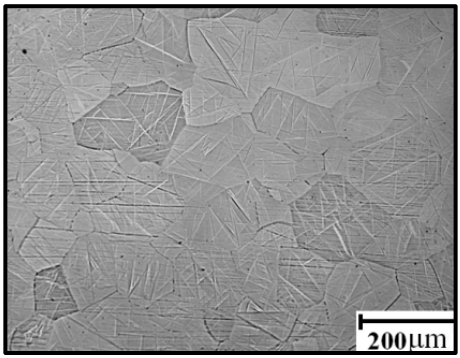
Paduan β terdiri atas titanium dengan unsur paduan berupa penstabil beta, seperti vanadium, niobium, dan

molibdenum. Berkebalikan dengan penstabil α, penstabil β bekerja dengan menurunkan temperatur transisi sehingga fasa β lebih mudah dibentuk walaupun tanpa adanya perlakuan panas, sehingga paduan ini dapat memiliki kekerasan dan kelutetan yang baik.

Paduan α+β adalah paduan titanium yang memiliki penambahan penstabil α atau penstabil β. Penstabil α berfungsi sebagai penguat matriks paduan, sedangkan adanya penstabil β akan mempermudah dalam proses pembentukan paduan. Paduan tersebut sangat stabil dikarenakan memiliki sebagian sifat paduan α dan sebagian sifat paduan β. Paduan ini banyak digunakan karena memiliki sifat yang seimbang, diantaranya adalah memiliki ketahanan korosi sangat tinggi, dan mudah dibentuk. Contoh paduan titanium yang memiliki fase α+β yaitu Ti-6Al-4V [2].

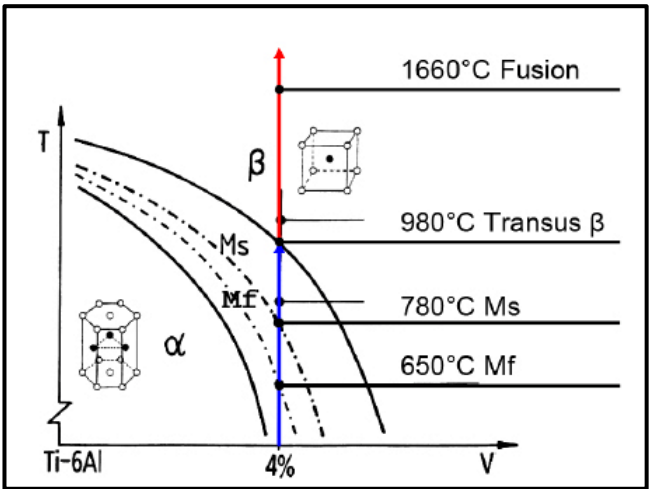
2.3. Titanium Grade 5 (Ti-6Al-4V)

Paduan titanium yang paling banyak dipilih sebagai material implan adalah paduan titanium jenis α + β, Ti-6Al-4V. Karena memiliki performa yang lebih baik dibandingkan jenis paduan titanium lain, paduan titanium ini banyak dipilih sebagai bahan dasar implan ortopedi (Morita et al, 2005). Pada gambar 2.2 ditampilkan gambar mikrostruktur dari paduan Ti-6Al-4V. Menurut ASTM B348, paduan titanium diklasifikasikan menjadi 38 grade. Titanium Ti-6Al-4V dituliskan sebagai grade 5. Titanium Ti-6Al-4V merupakan logam dengan sifat ketahanan korosi yang baik. Dalam lingkungan larutan berprotein, titanium memiliki laju korosi yang lebih rendah dari stainless steel 316. [2]



Gambar 2.2 Mikrostruktur Ti-6Al-4V (*Lutjering G, 2017*)

Penambahan elemen paduan ke titanium Ti-6Al-4V ditujukan untuk memungkinkan paduan titanium tersebut memiliki dua fasa, karena aluminium cenderung menstabilkan fasa α dan vanadium cenderung menstabilkan fasa β, serta menurunkan temperatur transformasi dari α ke β. Alpha fase meningkatkan kemampuan las yang baik, karakteristik kekuatan yang sangat baik dan ketahanan oksidasi. Penambahan jumlah vanadium yang terkontrol sebagai β-stabilizer menyebabkan kekuatan yang lebih tinggi dari fase beta untuk bertahan di bawah suhu transformasi yang menghasilkan dua fase sistem[25]. Dalam perlakuan panas, fase β dapat mengendap oleh perlakuan panas aging. Paduan Ti-6Al-4V memiliki diagram fasa biner yang ditampilkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram Fasa Biner Ti-6Al-4V
(Prithviraj, 2012)

Titanium Ti-6A1-4V dalam kegunaannya sebagai material implant, berdasarkan pada standar ASTM F1108 dan ASTM F136, dimana komposisi kimia tersebut ditampilkan pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Ti-6Al-4V (ASTM F136)

Elemen	**Komposisi (%)**	**Toleransi Komposisi Elemen**
N, max	0.05	0.02
C, max	0.08	0.02
H, max	0.012	0.003

Fe, max	0.25	0.08
O, max	0.13	0.04
Al	5.50-6.50	0.40
V	3.5-4.5	0.15
Ti	Bal	

Pada dasarnya, syarat dalam penggunaan material implan harus memiliki kriteria sifat mekanik sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Sifat Mekanik yang Dibutuhkan untuk Ti-6Al-4V sebagai Material Implan (ASTM F136)

Kekuatan Tarik Minimimum, psi (MPa)	**Yield Strength, (0.2% offset), min, psi (MPa)**	**Elongasi min, %**	**Reduksi Luas Permukaan, min %**
125000 (860)	115000 (795)	8	25

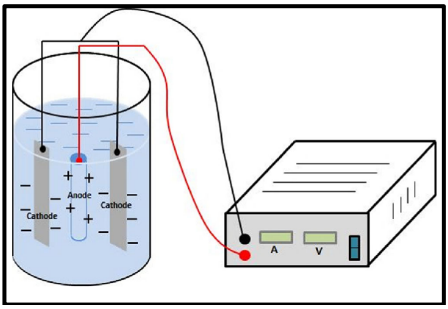
2.4. Color Anodizing

Anodizing adalah proses elektrokimia konversi untuk membentuk lapisan oksida pada permukaan logam tertentu dengan tujuan mempertebal lapisan oksida alami pada logam tersebut (Imam, 2011). Lapisan anodik dapat menjadi kunci dalam proses pewarnaan dan perlakuan pasivasi pada permukaan logam. Proses *Anodizing* atau anodisasi biasanya dipakai pada logam aluminium, namun proses ini juga sering dipakai terhadap logam logam

lainnya, yaitu tembaga, kadmium, magnesium, seng, titanium, tantalum, niobium, zirconium, dan logam lainnya. (Gabe, 1978). Warna yang dihasilkan pada proses *anodizing* bukanlah akibat pigmen atau pewarna. Warna tersebut dihasilkan oleh sebuah lapisan tipis dan transparan pada *reflective surface*. Lapisan tersebut memiliki kemampuan untuk memantulkan, membiaskan dan meneruskan cahaya. Cahaya putih jatuh yang jatuh pada lapisan tersebut akan sebagian dipantulkan dan sebagian lainnya diteruskan. Pembiasan yang diteruskan akan mencapai permukaan logam yang kemudian sebagian diserap namun sebagian besar dipantulkan kembali menuju lapisan oksida. Pergeseran fase terjadi pada peristiwa ini, bersamaan dengan refleksi lainnya. Tingkat penyerapan tergantung pada ketebalan lapisan oksida. Perbedaan ketebalan menyebabkan variasi *luminous flux,* indeks pembiasan dan indeks pemantulan, serta menghasilkan beberapa warna spesifik. (Manjaiah M. et al., 2017).

Menurut Gabe, 1978 pada buku *Principles of Metal Surface Treatment and Protection,* proses dari anodizing ialah sebagai berikut :

a. *Surface preparation* atau preparasi permukaan yaitu dengan *shot blasting*, *brushing,* dan *polishing* tujuan dari *surface preparation* ialah untuk memastikan permukaan logam rata dan siap untuk langkah selanjutnya.
b. *Degreasing* dan *cleaning* bertujuan untuk mnenghilangkan pengotor seperti oli dan minyak pada permukaan logam.
c. *Electrobrightening* atau *polishing* (pemolesan) untuk mengurangi kekasaran permukaan logam.
d. *Anodizing*
e. Pewarnaan dan perlakuan setelah anodizing
f. Penutupan pori anodizing



Gambar 2.4 Skema Anodisasi (*Wadhawani et al, 2018)*

Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa prinsip dasar proses *anodizing* adalah elektrolisis. Pada proses elektrolisis komponen yang terpenting adalah elektroda dan elektrolit. Pada proses elektrolisis katoda merupakan kutub negatif (sebagai penghantar benda kerja) dan anoda merupakan kutub positif (benda kerja). Elektrolisis menggunakan prinsip berlangsungnya reaksi kimia oleh arus listrik. Pada proses *anodizing* komponen yang terpenting adalah elektroda dan elektrolit. Karakteristik dalam lapisan *anodizing* menghasilkan suatu lapisan tipis oksida yang baik terhadap logam dasarnya [29].

Penelitian yang dilakukan oleh Ali Karambakhsh et al (2010) dengan menggunakan alat *spectrophotometer* menunjukan dengan menaikan voltase *anodizing* akan meningkatkan ketebalan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan titanium. Ketebalan lapisan oksida yang terbentuk pada proses *color anodizing* titanium dengan menggunakan elektrolit H_2SO_4 dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ketebalan Lapisan Oksida yang Terbentuk (*Manjajah et al, 2017)*

Sample no.	Anodizing voltage, V	λ_{max}, nm	Anodic film refractive index	Anodic film thickness, nm
1	5	259	1.458	44
2	10	319	1.454	84
3	15	348	1.451	59
4	20	366	1.449	63
5	25	398	1.446	68
6	30	452	1.440	78
7	35	541	1.427	94
8	40	519	1.430	90
9	45	545	1.427	95
10	50	569	1.423	99
11	55	643	1.410	114
12	60	780	1.379	141
13	65	802	1.374	145
14	70	826	1.376	150
15	75	912	1.342	169
16	80	1000	1.311	190

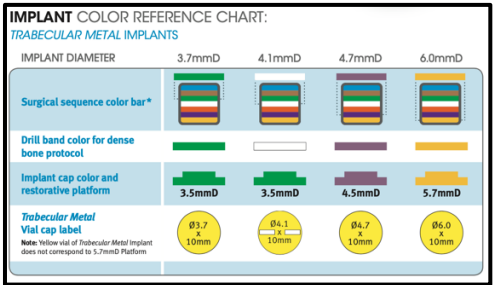
2.4.1 Elektroda

Elektroda adalah sebuah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian sebuah non-logam dari sebuah sirkuit. Pada proses *anodizing* digunakan titanium sebagai anoda dan logam alumunium sebagai katoda. Elektron dalam sebuah sel elektrolisis ditunjuk sebagai anoda atau sebuah katoda. Anoda didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron memasuki sel dan oksidasi terjadi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung tegangan yang diberikan ke sel elektrolit

2.4.2 Elektrolit

Komponen yang tidak kalah penting lainnya yaitu larutan elektrolit. Elektrolit adalah suatu senyawa yang bila dilarutkan dalam pelarut akan menghasilkan larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Elektrolit sering diklasifikasikan berdasarkan kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik. Elektrolit yang dapat menghantarkan dengan baik

digolongkan kedalam elektrolit kuat, contohnya yaitu asam klorida (HCl), asam sulfat (H_2SO_4), dan asam nitrat (HNO_3). Selain elektrolit kuat, ada pula golongan elektrolit lemah seperti asam cuka encer (CH_3CO_2H), aluminium hidroksida, kalium karbonat ($CaCO_3$). Elektrolit juga dibedakan menjadi elektrolit asam dengan pH dibawah 7 dan elektrolit basa dengan pH diatas 7.



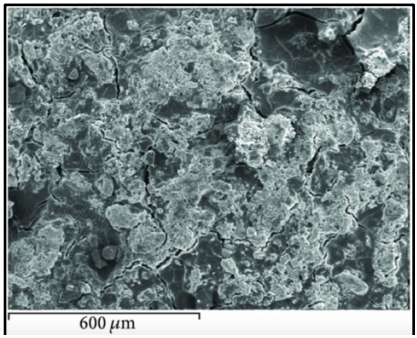
Gambar 2.5 Standarisasi warna untuk baut implan (*Wigfield et al, 2003*)

2.5. Nanosilver

Nanoteknologi adalah ilmu yang berkembang dengan pesat hingga saat ini dan berukuran nano dalam nanometer (1nm = 1 milliar meter). Salah satu pemanfaatan nanomaterial yang berkembang sekarang serta banyak digunakan untuk produk perawatan dan kesehatan adalah *nano-silver*. Perak telah digunakan dalam bidang medis selama lebih dari 100 tahun dikarenakan memiliki sifat antibakteri dan antijamur alami. Partikel nano-silver biasanya berukuran 25nm. [30]

Partikel *nano-silver* ketika terkena kontak dengan bakteri dan jamur akan berdampak buruk pada metabolisme sel dan menghambat pertumbuhan sel bakteri atau jamur tersebut. Nano-silver menghambat respirasi,

basal metabolisme dari transfer elektron sistem dan pengangkutan substrat dalam membran sel mikroba. Nano-silver menghambat multiplikasi serta pertumbuhan bakteri dan jamur yang menyebabkan infeksi, bau, gatal dan luka. Nano-silver banyak diterapkan untuk berbagai produk perawatan kesehatan seperti pembalut luka bakar, donor kulit, luka jerawat, produk kesehatan wanita, handuk dan celana sanitasi. [30]



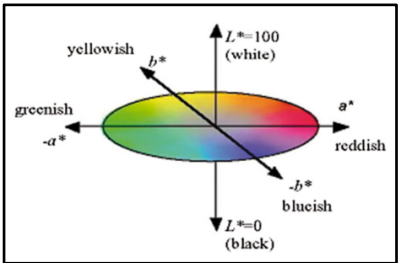
Gambar 2.6 Mikrostruktur Nano-silver (*Suvannapruk et al, 2013)*

Meskipun banyak orang mengetahui bahwa silver memiliki karakteristik antibakteri dan antibiotik yang unggul namun ada batasan pada aplikasi dalam kehidupan nyata dikarenakan silver akan menghitam pada temperatur tinggi dan harga yang mahal. Nanoteknologi menyelesaikan dua masalah ini secara bersamaan. Nanoteknologi merupakan pemrosesan bahan hingga mencapai ukuran nanometer (1nm = 10-9mm, 1/10.000 ketebalan rambut). Nano-silver akan bergabung dengan dinding sel bakteri pathogen, kemudian akan langsung masuk ke dalam bakteri dan dengan cepat bergabung dengan sulphydryl (-SH) enzim metabolik oksigen untuk menonaktifkannya, untuk memblokir inhalasi,

metabolisme dan mengisolasi bakteri. Saat ini, teknologi nano-silver digunakan untuk pelapisan permukaan elektronik, karbon, tekstil, logam, kayu, keramik, kaca dan banyak lainnya.

2.6. CIELAB Color Space

CIELAB *color space* atau biasa disebut dengan CIE L*a*b* adalah metode pengukuran warna yang ditemukan oleh *International Commission on Illumination* (CIE) pada tahun 1976. Metode ini mendefinisikan warna menjadi tiga jenis: L^* menunjukan gelap terangnya warna dari hitam (0) ke putih (100), a^* dari hijau (-) ke merah (+), dan b^* dari biru (-) ke kuning (+).[11] Bergerak menjauhi titik pusat (a, b) = (0, 0) akan meningkatkan saturasi dari warna seperti pada gambar 2.6.[23] CIELAB telah dirancang sedemikian rupa supaya sehingga jumlah perubahan numerik akan sama dengan jumlah perubahan yang dirasakan secara visual. Karena dihitung dengan menggunakan tiga parameter, maka akan memungkinkan untuk terjadinya banyak warna hingga sampai tak hingga. [8]



Gambar 2.7 3D CIELAB *color space* (*Ohno Y, 2000*)

Saturasi warna yang mana menunjukan nilai dari suatu warna dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini: [18]

$$Chromaticity = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Konsep warna dapat dibagu menjadi duas aspek yaitu kecerahan dan kromatisitas. Kromatisitas (*Chromaticity*) adalah spesifikasi obyektif dari kualitas warna yang terbentuk. Misal, warna putih adalah warna cerah, sedangkan warna abu-abu dianggap sebagai versi yang kurang cerah dari warna putih. Dengan kata lain, kromatisitas dari warna putih dan abu-abu adalah berbeda. [6].

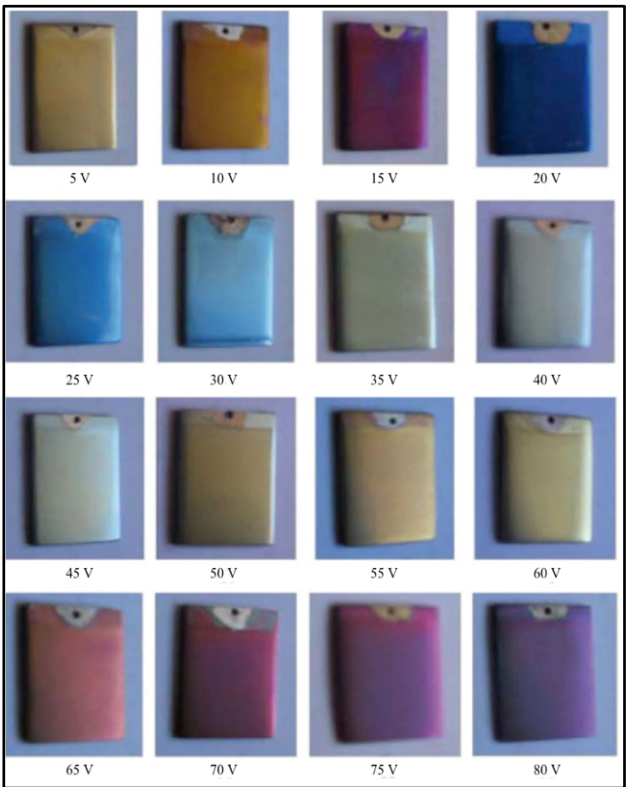
Penelitian Ali Karambakhsh et Al (2010) menunjukkan nilai kromatisitas yang dihasilkan pada proses *color anodizing* titanium. Proses color anodizing dilakukan dengan elektrolit H_2SO_4 dan variasi 5 sampai dengan 80 V. Untuk menunjukan *chromaticity* dari setiap warna yang dihasilkan, dilakukan pengujian dengan metode CIELAB *color space* menggunakan alat *spectrophotometer*. Setelah dilakukannya pengujian dengan metode tersebut, didapatkan L_1, a_1, dan b_1 pada setiap warna yang ditunjukan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Parameter Warna Proses *Anodizing* pada Setiap Voltase. (*Ali Karambakhsh et al, 2010*)

Sample no.	Anodizing voltage	L_1	a_1	b_1	C (chromaticity)
1	5	72.1	−29.75	3.15	29.9
2	10	75.8	−35.4	13.55	37.8
3	15	62.7	−7.15	−4.8	8.6
4	20	62.95	−5.75	−18.65	19.4
5	25	68.9	−14.65	−18.75	23.7
6	30	62.1	−10.3	−5.95	11.8
7	35	77.6	−26.45	−4.55	26.7
8	40	78.65	−27.95	−7.85	28.9
9	45	81.2	−30.95	−2.1	30.9
10	50	82.9	−35.4	3.35	35.5
11	55	82.1	−34.3	10.45	35.8
12	60	78.2	−26.9	12.65	29.7
13	65	73.05	−14.45	3.2	14.7
14	70	70.05	−7.75	−4.3	8.8
15	75	69.05	−5.1	−9.1	10.4
16	80	69.45	−8.95	−9.1	12.7

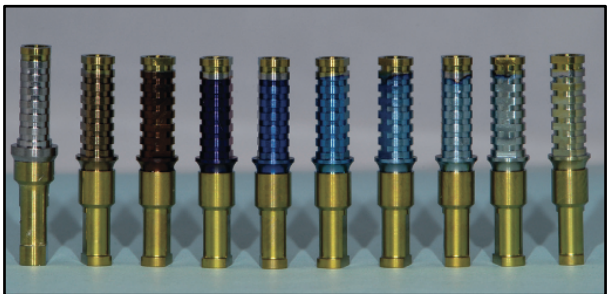
2.7. Pengaruh Elektrolit dan Voltase pada Proses Anodizing

Elektrolit dan voltase berperan penting dalam proses anodizing dan memiliki pengaruh terhadap warna yang dihasilkan dari proses tersebut. Untuk membandingkan pengaruh elektrolit asam dan basa serta voltase pada proses anodizing telah dilakukan penelitian oleh Ali Karambaksh (2010) dan Wadhawani (2017). Penelitian yang dilakukan oleh Ali Karambakhsh (2010) menunjukan pengaruh elektrolit asam terhadap pembentukan warna yang dihasilkan pada proses *anodizing.* Pada penelitian ini Ali Karambaksh menggunakan plat titanium berukuran 30 mm x 20 mm x 2 mm sebagai spesimen *anodizing*. Proses *anodizing* pada eksperimen ini dilakukan dengan elektrolit H_2SO_4 menggunakan potentiostat (EG&G 273 MODEL) dengan kenaikan 5V dihitung mulai dari 5V sampai dengan 80V. Sehingga akan mendapatkan 16 variasi voltase berbeda. Sehingga didapatkan variasi warna yang ditunjukan oleh gambar 2.8

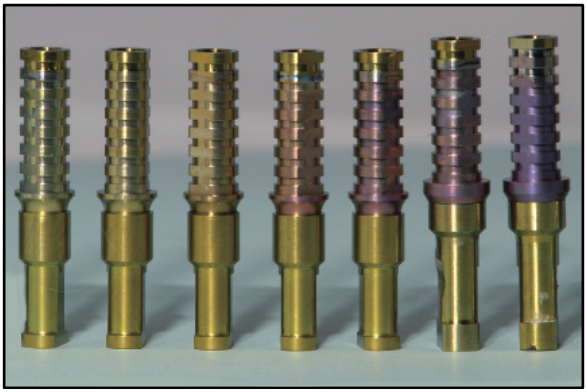


Gambar 2.8 Pengaruh elektrolit asam pada proses anodizing. (*Ali Karambakhsh et al, 2010*)

Penelitian yang dilakukan Wadhawani (2017), menunjukan pengaruh elektrolit basa terhadap proses *anodizing* titanium. Penelitian ini menggunakan elektrolit trisodiumfosfat (TSP). Proses anodizing dilakukan dengan variasi 10 sampai dengan 50 V dengan kenaikan setiap 5 V. Dari hasil proses anodizing didapat variasi warna yang ditunjukan oleh gambar 2.9 dan 2.10.



Gambar 2.9 Perbedaan warna akibat perbedaan voltase. Dari kiri ke kanan: tidak dianodasi; 10V (emas); 15V (cokelat); 20V (ungu); 25V (biru tua); 30V, 35V, 40V (biru muda); 45V (biru pucat) dan 50V (putih/kuning) (*Wadhawani et al, 2018*)

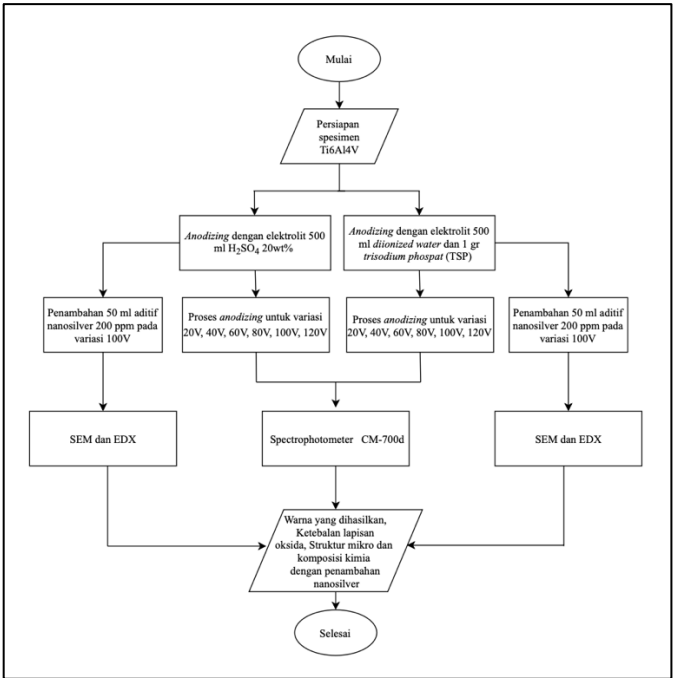


Gambar 2. 10 Perbedaan warna akibat perbedaan voltase. Dari kiri ke kanan: 55V (putih/kuning); 60V, 65V (kuning); 70V (merah muda/kuning); 75V (merah muda); 80V (merah muda) dan 85V (merah muda/ungu) (*Wadhawani et al, 2018*)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, dimana tahapan penelitian digambarkan dengan menggunakan diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.1. Penelitian dimulai dengan studi literatur. Literatur mencangkup tentang biomaterial, titanium dan paduan titanium serta *color anodizing* pada paduan titanium khususnya Ti-6Al-4V. Setelah literatur diperoleh, tahapan

selanjutnya dilakukan preparasi alat dan bahan sesuai dengan variabel yang ditentukan. Dalam penelitian ini, bahan primer yang digunakan antara lain Titanium ASTM B348. Bahan pada material ASTM B348 yang semula berbentuk *round bar*, dipotong menjadi 22 bagian dengan masing-masing ukuran diameter adalah 27 mm dan ketebalan 5 mm.

3.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Titanium grade 5
   Ti-6Al-4V didapatkan dari *suppliers* Baoji Hong Ya Da Nonferrous Metal Materials Co.,ltd, China dengan standar ASTM B348 berbentuk bar yang kemudian dipotong dan memiliki dimensi diameter 27 mm dan ketebalan 5 mm.
2. HNO_3 dengan kemurnian 70%
3. HF dengan kemurnian 60%
4. Pasta polishing.
5. Kertas amplas nomor 100, 220, 360, 500, 800, 1200, 1500, dan 2000
6. Kain bludru.
7. H_2SO_4 20%wt
8. Bubuk *trisodium phospat* (TSP)
9. suspensi *nano silver* 200 ppm
10. *Deionized water*

3.3. Alat Penelitian

1. Mesin *Wire Cut*

Mesin *wire cut* digunakan untuk memotong spesimen. Mesin *wire cut* dipilih karena mesin ini tidak menimbulkan perubahan fasa pada proses pemotongnya. Hasil pemotongan pada mesin ini

memiliki bentuk dan ukuran yang mendekati seragam.

Gambar 3.2 Mesin *wire cut*

2. Mesin Grinding Polishing

Peralatan ini digunakan untuk membuat permukaan spesimen rata, sehingga dapat digunakan untuk pengamatan struktur mikro maupun struktur makro. Proses ini berlangsung secara betahap menggunakan kertas gosok dengan tingkat grid tertentu dengan dialiri air sampai permukaan spesimen tersebut halus. Sedangkan *polishing* menggunakan kain wol yang dioleskan pasta *polishing* dan di aliri air sampai permukaan spesimen lebih halus lagi dan mengkilap.

Gambar 3.3 *Grinder – Polisher* GRIPO 300-1V

3. DC Power Supply

Peralatan ini digunakan untuk proses *color anodizing*, dimana berfungsi untuk mengalirkan listrik menuju spesimen. Dimana titanium akan menjadi anoda dan dihubungkan menuju sumber tegangan positif lalu alumunium akan menjadi katoda dan dihubungkan menuju sumber tegangan negatif.

Gambar 3.4 *DC Power Supply*

4. pH Meter

Pada proses anodizing, Alat ini berfungsi untuk mengukur pH larutan elektrolit. Dimana pH merupakan variabel yang penting untuk menentukan sifat dari larutan elektrolit asam dan basa.

Gambar 3.5 pH Meter

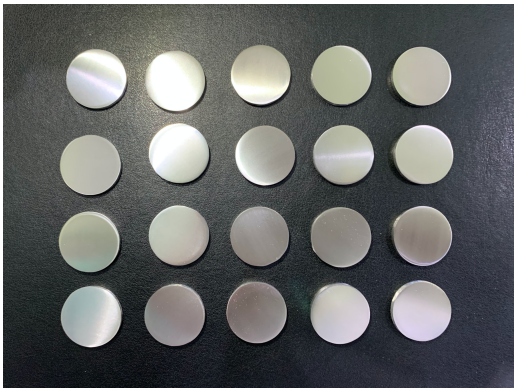
3.4. Persiapan Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan persiapan sebagai berikut:

3.4.1. Pembuatan Spesimen Ti6Al4V

Pembuatan spesimen pada penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan Ti6Al4V dalam bentuk *round bar*. Selanjutnya spesimen dipotong menggunakan mesin *wire cut* agar bentuk dan

ukuran dari spesimen mendekati seragam. Sehingga didapatkan Ti6Al4V dengan diameter 27 mm dan tebal 5 mm sebanyak 20 *pieces*. Dikarenakan spesimen sempat di diamkan setelah melalui proses pemotongan maka timbul produk korosi dipermukaan spesimen. Untuk menghilangkan dan membersihkan permukaan spesimen, langkah selanjutnya yaitu menghaluskan permukaan spesimen dengan mesin *grinding polishing* menggunakan kertas amplas nomor 100, 220, 360, 500, 800, 1200, 1500, dan 2000 secara berurutan, selanjutnya spesimen di*polish* dengan kain bludru menggunakan pasta *polish* metal untuk menghasikan spesimen yang rata dan mengkilap. Berdasarkan ASTM B600 untuk memastikan permukaan spesimen bersih dari kontaminasi zat pengganggu, langkah selanjutnya yaitu mempersiapkan larutan yang terdiri dari HNO_3 (70%) dan HF (60%) dengan perbandingan 10:1. Lalu spesimen dicelupkan kedalam campuran larutan asam tersebut selama 20 detik sehingga spesimen Ti6Al4V telah siap untuk masuk pada proses *color anodizing*.

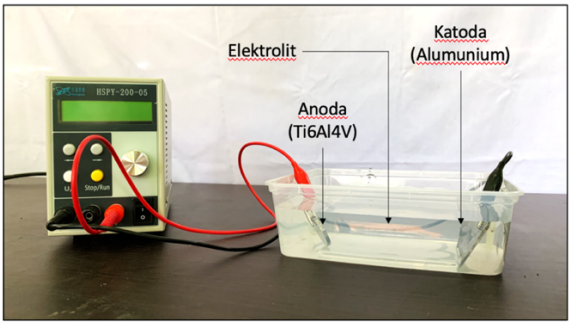


Gambar 3.6 Spesimen Ti6Al4V

3.4.2. Pembuatan Larutan dan Proses Anodizing

Eksperimen *color anodizing* dilakukan menggunakan sumber voltase DC. Spesimen Ti6Al4V digunakan sebagai anoda, sedangkan alumunium foil yang berukuran 50 mm x 60 mm digunakan sebagai katoda. Rangkai alat sesuai dengan gambar 3.6 . Jarak antara katoda dijaga konstan sejauh 60 mm.Pada eksperimen ini digunakan dua jenis elektrolit yaitu 500 ml H_2SO_4 (20%) dan 1 gram *trisodium phospat* (TSP) ditambah 500 ml *deionized water*. Percobaan dilakukan dengan variasi 20 V sampai dengan 120 V dan diamati setiap kenaikan 20 V. Selanjutnya dilakukan proses anodizing untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif nanosilver. Sebanyak 50 ml nanosilver 200 ppm ditambahkan sebagai aditif pada kedua elektrolit tersebut untuk variasi 100 V. Diharapkan pada voltase 100V akan ada nanosilver yang menempel pada permukaan

spesimen. Setelah proses *anodizing*, sampel dibilas dengan *deionized water* dan dikeringkan pada temperartur ruangan. Bandingkan warna yang didapatkan pada hasil percobaan dengan variasi voltase dan kedua elektrolit tersebut.



Gambar 3.7 Skema *Color Anodizing*

3.5. Pengujian

Setelah dilakukan proses *color anodizing* dibutuhkan pengujian untuk mengetahui jenis warna yang dihasilkan dan ketebalan lapisan yang terbentuk selama proses *anodizing*. Dikarenakan adanya penambahan aditif *nanosilver* maka diperlukan pengujian untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk. Adapun pengujiannya sebagai berikut:

3.5.1. Spectrophotometer

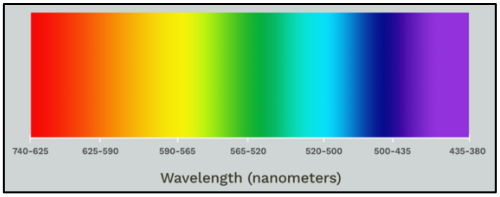
Gambar 3.8 *Spectrophotometer* CM-700d

Spectrophotometer adalah alat untuk mengukur transmitansi atau penyerapan cahaya oleh suatu sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang dan dibandingkan terhadap standart tertentu. Prinsip kerja alat ini yaitu cahaya dari sumber cahaya yang masuk ke monokromator didispersikan menjadi cahaya monokromatis. Cahaya monokromatis ditransmisikan melalui sel sampel dalam tempat sampel dan jatuh pada detektor, kemudian dikonversikan sebagai sinyal listrik dan tercatat pada rekorder. Untuk mengukur perbedaan warna pada setiap spesimen, dengan alat ini akan didapatkan data ($L^*a^*b^*$) setelah itu dengan metode CIELAB *color space* maka akan didiperoleh *chromaticity* dari setiap warna sampel yang telah melalui proses *color anodizing.*

$$Chromaticity = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Dimana :
a : Gradasi warna dari hijau (-) ke merah (+)
b : Gradasi warna dari biru (-) ke kuning (+)

Melalui alat *spectrophotometer* Konica Minolta CM-700d didapatkan nilai parameter warna L, a, dan b sehingga dapat dicari panjang gelombang yang terbentuk dari setiap warna melalui distribusi panjang gelombang terhadap *visible light spectrum* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8. Namun alat ini hanya dapat mengukur sampel dengan panjang gelombang 380 nm sampai dengan 700 nm. Setelah didapatkan panjang gelombang pada setiap sampel dapat dihitung nilai refractive index lalu ketebalan lapisan oksida yang terbentuk dengan rumus berikut:



Gambar 3.9 The Visible Light Spectum (*ThoughtCo, 2020*)

$$t = \frac{\lambda}{4n_0}$$

$$n_0^2 = 5.193 + \frac{2.441\ x\ 10^7}{\lambda^2 - 0.803\ x\ 10^7}$$

Dimana :

λ = Panjang gelombang warna yang terbentuk

t = ketebalan lapisan anodik

n_0 = *refractive index film*

Pengujian Spectrophotometer dilakukan oleh PT. Almega Sejahtera yang beralamat Jl. Sumatera No.33, Gubeng, Kec. Gubeng, Kota Surabaya, Jawa Timur 60281. Jenis Spectrophotometer yang digunakan adalah Spectrophotometer Konica Minolta CM-700d . Lalu dari alat tersebut didapatkan *L**, *a** dan *b**. Sehingga dapat bisa dihitung nilai *chromaticity* dari setiap sampel Titanium *Color Anodizing.*

3.5.2. Scanning Electron Microscopy (SEM) & Energy Dispersive X-Ray

Gambar 3.10 Alat Uji SEM dan EDX

Pengujian *Scanning Electron Microscop Microscopy* (SEM) digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif nanosilver terhadap proses *color anodizing*, sedangkan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) merupakan salah satu pengujian yang ada pada alat SEM yang digunakan untuk mengetahui komposisi unsur secara kuantitatif dari permukaan spesimen. Pengujian SEM-EDX dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan dan bagian *cross section* dari spesimen penelitian. Cara kerja mesin SEM adalah menembakkan elektron dengan energi tinggi ke spesimen, pantulan dari elektron yang ditembakkan akan memberikan informasi visual dari morfologi permukaan spesimen.

3.6. Hasil Analisis Data

Dari hasil Uji Spektro (OMS / *Optical Mass Spectroscopy*) PT Pelopor Teknologi Implantindo didapatkan sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Perbandingan Komposisi Kimia Berdasarkan ASTM F136 dan Hasil Uji OMS

Elemen	**Komposisi (wt%) ASTM F136**	**Hasil Uji OMS (wt%)**
N, max	0.05	-
C, max	0.08	0.0084
H, max	0.012	-
Fe, max	0.25	-
O, max	0.13	-
Al	5.50-6.50	6.41

V	3.5-4.5	4.18
Ti	Bal	Bal

Hasil Spektro digunakan untuk mengetahui komposisi kimia pada Material Ti-6AL-4V. Dari hasil uji spektro tersebut, dilakukan perbandingan dengan ASTM F136 yang terdapat di tabel 3.1 dimana di ASTM F136 memiliki kadar alumunium antara 5.5% sampai 6.5 %, dan Vanadium memiliki kadar antara 3.5% sampai 4.5%. Maka material yang digunakan pada penelitian ini sudah sesuai dengan standar ASTM F136 untuk *surgical implant*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV
DATA DAN ANALISA

Penelitian ini menggunakan material Titanium grade 5 atau Ti6Al4V. Material tersebut semula berbentuk *round bar,* kemudian dipotong hingga memiliki diameter 27 mm dengan tebal 5 mm. Proses anodizing dilakukan dengan variasi voltase 20 V sampai dengan 200 V dan diamati setiap kenaikan 20 Volt. Digunakan dua jenis elektrolit yaitu elektrolit asam dan basa. Elektrolit asam berupa H_2SO_4 20wt% dan elektrolit basa berupa Trisodiumphospat 0.002wt%. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan hasil antara proses anodizing dengan elektrolit asam dan elektrolit basa. Waktu yang digunakan pada proses anodizing dengan menggunakan elektrolit H_2SO_4 yaitu 30 detik dan Trisodiumphospat 180 detik. Serta dilakukan eksperimen dengan menambahkan aditif nanosilver untuk voltase 100 V pada kedua jenis elektrolit tersebut dengan harapan kandungan nanosilver tersebut dapat meningkatkan biokompatibilitas pada material. Selanjutnya, dilakukan pengujian dengan menggunakan alat spectrophotometer CM-700d dengan metode CIELab Color Space untuk mengatahui parameter warna yang dihasilkan pada proses color anodizing. Dari alat tersebut didapatkan nilai L^*, a^*, dan b^* sehingga bisa dihitung nilai kromatisitas dari setiap sampel hasil anodizing. Dilakukan pengujian SEM dan EDS terhadap spesimen hasil anodizing dengan penambahan aditif nanosilver untuk mengetahui kandungan silver yang terbentuk pada proses anodizing.

4.1. Hasil Color Anodizing

Color anodizing dengan menggunakan Spesimen Ti6Al4V digunakan sebagai anoda dan alumunium foil yang berukuran 50 mm x 60 mm digunakan sebagai

katoda. Jarak antara katoda elektroda konstan sejauh 60 mm. Digunakan dua jenis elektrolit yaitu H_2SO_4 (20%) dan trisodiumphospat 0.002wt% . Percobaan dilakukan dengan variasi 20 V sampai dengan 120 V dan diamati setiap kenaikan 20 V. Berikut ini akan dibahas lebih lanjut mengenai hasil color *anodizing* dari masing – masing elektrolit dan perbandingan hasil dari keduanya

4.1.1. Color Anodizing dengan Elektrolit H_2SO_4

Proses anodizing dilakukan menggunakan larutan elektrolit H_2SO_4 dengan alumunium sebagai katoda dan titanium sebagai anoda. Ketika titanium dicelupkan ke dalam larutan elektrolit, terjadi reaksi pada anoda dan katoda. Pada anoda reaksi oksidasi dan pada katoda terjadi reaksi reduksi. Elektrolit H_2SO_4 ketika dicampur dengan air, akan mengalami ionisasi membentuk kation H^+ dan anion SO_4^{2-}. Kation H^+ kemudian menuju katoda. Pada katoda, ketika kation elektrolit berupa ion asam (H^+) maka reaksi yang terjadi pada katoda adalah reduksi ion H^+. Reaksi yang terjadi pada katoda ditunjukkan pada reaksi dibawah ini.

Katoda : $2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2\,(g)}$

Secara bersamaan, anion SO_4^{2-} menuju anoda. Karena anion SO_4^{2-} merupakan sisa asam mengandung oksigen yang memiliki potensi reduksi lebih besar daripada H_2O maka pada anoda terjadi reaksi oksidasi H_2O. Selain itu, karena anoda yang digunakan adalah titanium yang merupakan logam tak inert maka anoda Ti ikut terkoksidasi. Sehingga pada anoda terjadi dua reaksi. Dua reaksi tersebut dijabarkan pada persamaan reaksi berikut ini :

Anoda (I) : $2H_2O_{(l)} \rightarrow 4H^+_{(aq)} + \cancel{O_{2(g)}} + 4e^-$

Anoda (II) : $Ti_{(s)} + \cancel{O_{2(g)}} \rightarrow TiO_{2\,(s)}$

Total Reaksi Anoda : $Ti_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow TiO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$

Maka dari reaksi katoda dan anoda diatas, didapatkan reaksi total anodizing titanium sebagai berikut :

Katoda	: $2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2\,(g)}$	x 2
Anoda	: $Ti_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow TiO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$	x 1
Katoda	: $\cancel{4H^+_{(aq)}} + \cancel{4e^-} \rightarrow 2H_{2\,(g)}$	
Anoda	: $Ti_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow TiO_{2(s)} + \cancel{4H^+_{(aq)}} + \cancel{4e^-}$	
Total	: $Ti_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow TiO_{2(s)} + 2H_{2(g)}$	

Reaksi Anodizing Titanium : $Ti_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow TiO_{2(s)} + 2H_{2(g)}$

Terlihat dari reaksi total di atas, terbentuk titanium dioksida pada sisi produk reaksi. TiO_2 ini lah yang merupakan lapisan oksida titanium. Ketebalan lapisan titanium dioksida inilah yang akan menyebabkan terjadinya perbedaan warna yang tampak pada permukaan titanium. Hal ini dimanfaatkan pada titanium terutama dalam pewarnaan implan.

Pengukuran pH larutan elektrolit dilakukan menggunakan pH meter dan didapatkan nilai pH sebesar 1,38. Karena pH yang didapat kurang dari tiga, elektrolit ini tergolong asam kuat. H_2SO_4 juga merupakan salah satu elektrolit kuat dan akan terionisasi sempurna di dalam air. Sehingga, kemampuan larutan elektrolit ini untuk menghantarkan arus listrik besar. Untuk mengukur dan membandingkan besarnya kekuatan larutan elektrolit, digunakan konsep kekuatan ion yang diperkenalkan oleh *Lewis* dan *Randall*. Kekuatan ion suatu larutan adalah ukuran konsentrasi ion dalam larutan elektrolit. Berikut merupakan persamaan dan contoh perhitungan :

$$I = \frac{1}{2}\sum_{i=2}^{n} c_i z_i^2$$

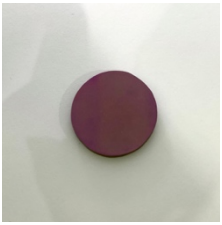
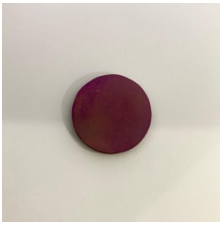
Dimana :
I : Kekuatan ion (mol/L)
C_i : Konsentrasi kation (M)
Z_i : Muatan anion

Reaksi Ionisasi : $H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$
$[H_2SO_4]$: 0,2 M
$[H^+]$: 0,4 M
$[SO_4^{2-}]$: 0,2 M

$$I = \frac{1}{2}\{(0{,}4\ x\ (1^2)) + (0.2\ x\ (-2^2))\}$$
$$I = 0{,}6\ mol/l$$

Penentuan waktu pencelupan juga didukung oleh percobaan variasi durasi pencelupan. Dilakukan percobaan terhadap empat spesimen dengan voltase yang sama dan pada durasi pencelupan yang berbeda (10, 20, 30, dan 40 detik). Percobaan dilakukan dengan variasi voltase terendah yaitu 20 V. Pada penilitan, hal yang ingin diteliti adalah perbedaan tampilan warna dari *color anodizing* dengan asam dan basa. Sehingga, untuk variable durasi pencelupan dibuat sama untuk semua variasi voltase. Penentuan durasi pencelupan dilakukan dengan melakukan percobaan pada spesimen dengan voltase terendah yaitu 20 V. Alasan pengambilan 20 V ini, dikarenakan semakin rendah voltase maka semakin lama durasi pencelupannya untuk didapatkan pewarnaan dengan sempurna. Dengan demikian waktu pencelupan pada voltase ini, dapat diaplikasikan pada voltase lain yang lebih tinggi. Berikut merupakan hasil percobaan:

Tabel 4. 1 Hasil *Anodizing* Elektrolit Asam pada Variasi Waktu yang Berbeda

No	Elektrolit	Voltase	Waktu (detik)	Foto spesimen setelah anodizing
1	H_2SO_4	20 V	10	
2	H_2SO_4	20 V	20	
3	H_2SO_4	20 V	30	

4	H_2SO_4	20 V	40	

Dari percobaan ini didapatkan hasil bahwa pada durasi pencelupan selama 30 detik, warna yang dihasilkan terlihat lebih jelas (tidak ambigu) dan sempurna dibandingkan pada durasi pencelupan waktu sebelumnya. Pada durasi pencelupan 10 s.d. 20 detik, pewarnaan belum sempurna (belum merata) dan pada durasi pencelupan 40 detik, pewarnaan menyerupai hasil pada 30 detik sehingga tidak lagi terjadi perubahan yang signfikan.

Dengan menggunakan durasi pencelupan 30 detik, maka didapatkan laju pelapisan sebagai berikut:

$$U_{anodizing} = \frac{A_{total}}{t}$$

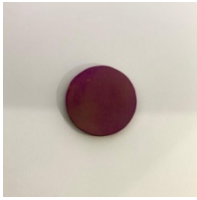
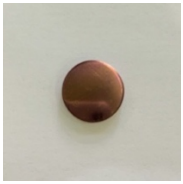
$$U_{anodizing} = \frac{2\,\pi\,r^2 + 2\,\pi\,r\,h}{t}$$

$$U_{anodizing} = \frac{2\ \times \pi \times 13{,}5^2 + 2 \times\ \pi\ \times 13{,}5^2}{30}$$

$$U_{anodizing} = 76{,}3\ \frac{mm^2}{s}$$

Hasil Color Anodizing dan hubungan antara warna yang dihasilkan dengan voltase ditunjukkan oleh tabel 4.1

Tabel 4.2 Hasil *Anodizing* dengan Elektrolit Asam

No	Spesimen	Voltase	Elektrolit	Foto spesimen setelah anodizing
1	Ti6Al4V	20 V	H_2SO_4	
2	Ti6Al4V	40 V	H_2SO_4	
3	Ti6Al4V	60 V	H_2SO_4	
4	Ti6Al4V	80 V	H_2SO_4	

5	Ti6Al4V	100 V	H_2SO_4	
6	Ti6Al4V	120 V	H_2SO_4	

Dapat diketahui dari tabel 4.2, pada voltase 20 V dihasilkan warna ungu, 40 V *aquablue*, 60 V kuning, 80 V *rosegold*, 100 V hijau muda, 120 V kuning kehijauan. Pada voltase 120 V dihasilkan pewarnaan yang kurang sempurna dan tampak terjadi perubahan kekasaran permukaan menjadi lebih kasar. Sehingga, untuk proses color anodizing dengan menggunakan elektrolit H_2SO_4, disarankan menggunakan voltase di bawah 100 V. Dari hasil proses color anodizing juga dapat diketahui bahwa untuk setiap voltase yang diberikan akan menghasilkan warna yang berbeda-beda. Namun menurut **C. Larry (2012)** berdasarkan penelitian yang dilakukan menggunakan arus konstan, lapisan anodik yang tercipta pada proses anodizing adalah akibat dari arus yang diberikan. Semakin tinggi besarnya arus yang

diberikan pada proses anodizing akan membuat lapisan oksida semakin tebal. Sehingga terdapat beberapa variabel yang dapat mempengaruhi perbedaan dan pembentukan warna pada titanium yaitu voltase, arus, dimensi spesimen, dan elektrolit.

Perbedaan warna yang dihasilkan tidak berpengaruh terhadap tingkat biokompatibilitas material. Tidak berarti bahwa warna A memiliki biokompatibilitas yang lebih baik dibandingkan warna B. Hasil perwarnaan yang berbeda – beda ini menunjukkan bahwa *range* warna yang dapat dicapai melalui anodasi cukup luas dan suatu warna tertentu dapat diraih dengan menganodasi titanium pada voltase tertentu. Pada proses ini juga dapat diketahui bahwa proses pewarnaan ini bersifat *irreversible* dari voltase rendah ke tinggi.

4.1.2. Color Anodizing dengan Elektrolit Trisodiumphospat

Proses anodizing dilakukan menggunakan larutan elektrolit trisodiumphospat (Na_3PO_4) dengan alumunium sebagai katoda dan titanium sebagai anoda. Ketika titanium dicelupkan ke dalam larutan elektrolit, terjadi reaksi pada anoda dan katoda. Pada anoda reaksi oksidasi dan pada katoda terjadi reaksi reduksi. Elektrolit Na_3PO_4 ketika dicampur dengan air, akan mengalami ionisasi membentuk kation $3Na^+$ dan anion PO_4^{3-}. Kation Na^+ kemudian menuju katoda. Pada katoda, ketika kation elektrolit berupa kation sukar tereduksi (logam alkali) maka reaksi yang terjadi pada katoda adalah reduksi H_2O.

Katoda : $2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)}$

Secara bersamaan, anion PO_4^{3-} menuju anoda. Karena anion PO_4^{3-} merupakan sisa asam mengandung oksigen yang memiliki potensi reduksi lebih besar daripada H_2O maka pada anoda terjadi reaksi oksidasi H_2O. Selain itu, karena anoda yang digunakan adalah titanium yang merupakan logam tak inert maka anoda Ti ikut terkoksidasi. Sehingga pada anoda terjadi dua reaksi. Dua reaksi tersebut dijabarkan pada persamaan reaksi berikut ini :

Anoda (I) : $2H_2O_{(l)} \rightarrow 4H^+_{(aq)} + O_{2(g)} + 4e^-$
Anoda (II) : $Ti_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow TiO_{2\,(s)}$
Total Reaksi Anoda : $Ti_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow TiO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$

Maka dari reaksi katoda dan anoda diatas, didapatkan reaksi total anodizing titanium sebagai berikut :

Katoda : $2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)}$ | x 2
Anoda : $Ti_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow TiO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$ | x 1
Katoda : $4H_2O_{(l)} + \cancel{4e^-} \rightarrow 2H_{2(g)} + 4OH^-_{(aq)}$
Anoda : $Ti_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow TiO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + \cancel{4e^-}$
Total : $Ti_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow TiO_{2(s)} + 2H_{2(g)} + 4OH^-_{(aq)} + 4H^+_{(aq)}$
: $Ti_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow TiO_{2(s)} + 2H_{2(g)}$

Reaksi Anodizing Titanium : $Ti_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow TiO_{2(s)} + 2H_{2(g)}$

Terlihat dari reaksi total di atas, terbentuk titanium dioksida pada sisi produk reaksi. TiO2 ini lah yang merupakan lapisan oksida titanium. Ketebalan lapisan titanium dioksida inilah yang akan menyebabkan terjadinya perbedaan warna yang tampak pada permukaan titanium. Hal ini dimanfaatkan dalam pengaplikasian titanium terutama dalam pewarnaan implan.

Pengukuran pH larutan elektrolit dilakukan dengan menggunakan pH meter dan didapatkan nilai pH sebesar 11,43. Dengan nilai pH yang dihasilkan, ektrolit ini tergolong basa kuat. Walaupun TSP

merupakan salah satu elektrolit kuat tetapi kemampuan larutan elektrolit ini untuk menghantarkan arus listrik tidak sebesar elektrolit H_2SO_4. Hal ini dibuktikan dengan membandingkan nilai kekuatan larutan elektrolit TSP dengan H_2SO_4 menurut persamaan *Lewis* dan *Randall.*

Reaksi Ionisasi : $Na_3PO_4 \rightarrow 3Na^+ + PO_4^{3-}$
$[Na_3PO_4]$: 0,002 M
$[Na^+]$: 0,004 M
$[PO_4^{3-}]$: 0,002 M

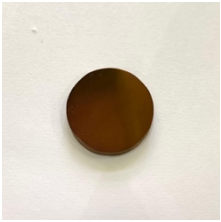
$$I = \frac{1}{2}\{(0{,}004\ x\ (1^2)) + (0.002\ x\ (-3^2))\}$$
$$I = 0{,}011\ mol/l$$

Dengan demikian, dapat diketahui kekuatan elektrolit TSP dalam menghantarkan arus listrik lebih kecil dibandingkan dengan elektrolit H_2SO_4. Maka dari itu, untuk melakukan pelapisan/anodasi dibutuhkan waktu yang lebih lama daripada menggunakan elektrolit H_2SO_4.

Sama halnya dengan percobaan pada elekrolit asam. Penentuan waktu pencelupan pada elektrolit basa juga didukung oleh percobaan variasi durasi pencelupan. Penentuan waktu pencelupan juga didukung oleh percobaan variasi durasi pencelupan. Dilakukan percobaan terhadap empat spesimen dengan voltase yang sama dan pada durasi pencelupan yang berbeda (60, 100, 140, dan 180 detik). Percobaan dilakukan dengan variasi voltase terendah yaitu 20 V. Pada penilitan, hal yang ingin diteliti adalah perbedaan tampilan warna dari *color anodizing* dengan asam dan basa. Sehingga, untuk varibel durasi pencelupan dibuat sama untuk semua variasi voltase. Penentuan durasi pencelupan dilakukan dengan melakukan percobaan pada spesimen dengan voltase terendah yaitu 20 V.

Alasan pengambilan 20 V ini, dikarenakan semakin rendah voltase maka semakin lama durasi pencelupannya untuk didapatkan pewarnaan dengan sempurna. Dengan demikian waktu pencelupan pada voltase ini, dapat diaplikasikan pada voltase lain yang lebih tinggi. Berikut merupakan hasil percobaan:

Tabel 4.3 Hasil *Anodizing* Elektrolit Basa pada Variasi Waktu yang Berbeda

No	Elektrolit	Voltase	Waktu (detik)	Foto spesimen setelah anodizing
1	TSP	20 V	60	
2	TSP	20 V	100	
3	TSP	20 V	140	

4	TSP	20 V	180	

Dari percobaan ini didapatkan hasil bahwa pada durasi pencelupan selama 180 detik, warna yang dihasilkan terlihat lebih jelas (tidak ambigu) dan lebih cerah (tidak kusam) dibandingkan pada durasi pencelupan yang lain.

Dengan menggunakan durasi pencelupan 180 detik, maka didapatkan laju pelapisan sebagai berikut:

$$U_{anodizing} = \frac{A_{total}}{t}$$

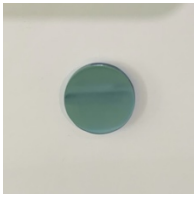
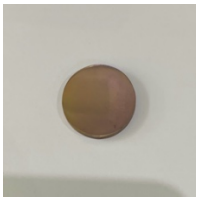
$$U_{anodizing} = \frac{2\,\pi\,r^2 + 2\,\pi\,r\,h}{t}$$

$$U_{anodizing} = \frac{2\ \times \pi \times 13{,}5^2 + 2 \times\ \pi\ \times 13{,}5^2}{180}$$

$$U_{anodizing} = 12{,}71\ \frac{mm^2}{s}$$

Hasil color anodizing dan hubungan antara warna yang dihasilkan dengan voltase ditunjukkan oleh tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil *Anodizing* dengan Elektrolit Basa

No	Spesimen	Voltase	Elektrolit	Foto spesimen setelah anodizing
1	Ti6Al4V	20 V	TSP	
2	Ti6Al4V	40 V	TSP	
3	Ti6Al4V	60 V	TSP	
4	Ti6Al4V	80 V	TSP	

5	Ti6Al4V	80 V	TSP	
6	Ti6Al4V	100 V	TSP	

Dapat diketahui dari tabel 4.4, pada Voltase 20 V dihasilkan warna ungu gelap, 40 V *aquablue*, 60 V kuning tua, 80 V *rosegold*, 100 V hijau tua, 120 V abu-abu. Dari hasil proses color anodizing juga dapat diketahui bahwa untuk setiap voltase yang diberikan akan menghasilkan warna yang berbeda-beda. Sama halnya yang terjadi pada *anodizing* dengan elektrolit H_2SO_4, pada voltase 120 V dihasilkan pewarnaan yang kurang sempurna dan tampak terjadi perubahan kekasaran permukaan menjadi lebih kasar. Sehingga, untuk proses color anodizing dengan menggunakan elektrolit TSP, juga disarankan menggunakan voltase di bawah 100 V. Dari hasil proses color anodizing juga dapat diketahui bahwa untuk setiap voltase yang diberikan akan menghasilkan warna yang berbeda-beda. Namun menurut **C. Larry (2012)** berdasarkan penelitian yang dilakukan menggunakan arus konstan, lapisan anodik yang tercipta pada proses anodizing

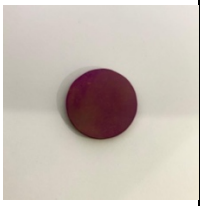
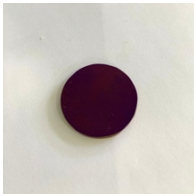
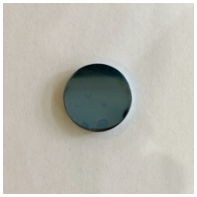
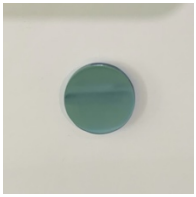
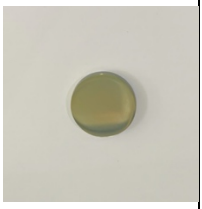
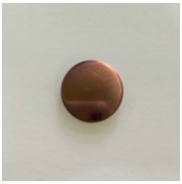
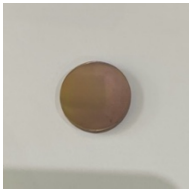
adalah akibat dari arus yang diberikan. Semakin tinggi besarnya arus yang diberikan pada proses anodizing akan membuat lapisan oksida semakin tebal. Sehingga terdapat beberapa variabel yang dapat mempengaruhi perbedaan dan pembentukan warna pada titanium yaitu voltase, arus, dimensi spesimen, dan elektrolit.

Perbedaan warna yang dihasilkan tidak berpengaruh terhadap tingkat biokompatibilitas material. Tidak berarti bahwa warna A memiliki biokompatibilitas yang lebih baik dibandingkan warna B. Hasil perwarnaan yang berbeda – beda ini menunjukkan bahwa *range* warna yang dapat dicapai melalui anodasi cukup luas dan suatu warna tertentu dapat diraih dengan menganodasi titanium pada voltase tertentu. Dan pada proses ini juga dapat diketahui bahwa proses pewarnaan ini bersifat *irreversible* dari voltase rendah ke tinggi.

4.1.3. Perbandingan Color *Anodizing* Elektrolit H_2SO_4 dan *Trisodiumphospat*

Selanjutnya pada sub bab ini akan dibahas lebih lanjut mengenai perbandingan proses dan hasil dari *color anodizing* untuk kedua jenis larutan elektrolit. Sebelum masuk pada bahasan perbandingan warna hasil *anodizing*, perbedaan antara proses *anodizing* dari kedua larutan adalah durasi pencelupan, dimana durasi pencelupan asam lebih singkat daripada basa. Untuk memudahkan membandingkan antara keduanya, berikut disajikan tabel 4.5 sebagai tabel perbandingan hasil *anodizing* dengan menggunakan elektrolit asam dan basa.

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil *Anodizing* dengan Menggunakan Elektrolit Asam dan Basa

No	Spesimen	Voltase	Asam	Basa
1	Ti6Al4V	20 V		
2	Ti6Al4V	40 V		
3	Ti6Al4V	60 V		
4	Ti6Al4V	80 V		

5	Ti6Al4V	100 V		
6	Ti6Al4V	120 V		

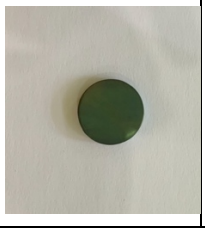
Dapat diketahui dari tabel 4.5, pada voltase 20V s.d. 100V, warna yang dihasilkan oleh elektrolit asam dan basa saling mendekati namun tetap tampak perbedaan. Kedua elektrolit sama – sama menghasilkan warna ungu pada voltase 20 V, *aqua blue* pada 40V, kuning keemasan pada 60 V, *rose gold* pada 80 V dan hijau kebiruan pada 100 V. Gelap terang suatu warna dipresentasikan oleh *ligtness* sedangkan pekat-kusam suatu warna dipresentasikan oleh *chromaticity*. Pada voltase rendah (20 V dan 40 V), elektrolit basa menghasilkan warna yang lebih pekat. Sedangkan, pada voltase menengah (60 V dan 80 V), elektrolit asam menghasilkan warna yang lebih pekat.

Kepekatan ini menjadi poin penting pada proses identifikasi karena semakin pekat warna yang dihasilkan maka lebih mudah untuk diidentifikasi. Maka dapat dikatakan bahwa, pada proses *anodizing* dengan voltase rendah dirasa lebih optimal menggunakan elektrolit basa sedangkan pada voltase tinggi dirasa lebih optimal menggunakan elektrolit asam. Dari hal ini dapat dikatakan bahwa jenis elektrolit akan mempengaruhi gelap-terang dan kepekatan warna yang dihasilkan pada proses anodizing titanium.

4.1.4. Color *Anodizing* dengan Aditif Nanosilver

Penambahan aditif nanosilver pada penelitian ini diharapkan akan meningkatkan biokompatibilitas material dengan memberikan sifat anti bakteri dan antimikroba terhadap material. Pada penelitian ini digunakan 50 ml nanosilver dengan konsentrasi 200 ppm yang ditambahkan pada kedua elektrolit asam dan basa. Variasi voltase yang dilakukan pada proses anodizing yaitu 100 V. Dikarenakan menurut teori, besarnya voltase akan mempengaruhi ketebalan lapisan oksida yang terbentuk dan semakin tinggi voltase yang diberikan maka lapisan oksida yang terbentuk akan semakin tebal. Diharapkan pada variasi 100 V akan ada ion silver yang bisa menempel pada permukaan spesimen.

Tabel 4.6 Hasil Anodizing dengan Penambahan aditif nanosilver

No	Spesimen	Voltase	Asam	Basa
1	Ti6Al4V dengan Aditif Nanosilver 200 ppm	100 V		

4.2. Hasil Pengujian *Spectrophotometer*

Untuk mengkuantitatifkan suatu warna diperlukan sebuah metode yaitu *color coding*. Terdapat banyak jenis *color coding* yang digunakan, salah satu *color coding* yang paling baik dalam mempresentasikan warna adalah CIE Lab. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi warna dan mengkuantitatifkannya ke dalam CIE Lab adalah *spectrophotometer*. Maka pada penelitian ini, setelah spesimen melalui proses *color anodizing*, dilakukan pengujian *spectrophotometer.* Pengujian spectrophotometer dilakukan dengan tujuan untuk mengukur parameter warna dan perbedaan warna pada setiap spesimen. Dari pengujian ini akan didapatkan data parameter warna L^*, a^*, dan b^*. spesimen. Pengujian spectrophotometer dilakukan dengan sudut observer 10° yang artinya hasil warna yang terlihat akan sama dengan ketika mata manusia terbuka 10°. Untuk pencahayaan,

pada pengujian dipilih menggunakan illuminant D65 yang artinya warna diukur menggunakan cahaya siang rata-rata (*average daylight*). Alat yang digunakan untuk pengujian ini yaitu *spectrophotometer* Konica Minolta CM-700d milik PT Almega Sejahtera. Berikut merupakan hasil pengujian *spectrophotometer* yang telah dilakukan, yang ditunjukan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Spectrophotometer

No.	Voltase	Elektrolit	*L**	*a**	*b**
1	20 V	H_2SO_4	40,69	20,59	-9,11
2	40 V	H_2SO_4	79,43	-8,95	12,14
3	60 V	H_2SO_4	78,1	-6,18	49,01
4	80 V	H_2SO_4	52,6	12,34	-16
5	100 V	H_2SO_4	58,17	-9,94	5,62
6	120 V	H_2SO_4	58,18	-1,63	7,96
7	20 V	TSP	38,76	12,69	-33,67
8	40 V	TSP	65,86	-8,17	-20,1
9	60 V	TSP	72,12	-3,26	18,62
10	80 V	TSP	67,25	13,91	-2,08
11	100 V	TSP	64,86	-2,71	-11,54
12	120 V	TSP	62,89	-7,16	-8,75

Nilai kromatisitas atau saturasi warna menunjukan intensitas (kepekatan) dari sebuah warna, sehingga semakin tinggi nilai kromatisitas maka warna tersebut dapat dengan jelas untuk terlihat dan teridentifikasi oleh mata manusia. *CIELab* mendefinisikan warna menjadi tiga aspek yaitu *L**, *a**, dan *b**. *L** merupakan skala *lightness* yang bergerak dari skala nol (hitam) ke skala 100 (putih). *a** merupakan skala hijau-merah yang bergerak dari skala -128 (hijau) ke skala 128 (merah) dan *b** merupakan skala

biru-kuning yang bergerak dari skala -128 (biru) ke skala 128 (kuning). Besarnya nilai kromatisitas dapat dihitung dengan mensubtitusikan nilai a dan b yang didapat melalui pengujian *spectrophotometer* kedalam persamaan kromatisitas, seperti yang ditunjukan oleh contoh perhitungan dibawah ini:

Sebagai contoh perhitungan, mengambil data untuk elektrolit H_2SO_4 pada voltase 40 V sebagai berikut:
a^* = -8,95
b^* = 12,14

$$\begin{aligned} Chromaticity &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{(-8{,}95)^2 + (12{,}14)^2} \\ &= 15{,}08 \end{aligned}$$

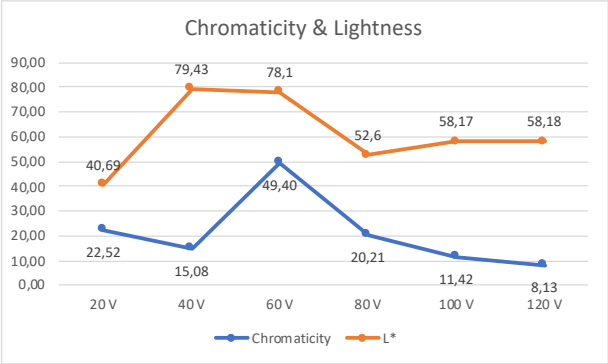
Berikut ini pada tabel 4.8, disajikan nilai kromatisitas untuk seluruh spesimen.

Tabel 4.8 Nilai chromaticity

No.	Voltase	Elektrolit	C (*Chromaticity*)	
			H_2SO_4	TSP
1	20 V	H_2SO_4	22,52	35,98
2	40 V	H_2SO_4	15,08	21,70
3	60 V	H_2SO_4	49,40	18,90
4	80 V	H_2SO_4	20,21	14,06
5	100 V	H_2SO_4	11,42	11,85
6	120 V	H_2SO_4	8,13	11,31

4.2.1. Hasil Pengujian *Spectrophotometer* dengan Elektrolit H_2SO_4

Dari pengujian *spechtrophotometer* dan pengolahan hasilnya, terdapat dua parameter penting yang perlu dianalisis lebih lanjut yaitu *lightness* (*L**) dan kromatisitas. Kromatisitas ialah spesifikasi obyektif dari kualitas warna yang terbentuk sehingga setiap warna memiliki nilai kromatisitas yang berbeda-beda. Sedangkan *lightness* merupakan nilai gelap-terang dari suatu warna yang terbentuk. Berikut merupakan grafik yang menunjukkan hubungan kedua parameter tersebut dengan voltase yang digunakan:



Gambar 4.1 Nilai Kromatisitas dan Lightness *Anodizing* dengan Elektrolit Asam

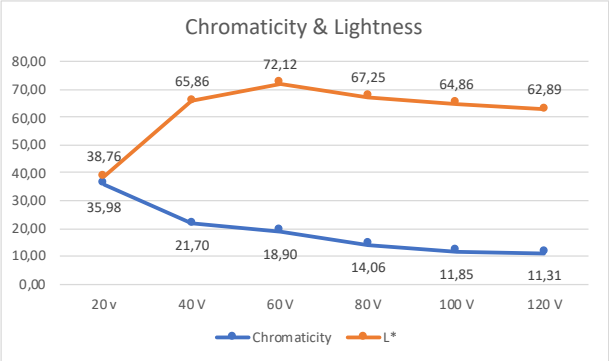
Terlihat bahwa pada material Ti6Al4V dengan variasi voltase 60 V memiliki nilai kromatisitas yang paling tinggi dengan nilai kromatisitas sebesar 49,40 dan terendah dihasilkan pada variasi voltase 120 V yaitu sebesar 8,13. Hal ini bersesuaian dengan pengamatan visual yang dilakukan dimana pada voltase 60 V dihasilkan

warna kuning emas yang sangat pekat sedangkan pada voltase 120 V pewarnaan tidak berhasil dilakukan dengan sempurna. Dari data diatas juga dapat dilihat bahwa pada voltase 20 V ke 40 V dan pada voltase 80 V ke 120 V, nilai kromatisitas cenderung menurun seiring kenaikan voltase, namun terjadi kenaikan drastis pada voltase 60 V karena pada voltase tersebut seperti yang telah diterangkan sebelumnya, warna yang dihasilkan merupakan warna kuning emas pekat yang memiliki nilai kromatisitas sangat tinggi. Apabila nilai kromatisitas dari semua spesimen dirata – rata, didapatkan nilai kromatisitas asam rata – rata sebesar 21,12.

Nilai *lightness* yang didapatkan dari hasil pengujian *spectrophotometer* menunjukan tingkat gelap-terang dari warna yang dihasilkan pada proses *anodizing*. Dari gambar 4.1 dapat diketahui nilai kecerahan tertinggi dihasilkan pada variasi voltase 40 V yaitu sebesar 79,43 dan terendah dihasilkan pada variasi voltase 20 V yaitu sebesar 40,69. Dari gambar grafik 4.1 terlihat bahwa nilai *lightness* dari 20 V ke 40 V naik, dari 40 V ke 60 V cenderung konstan lalu turun kembali pada 80 V dan naik kembali pada 100 V dan kembali cenderung konstan hingga mencapai 120 V. Dari data diatas juga dapat dilihat bahwa untuk setiap voltase akan memberikan efek tingkat gelap-terang warna yang berbeda-beda. Didapatkan nilai *lightness* rata-rata untuk elektrolit asam yaitu sebesar 61,19.

4.2.2. Hasil Pengujian *Spectrophotometer* dengan Elektrolit *Trisodiumphospat*

Pengujian *spechtrophotometer* juga dilakukan untuk spesimen yang telah dianodasi dengan elektrolit basa. Hasil pengujian (*a** dan *b**) kemudian diolah menjadi chromaticity. Berikut merupakan hubungan chromaticity dan lightness (*L**) terhadap voltase untuk spesimen dengan elektrolit basa:



Gambar 4. 2 Nilai Kromatisitas dan *Lightness Anodizing* dengan Elektrolit Basa

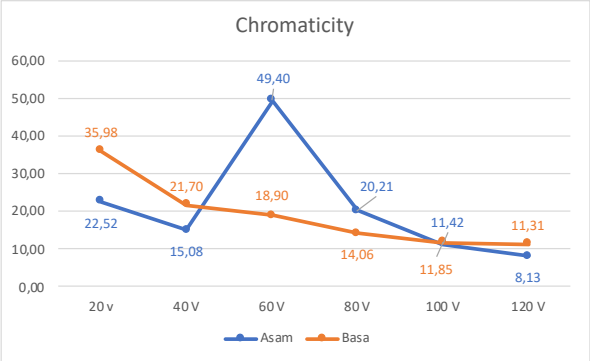
Dapat dilihat pada gambar 4.2, dengan variasi voltase 20 V memiliki nilai kromatisitas paling tinggi sebesar 35,98 dan terendah dihasilkan pada variasi voltase 120 V yaitu sebesar 11,31. Dari data diatas juga dapat dilihat bahwa, nilai kromatisitas cenderung menurun seiring kenaikan voltase. Apabila nilai kromatisitas dari semua spesimen dirata – rata, didapatkan nilai kromatisitas basa rata – rata sebesar 18,97.

Dari gambar 4.2 dapat diketahui nilai *lightness* tertinggi dihasilkan pada variasi voltase 60

V yaitu sebesar 72,12 dan terrendah dihasilkan pada variasi voltase 20 V yaitu sebesar 38,76. Hal ini berseuaian dengan hasil pengamatan visual, dimana pada voltase 60V dihasilkan warna kuning yang relatif lebih terang dibandingkan warna – warna yang dihasilkan oleh voltase lainnya. Begitu juga dengan spesimen dengan nilai *lightness* terrendah, dihasilkan pada voltase 20 V yang berwarna ungu tua/gelap. Dari gambar grafik 4.2 terlihat bahwa nilai *lightness* dari 20 V ke 60 V naik dan turun dari 60 V ke 120 V. Dari data diatas juga dapat dilihat bahwa untuk setiap voltase akan memberikan efek tingkat gelap-terang warna yang berbeda-beda. Didapatkan nilai *lightness* rata-rata untuk elektrolit basa yaitu sebesar 61,96.

4.2.3. Perbandingan Hasil Pengujian *Spectrophotometer* Elektrolit H_2SO_4

Dengan membandingkan nilai kromatisitas dan *lightness* pada hasil *anodizing* dengan menggunakan elektrolit asam dan basa, dapat diketahui hubungan pengaruh jenis elektrolit terhadap parameter kuantitatif warna (*lightness* dan kromatisitas) yang dihasilkan pada proses color anodizing.

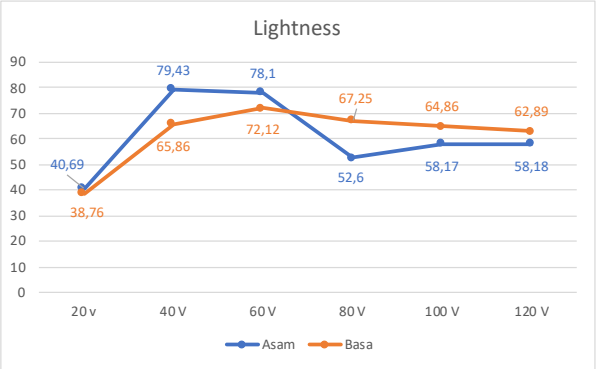


Gambar 4.3 Perbandingan Nilai Kromatisitas Elektrolit Asam dan Basa

Nilai kromatisitas untuk sampel dengan elektrolit asam dan basa ditunjukkan pada gambar 4.3. Dari grafik terlihat bahwa elektrolit asam dan basa memiliki *trendline* yang berbeda. Untuk sampel elektrolit asam pada voltase 20 V ke 40 V dan 60 V ke 120 V, nilai kromtasitas cenderung menurun seiring kenaikan voltase. Namun terjadi kenaikan drastis pada voltase 40 V ke 60 V. Dari sini terlihat bahwa tidak ada hubungan linier antara nilai kromatisitas dengan voltase. Hubungan non-linier ini juga ditunjukan oleh penelitian sebelumnya oleh Ali Karambaksh., 2011 yang juga menggunakan elektrolit asam 20% H_2SO_4. Berbeda dengan elektrolit asam, pada elektrolit basa didapatkan hubungan linier antara nilai kromatisitas terhadap voltase yaitu keduanya saling berbanding terbalik. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan nilai kromatisitas seiring kenaikan voltase.

Dari grafik gambar 4.3 juga terlihat bahwa voltase rendah (20 V dan 40 V) grafik basa diatas grafik asam sedangkan pada voltase menengah (60 V dan 80 V) grafik asam diatas grafik basa. Hal ini

menunjukan bahwa pada voltase rendah elektrolit basa menghasilkan warna yang lebih pekat daripada elektrolit asam. Sedangkan, pada voltase menengah elektrolit asam menghasilkan warna yang lebih pekat daripada elektrolit basa. Kepekatan (*chromaticity*) ini merupakan parameter yang penting untuk pengidentifikasian warna. Semakin tinggi nilai kromatisitas, maka semakin mudah warna untuk diidentifikasi. Maka dari itu proses *color anodizing* untuk voltase rendah disarankan untuk menggunakan elektrolit basa dan voltase menengah disarankan untuk menggunakan elektrolit asam.



Gambar 4.4 Perbandingan Nilai Lightness Elektrolit Asam dan Basa

Nilai *lightness* dengan elektrolit asam dan basa ditunjukkan pada gambar 4.4. Untuk sampel elektrolit asam pada voltase 20 V ke 40 V dan 80 V ke 120 V nilai *lightness* cenderung meningkat seiring dengan kenaikan voltase. Nilai *lightness* pada voltase 40 V ke 60 V cenderung konstan dan terjadi penurunan drastis pada voltase 60 V ke 80 V.

Untuk sampel elektrolit basa pada voltase 20 V ke 60 V nilai *lightness* cenderung naik dan turun pada voltase 60 V ke 120 V. Pada voltase 20 V ke 60 V, grafik asam terletak diatas grafik basa. Sedangkan untuk voltase 80 V ke 120 V, grafik basa terletak diatas grafik asam. Dari *trendline* kedua grafik di atas, dapat dikatakan bahwa tidak ada hubungan linier antara *lightness* dengan voltase. Nilai *lightness* tinggi tidak memiliki arti lebih baik daripada nilai *lightness* rendah. Warna yang mudah diidentifikasi merupakan warna dengan kromatisitas tinggi dan *lightness* yang proporsional terhadap nilai kromatisitas tersebut. Nilai *lightness* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan warna terlihat pucat, sedangkan sebaliknya jika terlalu rendah akan menyebabkan warna yang sangat gelap. Kedua kondisi ini, pucat dan gelap, sama sama menyebabkan warna menjadi lebih sukar diidentifikasi. Sehingga dari kedua grafik hanya dapat didapatkan hasil bahwa, pada voltase 20 V s.d. 60 V, elektrolit asam menghasilkan warna spesimen yang lebih terang dan pada voltase yang lebih tinggi, 80 V s.d. 120 V, elektrolit basa menghasilkan warna spesimen yang lebih terang.

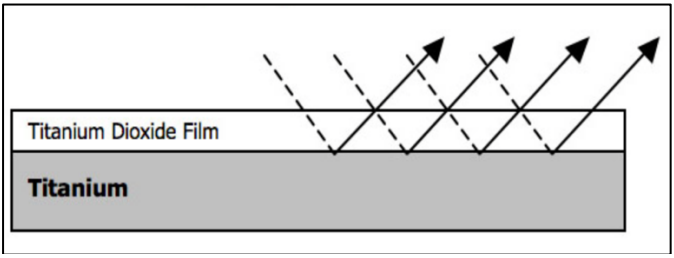
Dari pembahasan dan perbandingan nilai kromatisitas dan *lightness* pada kedua elektroklit di atas, tampak bahwa pemvariasian voltase yang digunakan menyebabkan variasi nilai kromatisitas dan *lightness.* Hal ini dikarenakan, pada voltase yang berbeda akan menghasilkan ketebalan lapisan oksida yang berbeda – beda. Perbedaan ketebalan lapisan menyebabkan warna yang tampak berbeda. Warna yang berbeda inilah yang pada akhirnya menyebabkan paramater warna kromatisitas dan *lightness* juga berbeda – beda.

4.3. Perhitungan dan Analisis Ketebalan Lapisan Oksida Titanium

Ketika titanium dicelupkan ke dalam larutan elektrolit sebagai anoda dan kemudian arus listrik dialirkan, oksigen yang terbentuk pada lapisan anoda bergabung dengan titanium reaktif membentuk titaniumdioksida (TiO_2). Peningkatan ketebalan lapisan oksida transparan ini berhubungan dengan jumlah voltase yang digunakan dalam kurun waktu tertentu. Seiring menebalnya lapisan oksida, kemampuan titanium untuk dialiri oleh aliran listrik menurun.

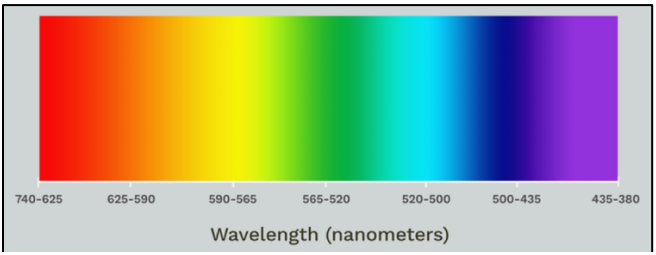
Warna yang dihasilkan pada titanium setelah proses *anodizing* disebut sebagai *interference colours*. Tidak ada pigmen maupun cat. Warna yang terbentuk murni dihasilkan oleh lapisan oksida transparan yang terbentuk pada permukaan logam. Interference colours terbentuk pada permukaan reflektif, dimana di alam interference colours ini kerap kita temui/lihat pada minyak, jalan yang basah dan bagian - bagian tubuh tertentu pada serangga.

Lapisan oksida titanium memiliki kemampuan untuk memantulkan, membiaskan dan menyerap cahaya. Cahaya putih yang jatuh pada lapisan oksida, sebagian akan dipantulkan kembali dan sebagian akan diteruskan. Ketika sebagian cahaya yang diteruskan ini mencapai permukaan titanium, sebagian kecil diserap dan sebagian besar dipantulkan kembali ke lapisan oksida. Proses ini berlangsung hingga berkali kali. Jumlah penyerapan cahaya dan jumlah pemantulan bergantung pada ketebalan lapisan oksida. Cahaya yang berwarna (contoh: cahaya pada panjang gelombang tertentu) merupakan hasil dari interferensi optik dari gelombang cahaya. Setiap warna memiliki Panjang gelombang tertentu.



Gambar 4.5 Mekanisme *interference color* *(Architectural Titanium, 2020).*

Untuk menentukan ketebalan lapisan oksida yang sangat tipis, maka diperlukan perhitungan pendekatan dengan metode *interference colours*. Dimana metode ini mengukur ketebalan lapisan oksida dengan mencocokkan warna terhadap panjang gelombang spektrum cahaya. Dengan alat spectrophotometer dapat diketahui parameter warna (*L*, a*,* dan *b**) pada sampel, setelah itu dapat diketahui nilai panjang gelombang dari setiap sampel dengan *spectrum visible chart*. Setelah itu dengan menggunakan persamaan *interference color* akan didapatkan ketebalan lapisan oksida titanium.



Gambar 4.6 *Spectrum Visible Chart* (*ThoughtCo, 2020*)

Tabel 4.9 Panjang gelombang sampel anodizing dengan elektrolit asam

No	Voltase	*Wavelength* (nm)
1	20 V	397
2	40 V	465
3	60 V	584
4	80 V	613
5	100 V	497
6	120 V	571

Tabel 4.10 Panjang gelombang sampel anodizing dengan elektrolit basa

No	Voltase	*Wavelength* (nm)
1	20 V	382
2	40 V	483
3	60 V	594
4	80 V	609
5	100 V	493
6	120 V	489

Dari tabel 4.9 dan 4.10, diketahui bahwa untuk variasi voltase 20 V sampai dengan 80 V panjang gelombang cahaya warna semakin meningkat seiring dengan bertambahnya voltase. Namun, untuk variasi voltase 100 V dan 120 V terjadi penurunan nilai panjang gelombang. Warna yang dihasilkan dari proses anodizing untuk variasi 20 V sampai dengan 80 V mengikuti pola warna pada *spectrum visible chart* dari kanan ke kiri. Selanjutnya akan dibahas mengenai perhitungan untuk

mendapatkan ketebalan lapisan oksida dengan menggunakan persamaan *interference color*.

Untuk voltase 20 V menggunakan elektrolit H_2SO_4 didapatkan besarnya wavelength yaitu sebesar 397 nm selanjutnya nilai tersebut disubtitusikan kedalam persamaan dibawah ini sehingga didapatkan nilai refractive index (n_o).

$$n_0^2 = 5.193 + \frac{2.441\ x\ 10^7}{\lambda^2 - 0.803\ x\ 10^7}$$

$$n_0 = \sqrt{5.193 + \frac{2.441\ x\ 10^7}{397^2 - 0.803\ x\ 10^7}}$$

$$n_0 = 1{,}45$$

Kemudian setelah didapatkan nilai tersebut lalu disubtitusikan kembali kedalam persamaan untuk mencari *thickness* dan diulangi untuk setiap variasi voltase dan elektrolit.

$$t = \frac{\lambda}{4n_0}$$

$$t = \frac{397}{4\ x\ 1{,}45}$$

$$t = 68{,}62 \text{ nm}$$

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan *refractive inde*x dan ketebalan lapisan oksida titanium :

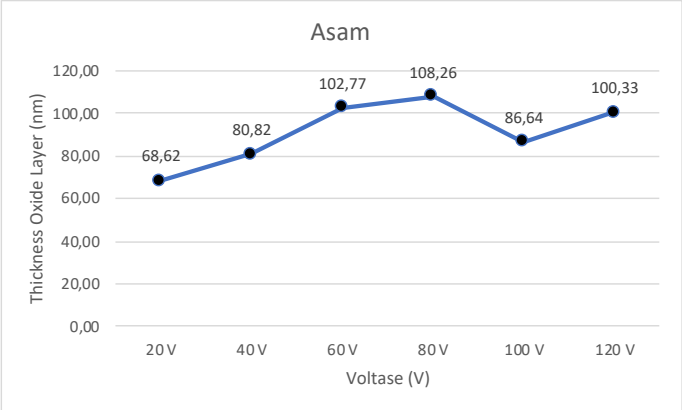
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Ketebalan Lapisan Oksida Film pada Proses Anodizing dengan Elektrolit Asam

No	Voltase	n_o	*Thickness film* (nm)
1	20 V	1,45	68,62
2	40 V	1,44	80,82
3	60 V	1,42	102,77
4	80 V	1,42	108,26
5	100 V	1,43	86,64
6	120 V	1,42	100,33

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Ketebalan Lapisan Oksida *Film* pada Proses *Anodizing* dengan Elektrolit Basa

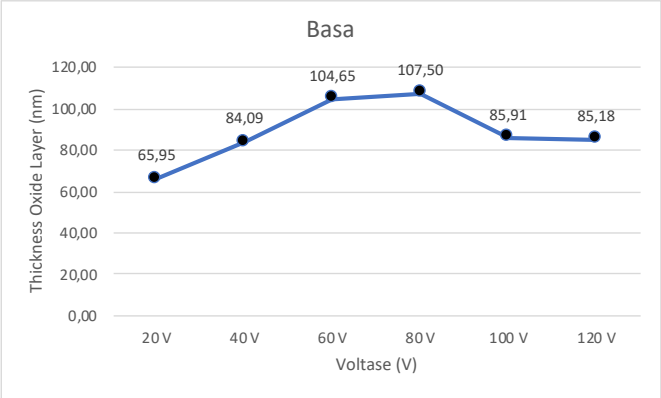
No	Voltase	n_o	*Thickness film* (nm)
1	20 V	1,45	65,95
2	40 V	1,44	84,09
3	60 V	1,42	104,65
4	80 V	1,42	107,50
5	100 V	1,43	85,91
6	120 V	1,44	85,18

Dari tabel 4.11 dan 4.12, diketahui bahwa untuk variasi voltase 20 V sampai dengan 80 V *thickness film* semakin meningkat seiring dengan bertambahnya voltase. Namun, untuk variasi voltase 100 V dan 120 V terjadi penurunan nilai *thickness film.* Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai pengaruh kenaikan voltase terhadap ketebalan lapisan oksida titanium, maka dari tabel 4.11 dan 4.12 lalu diplot agar menjadi sebuah grafik yang akan dijelaskan selanjutnya.



Gambar 4.7 Hubungan Voltase terhadap Ketebalan Lapisan Oksida pada Anodizing dengan Menggunakan Elektrolit Asam

Dari gambar 4.7 terlihat bahwa untuk voltase 20 V sampai dengan 80 V, besarnya nilai *thickness* berbanding lurus dengan kenaikan voltase. Namun pada voltase 80 V ke 100 V terjadi penurunan nilai *thickness* dan nembali naik pada voltase 100 V ke 120 V. Nilai *thickness* tertinggi didapatkan pada variasi voltase 80 V yaitu sebesar 108,26 nm dan terendah pada voltase 20 V yaitu sebesar 68,62 nm. Menurut beberapa jurnal sebelumnya dikatakan bahwa ketebalan lapisan oksida turut mempengaruhi warna dari hasil anodizing, hal ini dibuktikan pada penelitian ini. Perbedaan warna yang terjadi pada voltase yang berbeda selaras dengan perbedaan ketebalan lapisan pada voltase yang berbeda. Terdapat perubahan *trendline* grafik dari voltase 80 V hingga 120 V. Dimana terjadi penurunan nilai *thickness* dari voltase sebelumnya.



Gambar 4.8 Hubungan Voltase terhadap Ketebalan Lapisan Oksida pada *Anodizing* dengan Menggunakan Elektrolit Basa

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa untuk voltase 20 V sampai dengan 80 V, nilai *thickness* akan semakin meningkat seiring dengan kenaikan voltase dan pada voltase 80 V ke 120 V terjadi penurunan nilai *thickness*. Nilai *thickness* tertinggi dengan menggunakan elektrolit basa yaitu sebesar 107,50 nm yang dicapai pada voltase 80 V sedangkan nilai *thickness* terendah didapatkan pada variasi voltase 20 V yaitu sebesar 65,95. Seperti dengan menggunakan elektrolit asam, terdapat perubahan *trendline* grafik dari voltase 80 V ke 120 V.

4.4. Anomali Hasil Anodizing pada Voltase 100V dan 120V

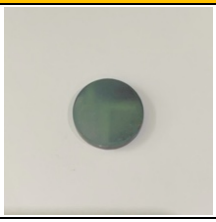
Pada percobaan yang telah dilakukan, ditemukan sebuah fenomena dimana pada variasi 100 V dan 120 V pada elektrolit asam dan basa terjadi perubahan *surface finish* dari titanium. Berikut ditampilkan gambar

perbandingan hasil *anodizing* pada elektrolit asam dan basa untuk voltase 80 V, 100 V dan 120 V :

Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Anodizing pada Voltase Tinggi dengan Elektrolit Asam

80 V	100 V	120 V

Tabel 4.14 Perbandingan Hasil Anodizing pada Voltase Tinggi dengan Elektrolit Basa

80 V	100 V	120 V
		

Terlihat pada tabel 4.13 dan 4.14, bahwa terjadi perbedaan *surface finish* dari ketiga voltase tersebut Pada voltase 80 volt terlihat bahwa terbentuk warna yang rata di seluruh permukaan titanium serta permukaan finish yang mengkilap (hasil polish) masih tampak sempurna. Memasuki hasil voltase 100 volt terlihat warna yang terbentuk pada titanium sudah mulai tidak rata dan pada spesimen terjadi perubahan *surface finish* dimana timbul permukaan abu – abu yang membuat warna tidak tampak

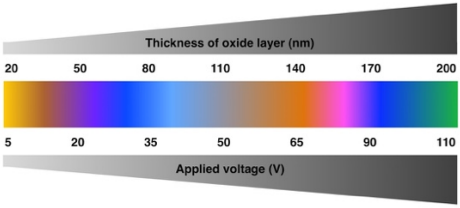
secara intens dan membuat permukaan menjadi tidak mengkilap sempurna seperti pada voltas 80 sebelumnya. Hal ini juga terjadi pada spesimen voltase 120, dimana pewarnaan yang terjadi tidak merata dan timbul perubahan *surface finnish* bahkan lebih parah. Dari fenomena yang terjadi, dapat disimpulkan bahwa voltase tinggi dapat membuat warna yang terbentuk pada proses *anodizing* menjadi tidak merata dan timbul lapisan abu – abu yang membuat intensitas warna berkurang dan perubahan *surface finish*.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan menggunakan metode *interference color* terjadi penurunan nilai *thickness* pada variasi voltase tinggi (100 V dan 120 V). Hal ini dikarenakan nilai *L*, a** dan *b** pada voltase 100 V jatuh pada spektrum warna hijau yang apabila dilihat pada spektrum UV terletak pada panjang gelombang yang di bawah warna kuning dan merah yaitu *range* spektrum untuk voltase 60 V dan 80 V. Namun, sebenarnya pada voltase yang tinggi ini terbentuk warna dimana warna yang dihasilkan ini di luar UV spektrum yang digunakan. Sehingga penggunaan spektrum UV untuk mendapatkan nilai panjang gelombang dan ketebalan lapisan dirasa kurang *valid*. Berbekal dari ini, kemudian dilakukan investigasi terkait fenomena ini lebih jauh melalui penelitian – penelitian terdahulu dan didapatkan hasil sebagai berikut:

- Menurut penelitian yang dilakukan oleh *G.Napoli* pada tahun 2018 yang melakukan color *anodizing* pada titanium *grade* V didapatkan hasil bahwa pada hasil anodasi voltase tinggi (100 V dan 150 V), pada permukaan titanium ditemui lapisan oksida abu – abu yang menyebabkan warna dari permukaan titanium menjadi tidak jelas, merusak *surface finish* spesimen dan menghalangi arus

listrik pada permukaan titanium. Serta, pada sampel 150 V dikatakan bahwa tidak dapat dilakukan pengujian *spectrophotometer*. Pada penelitian ini pada voltase 100 V juga didapatkan warna hijau dan menurut penelitian ini *thickness* dari *oxide layer* meningkat seiring dengan kenaikan voltase yang digunakan.

- Penelitian juga dilakukan oleh *Matt Wikstrom* pada tahun 2018 terkait anodasi *frame* sepeda bermaterial titanium, lalu didapatkan hubungan voltase anodasi dengan ketebalan lapisan sebagai berikut:

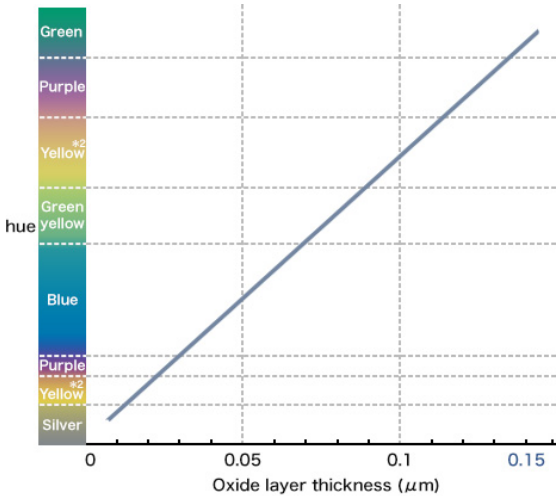


Gambar 4.9 Hubungan Voltase terhadap Ketebalan Lapisan Oksida terhadap warna pada Anodizing (*Matt Wikstrom, 2018*)

Dari spektrum ini, didapat bahwa warna yang dihasilkan pada penelitian *color anodizing* ini bersesuaian dengan spektrum tsb. Pada votase 20 V didapatkan warna ungu, pada 40 V warna *aqua blue*, 60 V warna emas, 80 V *rose gold* dan 100 V hijau. Terlihat bahwa terdapat pengulangan warna spektrum namun dengan corak warna yang sedikit berbeda. Ambil semisal ungu pada voltase rendah berbeda dengan ungu pada voltase tinggi, namun keduanya sama sama ungu. Pada spektrum warna UV hanya sampai satu spektrum saja, tidak ada pengulangan warna, hal inilah yang menyebabkan

mengapa pada voltase tinggi tidak dapat digunakan UV spektrum karena warna pada voltase tinggi tidak tercakupi oleh UV spektrum.

- Selanjutnya, didapati juga penelitian yang dilakukan oleh Nipponsteel yang menunjukkan adanya pengulangan spektrum seiring kenaikan ketebalan lapisan oksida. Berikut gambar hubungan *interference color* dengan ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan:



Gambar 4.10 Hubungan Ketebalan Lapisan Oksida (*Nipponsteel, 2019*)

Jarang sekali ditemukan jurnal yang melakukan penelitian *color anodizing* pada voltase tinggi. Pada **Wadhwani (2017)**, hanya dilakukan hingga voltase 85 V. Pada **Manjaiah (2017),** hanya dilakukan hingga voltase 90 V. Pada **Ali Karambaksh (2010)**, hanya dilakukan hingga voltase 80V dan pada seluruh penelitian ini tidak dijelaskan terkait alas an pengambila *range* voltase

pengujian hingga 80 – 90 V. Dari sini dapat disimpulkan bahwa pada voltase tinggi, warna yang dihasilkan adalah warna pada spektrum yang di luar spektrum UV sehingga kurang valid apabila mengukur ketebalan lapisan hanya berdasarkan spektrum UV, harus menggunakan alat yang *output*-annya langsung ketebalan bukan lagi panjang gelombang seperti *X-Ray Reflectrometry* atau *Rutherford Backscattering Spectrometry*. Ada kemungkinan besar bahwa sesungguhnya pada voltase 100 V dan 120 V ini terjadi kenaikan ketebalan lapisan, hanya saja apabila menggunakan metode yang sama akan tampak hasil yang turun akibat warna yang dihasilkan jatuh pada spektrum berpanjang gelombang rendah (hijau).

4.5. Analisa Hasil SEM dan EDS pada Permukaan Material

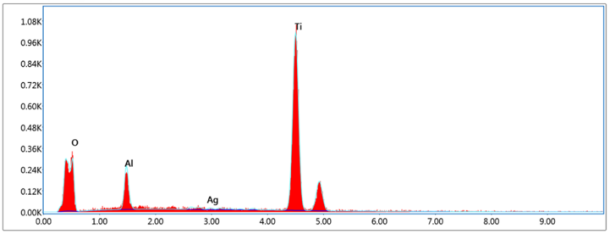
Scanning Electron Microscope dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan dari spesimen penelitian. Cara kerjanya dengan menembakkan elektron pada energi tinggi ke spesimen. Pantulan dari elektron yang ditembakkan akan memberikan informasi visual dari morfologi permukaan spesimen. Dengan alat yang sama, dapat pula dilakukan pengujian *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS). Pengujian EDS banyak digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif spesimen. Seringkali instrumentasi SEM dilengkapi dengan sistem EDS yang berfungsi untuk menganalisis komposisi kimia dari suatu material. Sinyal yang dihasilkan oleh alat SEM dan EDS yaitu *secondary* dan *backscattered* digunakan untuk menganalisis morfologi spesimen. Sedangkan *X-Rays signal* digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkuantitatifkan kandungan kimia pada konsentrasi tertentu. Batas deteksi dalam penggunaaan EDS bergantung pada kondisi permukaan spesimen. EDS dapat mendeteksi mayor dan minor elemen. Konsentrasi lebih

tinggi dari 10 wt% untuk mayor dan konsentrasi 1 sampai dengan 10 wt% untuk minor. [33]

Pengamatan dan analisis unsur kimia dan penyebarannya pada permukaan material pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan mesin *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS). Pengamatan ini bertujuan untuk mengamati unsur Ag yang terbentuk pada permukaan material titanium hasil anodizing dengan penambahan aditif nanosilver.

4.5.1. Analisa Hasil dan EDS pada Proses Anodizing dengan Aditif Nanosilver pada Elektrolit H_2SO_4

Pengamatan unsur kimia dilakukan dengan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* untuk mengetahui penambahan aditif nanosilver nanosilver dalam H_2SO_4. Berikut merupakan hasil spektrum dan persebaran unsur yang terbentuk:



Gambar 4.11 Spektrum Material Ti6Al4V hasil Anodizing Elektrolit Asam dengan Penambahan Aditif Nanosilver

Pengujian EDS dengan metode SEM-EDAX merupakan metode spektroskopi dengan sebaran tenaga sinar X yang dihubungkan dengan mikroskop elektron (SEM). Hasil yang didapat berupa analisis komposisi material secara kualitatif

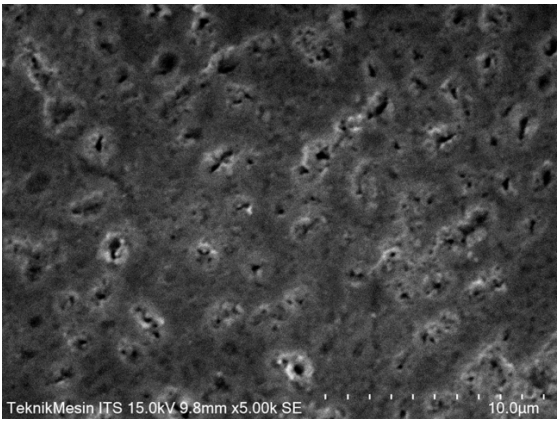
dan kuantitatif. Hasil pengujian EDS menghasilkan grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.9. Sumbu Y pada grafik menunjukan intensitas gelombang unsur dan sumbu X menunjukan intensitas distribusi energy sinar X (keV).

Berdasarkan hasil spektrum dan hasil sebaran unsur kimia spesimen titanium, pada permukaan material titanium yang telah melalui *anodizing* dengan tambahan aditif nanosilver memiliki kandungan Titanium (Ti) dengan persentase 66.7%, Alumunium (Al) 5.55%, Oksigen (O) 27.09%, dan Perak (Ag) 0.65%. Adanya kandungan oksigen sebesar 27.09% menandakan bahwa ada lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan titanium. Berdasarkan hasil EDS, kandungan silver pada spesimen sebesar 0.65wt%. Nilai ini di bawah satu persen, sehingga berdasarkan limitasi dari EDS yang mengatakan bahwa konsentrasi di bawah satu persen dianggap tidak akurat atau valid, maka dapat dikatakan bahwa nanosilver dari larutan tidak *embedded* ke dalam lapisan titanium oksida saat proses anodizing.

Hal ini bisa terjadi karena kecilnya konsentrasi nanosilver yang ditambahkan pada larutan elektrolit. Lalu, besarnya konsentrasi bukan merupakan salah satu aspek penyebab kegagalan dalam pembentukan nanosilver pada permukaan titanium. Menurut **D. Wan et (2010)**, waktu anodizing turut mempengaruhi besarnya partikel nanosilver yang dapat terbentuk. Dikarenakan pada percobaan ini yang hanya memakai waktu 30 detik untuk proses anodizing, maka dari itu diduga menyebabkan partikel nanosilver yang terbentuk hanya sebesar 0.65 wt%. Maka dari itu untuk menghasilkan lebih banyak partikel nanosilver yang

dapat terbentuk pada permukaan titanium, disarankan untuk melakukan penambahan konsentrasi nanosilver kedalam larutan elektrolit yang akan digunakan dan menambah besarnya waktu pada proses color anodizing.

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif nanosilver pada permukaan titanium. Berikut merupakan hasil dari pengamatan struktur mikro yang telah dilakukan:



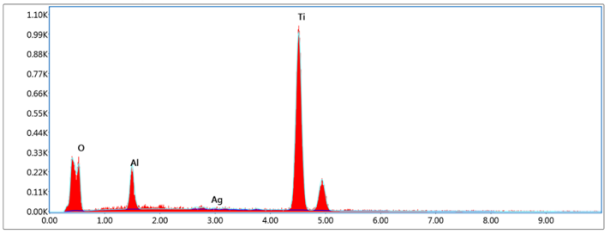
Gambar 4.12 Hasil SEM Ti6Al4V dengan Elektrolit Asam dan Penambahan Aditif Nanosilver pada 100 V

Berdasarkan hasil pengamatan mikrostruktur yang telah dilakukan, pada permukaan titanium dengan aditif nano silver terlihat adanya lapisan oksida yang tidak merata. Lapisan oksida yang terbentuk memiliki bentuk angular dengan diameter 1 sampai dengan 2 µm. Berdasarkan pengamatan hasil *Scanning Electron Microscope* tidak terlihat adanya partikel nanosilver

yang *embedded* pada permukaan spesimen titanium dengan elektrolit asam.

4.5.2. Analisa Hasil dan EDS pada Proses *Anodizing* dengan Nanosilver pada Elektrolit *Trisodiumphospat*

Pengamatan unsur kimia juga dilakukan dengan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* untuk mengetahui penambahan aditif nanosilver dalam TSP. Berikut merupakan hasil spektrum dan persebaran unsur yang terbentuk:

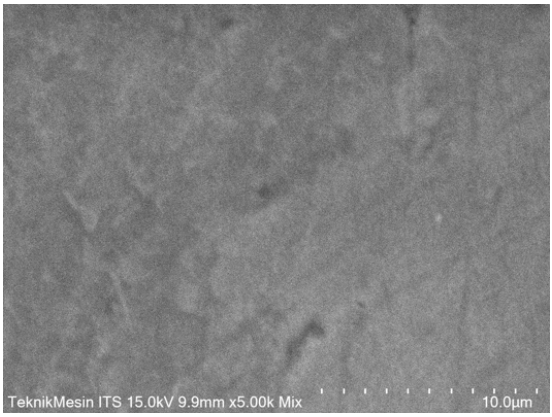


Gambar 4.13 Spektrum Material Ti6Al4V Hasil Anodizing Elektrolit Basa dengan Penambahan Aditif Nanosilver

Berdasarkan hasil spektrum dan hasil sebaran unsur kimia spesimen titanium, pada permukaan material Ti6Al4V yang telah melalui *anodizing* dengan tambahan aditif nanosilver memiliki kandungan Titanium (Ti) sebesar 68.56%, Alumunium (Al) 5.84%, Oksigen (O) 25.03%, dan Perak (Ag) 0.58%. Adanya kandungan oksigen sebesar 25.03% menandakan bahwa ada lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan titanium. Berdasarkan hasil EDS, kandungan silver pada spesimen sebesar 0.58 wt%. Nilai ini di bawah satu

persen, sehingga berdasarkan limitasi dari EDS yang mengatakan bahwa konsentrasi dibawah satu persen dianggap tidak akurat atau valid, maka dapat dikatakan bahwa pada spesimen tidak ada nanosilver yang *embedded* ke dalam lapisan titanium oksida saat proses *anodizing*. Hal ini dikarenakan kurangnya konsentrasi nanosilver yang ditambahkan pada larutan elektrolit. Maka dari itu, disarankan untuk melakukan penambahan konsentrasi nanosilver kedalam larutan elektrolit yang akan digunakan pada proses color anodizing dengan harapan dapat *embedded* ke dalam lapisan titanium oksida.

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif nanosilver pada permukaan titanium. Berikut merupakan hasil dari pengamatan struktur mikro yang telah dilakukan:



Gambar 4.14 Ti6Al4V Hasil Anodizing Elektrolit Basa dengan Penambahan Aditif Nanosilver pada 100 V

Berdasarkan hasil pengamatan mikrostruktur yang telah dilakukan. Terlihat adanya goresan-goresan pada permukaan titanium, hal ini dikarenakan terjadi karena proses grinding yang tidak merata. Tidak terlihat secara jelas karakteristik bentuk dari lapisan oksida titanium. Penggunaan elektrolit turut mempengaruhi perbedaan bentuk dari lapisan oksida yang terbentuk. Untuk elektrolit asam, struktur mikro yang terbentuk cenderung memiliki karakteristik bentuk granular dan untuk elektrolit basa tidak terlihat secara karakteristik lapisan oksida yang terbentuk.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan mengenai perbandingan pengaruh elektrolit asam dan basa dengan aditif *nanosilver* pada proses *color anodizing* titanium yaitu:

1. Variasi voltase pada saat proses anodizing akan memberikan perbedaan warna pada permukaan spesimen titanium. Nilai *chromaticity* tertinggi dengan elektrolit asam terdapat pada voltase 60 V yaitu sebesar 49,40 sedangkan dengan elektrolit basa terdapat pada voltase 20 V yaitu sebesar 35,98.
2. Elektrolit asam dan basa mempengaruhi warna yang dihasilkan pada proses anodizing. Dengan membanding nilai *chromaticity* dan *lightness* pada kedua elektrolit tersebut. Didapatkan hasil bahwa pada voltase rendah (20 V dan 40 V) dengan menggunakan elektrolit basa dihasilkan warna yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan elektrolit asam. Sedangkan pada voltase tinggi (60 V dan 80 V) dengan menggunakan elektrolit asam dihasilkan warna yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan elektrolit basa.
3. Variasi voltase yang diberikan pada saat proses anodizing akan memberikan pengaruh terhadap ketebalan lapisan oksida yang terbentuk. Untuk kedua elektrolit yaitu asam dan basa, kenaikan voltase akan meningkatkan ketebalan lapisan oksida yang terbentuk pada titanium. Perbedaan ketebalan inilah

yang akan mempengaruhi perbedaan warna pada titanium.

4. Partikel Ag yang tidak terdeteksi pada lapisan oksida titanium, menandakan bahwa penambahan aditif nanosilver sebesar 0.02 wt% pada elektrolit asam dan basa pada saat proses anodizing tidak menjadikan partikel ini dapat ikut membentuk komposit lapisan oksida.

5.2. Saran

Setelah dilakukan penelitian, didapatkan beberapa saran sebagai ide pengembangan pada penelitian selanjutnya:

1. Menambah jumlah variasi voltase pada penelitian *color anodizing*, untuk mengetahui distrubusi warna secara lengkap.
2. Membandingkan hasil perhitungan ketebalan lapisan oksida metode *interference color* dengan ketebalan lapisan oksida hasil pengamatan *Scanning Electron Microscope*.
3. Perlu adanya penelitian khusus mengenai besarnya konsentrasi nanosilver yang perlu ditambahkan pada larutan elektrolit, agar terdapat partikel silver yang *embedded* pada permukaan titanium hasil anodizing. Sehingga dengan adanya partikel silver yang embedded pada titanium, biokompatibilas material dapat meningkat

DAFTAR PUSTAKA

[1] Architectural Titanium. (2020). Architectural Titanium - Attributes – Production - Anodizing and Oxidization. Diakses 22 Juli 2020 dari http://www.architecturaltitanium.com/attributes/a_o.html

[2] ASM. (1998). Titanium Alloys: Materials Properties Handbook. ASM Handbook International.

[3] Schoenbaum, T., 2019. Implants In The Aesthetic Zone. Cham: Springer International Publishing.

[4] Bidhendi, H.R.A. dan Pouranvari, M.. (2011). Corrosion Study of Metallic Biomaterials in Simulated Body Fluid'. *Metalurgija-MJoM*. pp.13- 22.

[5] Campbell,, F.C.. (2006). Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials, 1st ed (pp. 120).

[6] Choudhury, A. K. R. (2014). Using instruments to quantify colour. Principles of Colour and Appearance Measurement, 270–317.

[7] Donachie, Matthew J., Jr.. (1988). TITANIUM: A Technical Guide. Ohio: Materials Park. pp. 11. ISBN 0-87170-309-2.

[8] Fairchild, M. D.. (2005). Color Appearance Models, 2nd ed AS: Wiley

[9] Frankel, R. dan Aitken, D.. (1970). Energy-Dispersive X-Ray Emission Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 24(6), pp.557-566.

[10] Gabe, D. R.. (1978). Principles of Metal Surface Treatment and Protection. Longborough: Pergamon Press.

[11] International Color Consortium. (2006). Specification ICC.1:2004-10 (Profile version 4.2.0.0) Image technology colour management — Architecture, profile format, and data structure.

[12] Ivanov, M. B. (2010). Phase Composition and Microstructure of Ti-6Al-4V Alloy After Hydrogen-Plastic Working. Russia: Belgorod State University.

[13] Karambakhsh, A., Afshar, A., Ghahramani, S. and Malekinejad, P.. (2011). Pure Commercial Titanium Color Anodizing and Corrosion Resistance. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20(9), pp.1690-1696.

[14] Lutjering, G. (2007). Titanium, 2nd ed. Hamburg: Department of Physical Metallurgy and Materials Technology.

[15] Manjaiah, M. dan Laubscher, R.. (2017). Effect of anodizing on surface integrity of Grade 4 titanium for biomedical applications. *Surface and Coatings Technology*, 310, pp.263-272.

[16] Mustarichie, Resmi dan Gozali, D. (2019). Formulation and Evaluation of Alpha Arbutin Skin Lightening Cream Using Polyacrylate Base by Cold Process. *International Jounal of Applied Pharmaceutics,* ol. 11, Issue I, ISSN 0975 – 7058.

[17] Napoli, G., Paura, M., Vela, T., Di Schino, A .(2018). Colouring Titanium Alloys by Anodic Oxidation. Metalurgija. 57. 111.

[18] Novandita R. (2019). Pengaruh Waktu Penahan Solution Treatment Dengan Subzero Queching dan Aging Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Ti6Al4V Implant Grade. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

[19] Ohno Y.. (2000). CIE Fundamental for Color Measurements, Optical Technology Division, National Institute of Standards Technology, Gaithersburg, MD.

[20] Oshida, Y. (2007). Bioscience and Bioengineering of Titanium Materials. UK: Elsevier Ltd.

[21] Park, J. dan Lakes, R. (2007). Introduction Biomaterials (pp.1-16). New York: Springer.

[22] Prabhu, S., & Poulose, E. K.. (2012). Review: Silver Nanoparticles: Mechanism of Antimicrobial Action, Synthesis, Medical Applications, and Toxicity Effects. Journal of International Nano Letters. Volume 02. No: 32. pp: 1-10.

[23] Prithviraj D R, Deeksha S, Regish K M, Anoop N. A. (2012). Systematic review of zirconia as an implant material. Indian J Dent Res 2012; 23:643-649.

[24] Reda, R. (2015). Effect of Welding Processes and Poestweld Heat Treatment on The Mechanical Properties of Ti-6Al-4V Castings. Egypt: Cairo University.

[25] Schmidt, F. F., & Wood, R. A. (1966). Heat Treatment of Titanium And Titanium Alloys. AS: NASA.

[26] Suvannapruk, W., Thammarakcharoen, F., Phanpiriya, P., Suwanprateeb, J.. (2013). Development of Antibiotics Impregnated Nanosized Silver Phosphate-Doped Hydroxyapatite Bone Graft. *Journal of Nanomaterials*, pp.1-9.

[27] ThoughtCo. (2020). The Visible Light Spectrum Contains The Colors We See. Diakses 22 Juli 2020 dari https://www.thoughtco.com/the-visible-light-spectrum-2699036

[28] Van Gils, S., Mast, P., Stijns, E. and Terryn, H.. (2004). Colour properties of barrier anodic oxide films on aluminium and titanium studied with total reflectance and spectroscopic ellipsometry. *Surface and Coatings Technology*, 185(2-3), 303-310.

[29] Wadhwani, C., Brindis, M., Kattadiyil, M., O'Brien, R., Chung, K., (2018). Colorizing Titanium-6Aluminum-4Vanadium Alloy Using Electrochemical Anodization: Developing a color chart. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(1), pp.26-28.

[30] Wang, C., Liu, X., Han, Z., Zhang, X., Wang, J., Wang, K., Yang, Z. and Wei, Z., (2019). Nanosilver induces the formation of neutrophil extracellular traps in mouse neutrophil granulocytes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 183, p.109508.

[31] Wigfield C, Robertson J, Gill S, Nelson R.. (2003). Clinical experience with porous tantalum cervical interbody

implants in a prospective randomized controlled trial. *Br J Neurosurgery*; 17(5):418-425.

[32] Williams, D.F.. (2009). On the nature of biomaterials. *Biomaterials*. pp.5897-5909.

[33] D.Wan, S. Yuan, K.G. Neoh, E.T Kang. (2010). Surface functionalization of zopper via oxidative graft polymerization of 2,2'-bithiophene and immobilization of silver nanoparticles for combating biocorrosion, ACS Appl. Mater. Interfaces 2 1653-1662.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

EDAX APEX

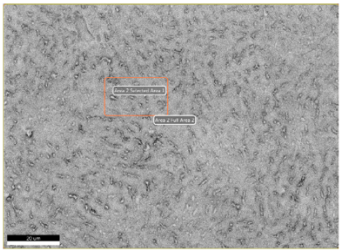
Page 1

Color Titan

Author: Teknik Mesin ITS
Creation: 06/30/2020 1:22:46 PM

Sample Name: Asam_Ag_100V

Area 2

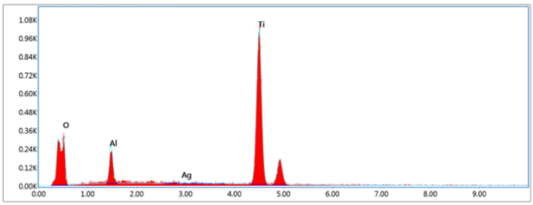


EDAX APEX

Page 4

Selected Area 1

kV:15 Mag: 1000 Takeoff: 30 Live Time(s): 100 Amp Time(µs): 3.84 Resolution:(eV) 133.6



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	27.09	51.35	19.47	13.33	0.0355	1.1852	0.1106	1.0000
AlK	5.55	6.24	21.12	8.37	0.0356	1.0513	0.6076	1.0030
AgL	0.65	0.18	1.07	53.38	0.0056	0.7847	1.0821	1.0136
TiK	66.70	42.23	128.61	2.75	0.6119	0.9152	1.0004	1.0019

EDAX APEX

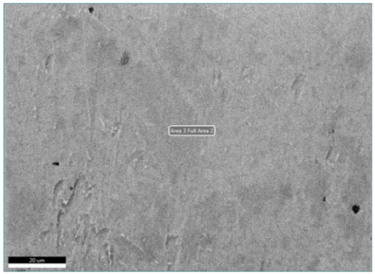
Page 1

Color Titan

Author: Teknik Mesin ITS
Creation: 06/30/2020 1:50:39 PM

Sample Name: Asam_Ag_100V

Area 3

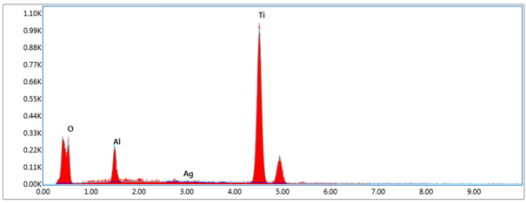


EDAX APEX

Page 2

Full Area 1

kV: 15 Mag: 1000 Takeoff: 30 Live Time(s): 100 Amp Time(µs): 3.84 Resolution:(eV) 133.6



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	25.03	48.62	17.06	13.57	0.0323	1.1912	0.1082	1.0000
AlK	5.84	6.72	21.51	8.34	0.0376	1.0569	0.6086	1.0030
AgL	0.58	0.17	0.91	57.58	0.0050	0.7889	1.0801	1.0137
TiK	68.56	44.49	127.71	2.75	0.6321	0.9202	1.0001	1.0018

BIODATA PENULIS

Wildhan Nugroho Latief merupakan anak pertama dari tiga bersaudara kelahiran Jakarta, 26 Agustus 1998. Penulis memulai pendidikan jenjang sekolah dasar di SDN 11 Kebon Jeruk dan melanjutkan jenjang sekolah menengah pertama di SMP Negeri 127 Jakarta serta jenjang sekolah menengah atas di SMA Negeri 78 Jakarta. Setelah menyelesaikan dua belas tahun pendidikan dasar, penulis melanjutkan jenjang perkuliahan di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016.

Semasa perkuliahan, penulis berpartisipasi dan berperan aktif dalam beberapa kegiatan akademik maupun non akademik. Dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM), penulis aktif berorganisasi sebagai staf Departemen Kewirausahaan pada periode kepengurusan 2017/2018 dan diamanahi sebagai Kepala Departemen Kewirausahaan pada periode kepengurusan 2018/2019. Penulis juga aktif mengikuti beberapa kepanitiaan yang diselenggarakan oleh pihak Departemen maupun Institut. Selain kepanitian dan organisasi, penulis juga aktif sebagai anggota dari Laboratorium Metalurgi dan sempat menjadi koordinator praktikum Metalurgi. Banyak pelajaran hidup yang penulis dapatkan selama berkuliah. Pengalaman menyenangkan dan menantang yang membuat penulis menjadi manusia yang lebih baik. Penulis berharap tugas akhir ini dapat menjadi kebermanfaatan bagi banyak orang.

Sehubungan dengan hasil penelitain yang dilakukan, segala kritik, masukan serta saran dapat disampaikan kepada penulis melalui alamat surel wildhannugroho@gmail.com