

**Titanium Coating Dengan Bahan Bioaktif *Chlorella Vulgaris*
Menggunakan Metode *Electrophoretic Deposition***

(Sebuah Penelitian Pendahuluan)

**Titanium Coating with Bioactive *Chlorella Vulgaris* Using
Electrophoretic Deposition Method (A Preliminary Research)**



**NAMA : RIZKIANI AWALIYAH RAMLI
NIM : J015211003**



**PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER GIGI SPESIALIS
PROGRAM STUDI PROSTODONSIA
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**Titanium *Coating* Dengan Bahan Bioaktif *Chlorella Vulgaris*
Menggunakan Metode *Electrophoretic Deposition*
(Sebuah Penelitian Pendahuluan)**

**RIZKIANI AWALIYAH RAMLI
J015211003**



**PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER GIGI SPESIALIS
PROGRAM STUDI PROSTODONSIA
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**Titanium *Coating* Dengan Bahan Bioaktif *Chlorella Vulgaris*
Menggunakan Metode *Electrophoretic Deposition*
(Sebuah Penelitian Pendahuluan)**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister
Program Studi Prostodonsia

Disusun dan diajukan oleh

**RIZKIANI AWALIYAH RAMLI
J015211003**

kepada

**PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER GIGI SPESIALIS
PROGRAM STUDI PROSTODONSIA
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

TESIS

Titanium Coating Dengan Bahan Bioaktif *Chlorella Vulgaris* Menggunakan Metode *Electrophoretic Deposition* (Sebuah Penelitian Pendahuluan)

RIZKIANI AWALIYAH RAMLI
J015211003

telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Profesi Spesialis-1 pada tanggal 6 Juni 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER GIGI SPESIALIS

**PROGRAM STUDI PROSTODONSIA
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

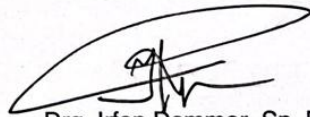
Mengesahkan:

Pembimbing Utama



Prof. Dr. drg. Edy Machmud, M.Kes, Sp. Pros.,
Subsp. OGST (K)
NIP. 19631104 199401 1 001

Pembimbing Pendamping



Drg. Irfan Dammar, Sp. Pros.,
Subsp. MFP (K)
NIP. 19770630 200904 1 003

Ketua Program Studi (KPS)
PPDGS Periodonsia EKG-UNHAS



Drg. Irfan Dammar, Sp. Pros., Subsp. MFP (K)
NIP. 19770630 200904 1 003



Irfan Sugianto, drg., M. Med., Ed., PhD
NIP. 19810215 200801 1 009

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul. " Titanium *coating* dengan bahan bioaktif *chlorella vulgaris* menggunakan metode *electrophoreticdeposition* (sebuah penelitian pendahuluan) " adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing Prof.Dr.drg. Edy Machmud, M.Kes, Sp. Pros., Subsp. OGST (K) sebagai Pembimbing Utama dan Drg. Irfan Dammar, Sp. Pros., Subsp. MFP (K) sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 26 Juni 2024



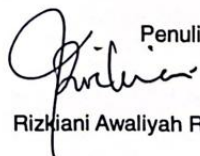
RIZKIANI AWALIYAH RAMLI
J015211003

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan tesis ini dapatterampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Prof.Dr.drg. Edy Machmud, M.Kes, Sp. Pros., Subsp. OGST (K) sebagai pembimbing utama dan Drg. Irfan Dammar, Sp. Pros., Subsp. MFP (K) sebagai pembimbing pendamping. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada mereka. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Laboratorium Fakultas Ilmu Kelautan dan Peikanan Universitas Hasanuddin, dan laboratorium Mikrostruktur Fakultas Teknik Industri universitas Muslim Indonesia yang telah membantu dalam proses penelitian ini.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., dekan Fakultas Kedokteran Gigi Irfan Sugianto, drg., M.Med.Ed., Ph.D. dan Kepala Program Studi Prostodonsia Drg. Irfan Dammar, Sp. Pros., Subsp. MFP (K) yang telah memfasilitasi saya menempuh program pendidikan dokter gigi spesialis periodonsia. Terima kasih kepada tim dosen Prof. drg. Moh.Dharma Utama, Sp.Pros(K), Prof. drg. Bahrudin Thalib, M.Kes, Sp.Pros(K), drg. Ike Damayanti Habar, Sp.Pros(K), drg. Acing Habibie Mude, Ph.D, Sp.Pros(K), drg. Vincensia Launardo, Sp.Pros, drg Rifaat Nurrahma, Sp.Pros(K), drg. Muh.Ikbal, Sp.Pros(K), drg. Rahmat, Sp.Pros serta drg. Ian Afifah Sudarman, Sp.Pros, drg. Ika Bashierah, Sp.Pros, drg. Mariska Juanita, Sp.Pros, dan drg. Delviyani, Sp.Pros. Terima kasih kepada angkatan 15, Kak Nuri, Kak Tina, Kak Mirna, Fachry, Fitri, Nabila, Kak Icha dan Kak Mage yang saling mendukung selama masa pendidikan. Kepada angkatan 16,17,18, 19 dan 20 yang telah banyak membantu selama masa studi, saya ucapkan terima kasih dan selamat menempuh pendidikan.

Kepada suami tercinta, Hero Triassosi, S.H, saya ucapkan terima kasih yang tak terhingga. Dukunganmu yang tak kenal lelah, kasih sayang, dan pengertian telah menjadi sumber kekuatan bagi saya. Kepada kedua orang tua saya Drs. M. Ramli, MPd dan Muhajirah, SPdI, MPd serta ayah dan ibu mertua saya Mayor Inf (Purn) Bambang Riadi dan Farida, saya mengucapkan beribu-ribu terima kasih dan sembah sujud atas doa, pengorbanan dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan. Adik Aburizal Fatwa Ramli, M.PSI., Psikologi dan Muh. Fadhel Ramli, A. Md., Graf., S.I.Kom dan ipar Rizki Isnaeni, M.PSI., Psikolog dan Putri Riadi Rezki Fatimah terima kasih atas dukungannya yang tak ternilai. Terima kasih kepada dr. Miftahaerati yang selalu menjadi sahabat terkasih. Danty Julianty dan suami Muh. Ardhi Resky Pratama atas motivasi dan dukungan yang terus menerus.

Penulis

Rizkiani Awaliyah Ramli

RIZKIANI AWALIYAH RAMLI. Titanium Coating Dengan Bahan Bioaktif *Chlorella Vulgaris* Menggunakan Metode *Electrophoretic Deposition* (Sebuah Penelitian Pendahuluan)(dibimbing oleh Edy Machmud dan Irfan Dammar)

Latar Belakang: Modifikasi permukaan logam dapat dicapai dengan menggunakan berbagai proses, fisik, mekanis dan kimiawi. Proses *Electrophoretic Deposition* (EPD) merupakan salah satu metode yang dapat dioperasikan pada suhu yang relatif rendah, dan memberikan kualitas pelapisan yang dapat dikontrol hanya dengan menyesuaikan arus dan waktu yang diterapkan. *Chlorella vulgaris* adalah mikroalga hijau bersel tunggal yang telah menarik minat sebagai agen potensial dalam berbagai aplikasi kesehatan, termasuk dalam proses penyembuhan dan regenerasi sel-sel baru. **Tujuan:** menganalisis pengaruh tegangan dan waktu pada proses *electrophoretic deposition* terhadap struktur permukaan lapisan titanium yang dilapisi *chlorella vulgaris*. **Metode:** Penelitian ini merupakan *quasi eksperimental laboratoris* dengan desain *posttest-only control group design*. Prosedur elektroforesis dilakukan di dalam larutan *chlorella vulgaris* bubuk (5gr) yang dicampur dengan ethanol 96% (200ml). Plat *Commercial Pure Titanium* berukuran 10 mm x 10 mm yang telah dihomogenkan permukaannya digunakan sebagai elektroda. Katoda lembaran titanium yang telah di preparasi dan anoda yang digunakan adalah *Stainless Steel* dengan dimensi yang sama. Elektroda yang sudah terpasang dihubungkan dengan apparatus elektroforesis yang telah dirancang. Voltase yang digunakan adalah sebesar 3, 5, 7, 9 dan 10 volt sementara lama waktu pelapisan yang digunakan adalah 3, 5, 7, 9 dan 10 menit. Pengukuran pertambahan massa sampel dilakukan dengan menghitung selisih massa sampel sebelum dan sesudah dilapisi dengan *chlorella vulgaris* (setelah proses sintering). Gambaran morfologi dari sampel diambil menggunakan mikroskop optik dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). **Hasil:** Peningkatan besaran nilai voltase dan lama waktu pelapisan yang diberikan cenderung akan meningkatkan deposisi pertikel *chlorella vulgaris* pada permukaan material titanium sehingga meningkatkan berat substrat. Pengaruh Voltase dan Waktu Terhadap Luas Permukaan (*Surface Coverage*). **Kesimpulan:** Terdapat pengaruh tegangan dan waktu terhadap perubahan mikrostruktur Titanium setelah dilapisi bahan bioaktif *chlorella vulgaris*

Kata Kunci: Titanium, *Chlorella Vulgaris*, *Electrophoretic Deposition*

RIZKIANI AWALIYAH RAMLI. ***Titanium Coating with Bioactive Chlorella Vulgaris Using Electrophoretic Deposition Method (A Preliminary Research)*** (supervised by Edy Machmud and Irfan Dammar)

Background: Metal surface modification can be achieved using a variety of processes, physical, mechanical and chemical. The *Electrophoretic Deposition* (EPD) process is one method that can be operated at relatively low temperatures, and provides controllable coating quality by simply adjusting the applied current and time. *Chlorella vulgaris* is a single-celled green microalgae that has attracted interest as a potential agent in various health applications, including in the healing process and regeneration of new cells. **Objective:** to analyze the effect of voltage and time in the *electrophoretic deposition* process on the surface structure of titanium coating coated with *chlorella vulgaris*. **Methods:** This study is a *quasi-experimental laboratory with posttest-only control group* design. The electrophoresis procedure was carried out in a solution of chlorella vulgaris powder (5gr) which was mixed with 96% ethanol (200ml). *Commercial Pure Titanium* plate measuring 10 mm x 10 mm that has been homogenized surface was used as electrode. The cathode of the titanium sheet that has been prepared and the anode used is *Stainless Steel* with the same dimensions. The electrodes that have been installed are connected to the electrophoresis apparatus that has been designed. The voltages used were 3, 5, 7, 9 and 10 volts while the coating times used were 3, 5, 7, 9 and 10 minutes. Measurement of sample mass gain was done by calculating the difference in sample mass before and after coating with *chlorella vulgaris* (after sintering process). The morphological features of the samples were taken using optical microscopy and *Scanning Electron Microscopy* (SEM). **Results:** Increasing the amount of voltage and coating time given tends to increase the deposition of *chlorella vulgaris* particles on the surface of titanium material, thereby increasing the weight of the substrate. Effect of Voltage and Time on *Surface Coverage*. **Conclusion:** There is an effect of voltage and time on changes in the microstructure of Titanium after being coated with *chlorella vulgaris* bioactive material.

Keywords: Titanium, Chlorella Vulgaris, Electrophoretic Deposition

DAFTAR ISI

Contents

SAMPUL.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL	v
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Teori	3
1.2.1. <i>Titanium Sebagai Material Implan Gigi</i>	3
1.2.2. <i>Chlorella Vulgaris</i>	4
1.2.3. <i>Toksonomi Chlorella vulgaris adalah:</i>	5
1.2.4. <i>Kandungan Utama Chlorella vulgaris</i>	5
1.2.5. <i>Metabolisme Chlorella Vulgaris</i>	7
1.2.6. <i>Metode Modifikasi Permukaan Titanium dan Paduannya</i>	7
1.2.7. <i>Electrophoretic Deposition (EPD)</i>	8
1.3. Rumusan Masalah	10
1.4. Tujuan Penelitian	10
1.5. Manfaat Penelitian	10
BAB II	11
KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP, HIPOTESIS	11
2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	11
2.1.1. <i>Lokasi Penelitian</i>	11
2.1.2. <i>Waktu Penelitian</i>	11
2.2 Alat dan Bahan.....	11
2.3 Rancangan Penelitian	11
2.4 Variabel Penelitian	11
2.5 Sampel Penelitian	12
2.6 Prosedur Penelitian.....	12
2.6.1. <i>Penyiapan Sampel</i>	12
2.6.2. <i>Electrophoretic Deposition</i>	12

2.6.3.	<i>Proses Sintering</i>	13
2.7	Definisi Operasional	13
2.7.1.	<i>Implan Titanium Murni</i>	13
2.7.2.	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	13
2.7.3.	<i>Electrophoretic Deposition</i>	13
2.8	Alur penelitian	14
2.9	Kerangka Teori	15
2.10	Kerangka konsep	16
2.11	Hipotesis Penelitian.....	17
BAB III	.....	18
HASIL PENELITIAN	.....	18
5.1.	Pengaruh Voltase dan waktu terhadap berat	18
5.2.	Pengaruh Voltase dan waktu terhadap luas Permukaan	19
5.3.	Pengaruh Voltase dan waktu terhadap Tebal lapisan	20
BAB IV	.....	22
PEMBAHASAN	.....	22
6.1.	Pengaruh Voltase dan waktu terhadap luas permukaan.....	24
6.2.	Pengaruh Voltase dan waktu terhadap Tebal lapisan	24
6.3.	Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap <i>Lapisan Chlorella Vulgaris</i>	25
BAB V	.....	27
PENUTUP	.....	27
6.1	Kesimpulan	27
6.2	Saran.....	27
Lampiran	.....	28
Daftar Pustaka	.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.2.2 Struktur Chlorella Vulgaris.....	4
Gambar 1.2.6 Metode modifikasi permukaan 1	8
Gambar 1.2.7 Skematik Alat EPD 1	9
Gambar Hasil Uji SEM 1	20

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Taksonomi Chlorella Vulgaris	5
Tabel 2 Alat dan Bahan	11
Tabel 3 Perubahan Berat terhadap Volt dan Waktu.....	18
Tabel 4 Pengaruh Voltase dengan waktu terhadap luas permukaan	19
Tabel 5 Pengaruh Voltase dan Waktu dengan tebal lapisan	20

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Titanium (Ti) telah diaplikasikan sebagai biomaterial logam dalam bidang kedokteran gigi oleh Brånemark dkk. Ti dan paduannya memiliki keunggulan substansial dibandingkan dengan logam lain seperti baja tahan karat dan paduan Co-Cr karena biokompatibilitasnya yang sangat baik, tidak menyebabkan sensitivitas jaringan, sifat mekanik yang baik dan densitas yang rendah.^{1,2} Namun, Substrat Ti dikenal sebagai permukaan yang relatif *bioinert* yang cenderung membentuk lapisan jaringan fibrosa pada *interface* implan dan tulang serta masih ditemukan adanya korosi pada material ini.³

Modifikasi permukaan Ti dan paduannya akan memiliki sifat mekanik dan biologis yang sangat baik untuk membantu meningkatkan adhesi sel-sel jaringan, stimulasi proliferasi dan diferensiasi sel yang mengarah pada peningkatan kepadatan tulang lokal dan mempercepat waktu penyembuhan bahkan pada tulang yang sudah lanjut usia atau tulang yang patologi.⁴ Penelitian yang dilakukan Nagai M dkk, mengemukakan bahwa titanium yang dilapisi kolagen memperbaiki perlekatan jaringan lunak peri-implan ke titanium pada tahap awal.^{5,6} Lopez dkk, dalam hasil penelitiannya Peran kitosan dalam pelapisan titanium meningkatkan aktivitas antibakteri dan sifat osteoinduktif.⁶

Chlorella vulgaris adalah mikroalga hijau bersel tunggal yang telah menarik minat sebagai agen potensial dalam berbagai aplikasi kesehatan, termasuk dalam proses penyembuhan dan regenerasi sel-sel baru.⁷ *Chlorella vulgaris* kaya akan berbagai nutrisi penting, termasuk protein, vitamin, mineral, dan asam lemak omega-3.^{7,8} Komposisi nutrisi ini dapat mendukung kesehatan tulang dan proses penyembuhan. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa *chlorella vulgaris* memiliki efek antiinflamasi yang signifikan. Ini dapat membantu mengurangi peradangan di sekitar area implantasi dan memfasilitasi proses penyembuhan tulang.^{9,10}

Studi *in vivo* dan *in vitro* yang telah dilakukan oleh Ashikeen MN dkk, menunjukkan bahwa ekstrak *chlorella vulgaris* dapat merangsang proliferasi dan diferensiasi sel-sel baru, yang merupakan langkah kunci dalam proses penyembuhan jaringan.¹¹ *Chlorella vulgaris* mengandung senyawa antioksidan yang dapat melindungi sel-sel tulang dari kerusakan oksidatif yang disebabkan oleh stres oksidatif. Ini dapat membantu mempertahankan kesehatan jaringan tulang di sekitar implan.^{12,13} Penelitian yang dilakukan Sutiyo dkk, mengemukakan bahwa terjadi penyembuhan yang signifikan setelah pemberian krim ekstrak *chlorella*

vulgaris pada luka sayat telinga babi. Hal ini menunjukkan bahwa suplementasi dengan *chlorella vulgaris* dapat meningkatkan proses penyembuhan luka pada tingkat seluler.^{8,9}

Chlorella vulgaris adalah mikroalga hijau yang telah dikenal karena kandungan nutrisinya yang kaya, termasuk protein, vitamin, mineral, dan senyawa bioaktif. Dalam beberapa dekade terakhir, perhatian terhadap potensi terapeutik *chlorella vulgaris* telah meningkat, termasuk kemampuannya dalam mendukung penyembuhan tulang. *Chlorella vulgaris* kaya akan protein dan mengandung semua asam amino esensial, yang penting untuk sintesis protein dalam tubuh dan regenerasi jaringan, termasuk tulang. Mikroalga ini mengandung vitamin D yang esensial untuk penyerapan kalsium dan mineralisasi tulang. Mineral seperti kalsium, magnesium, dan fosfor juga terdapat dalam *chlorella vulgaris*. *Chlorella vulgaris* mengandung faktor pertumbuhan *chlorella* (*Chlorella Growth Factor/CGF*), yang terdiri dari asam nukleat dan asam amino yang mendukung pertumbuhan dan perbaikan sel. Senyawa bioaktif dalam *chlorella vulgaris*, seperti CGF, telah dilaporkan dapat meningkatkan aktivitas osteoblast, sel yang bertanggung jawab untuk pembentukan tulang. Studi menunjukkan peningkatan ekspresi marker osteogenesis seperti osteocalcin dan alkaline phosphatase pada subjek yang menerima suplemen *chlorella vulgaris*. Penelitian *in vitro* menunjukkan bahwa ekstrak *chlorella vulgaris* dapat meningkatkan proliferasi dan diferensiasi sel osteoblast. Dalam model hewan, *chlorella vulgaris* meningkatkan kepadatan mineral tulang dan mempercepat penyembuhan setelah patah tulang.

Modifikasi permukaan logam dapat dicapai dengan menggunakan berbagai proses, fisik, mekanis dan kimiawi. Metode yang paling populer adalah proses penyemprotan plasma, tetapi pengaruh pirolisis dan efek gradien termal akan menyebabkan ikatan yang buruk dan mengurangi masa pakai implan.¹⁴ Proses *Electrophoretic Deposition* (EPD) merupakan salah satu metode yang dapat dioperasikan pada suhu yang relatif rendah, dan memberikan kualitas pelapisan yang dapat dikontrol hanya dengan menyesuaikan arus dan waktu yang diterapkan. Proses yang relatif murah ini banyak digunakan untuk mensintesis biomaterial.¹⁵

Keunggulan metode EPD adalah kemampuan lapisan kompleks, substrat seragam dengan waktu pembentukan singkat dan tidak ada transformasi fasa selama proses EPD, sesuai untuk medis karena sebagai pelapis yang bioaktif anorganik dan struktur nano biomedis serta mencakup produk yang serbaguna dan terkontrol dengan menggunakan temperatur rendah didapat kualitas lapisan yang optimal.¹⁶

Pelapisan *chlorella vulgaris* menggunakan metode EPD dilakukan dengan memanfaatkan aliran listrik yang mengalir melalui anoda dan katoda. Kualitas lapisan *chlorella vulgaris* yang dihasilkan dapat dilihat melalui pengukuran massa sampel, ketebalan lapisan, dan *surface*

coverage pada permukaan Ti. Parameter tersebut dapat diukur dengan mengatur besar voltase dan lama waktu pelapisan pada proses EPD.

1.2. Teori

1.2.1. Titanium Sebagai Material Implan Gigi

Titanium telah digunakan baik untuk implan *endoosseus* maupun *subperiosteal* implan. Bagian dari implan dibuat dari titanium murni maupun logam campuran titanium. Menurut *American Society for Testing and Materials* (ASTM), ada enam jenis titanium yang tersedia sebagai biomaterial implan. Di antara keenam material ini, ada empat grade titanium murni komersial atau *commercial pure titanium* (CpTi) dan dua titanium *alloy*. Sifat mekanik dan fisik CpTi berbeda dan terutama terkait dengan residu oksigen dalam logam. Kedua paduan tersebut adalah Ti-6Al-4V dan Ti-6Al-4V-ELI (paduan interstitial ekstra rendah). Material CpTi disebut titanium grade I, grade II, grade III dan grade IV murni. Titanium murni komersial juga disebut titanium tidak murni dan biasanya mengandung beberapa elemen karbon, oksigen, nitrogen, dan besi. Unsur-unsur ini secara nyata meningkatkan sifat mekanik titanium murni dan ditemukan dalam jumlah yang lebih tinggi dari grade I hingga grade IV.¹⁷⁻¹⁹

Titanium dan paduan titanium merupakan material implan gigi yang paling umum digunakan, karena memiliki biokompatibilitas yang sangat baik. Tingkat keberhasilan dan kelangsungan jangka panjang yang tinggi telah dikonfirmasi dalam aplikasi yang berbeda di rongga mulut.^{20,21}

Titanium memiliki sifat biokompatibilitas yang baik, yang berarti bahwa tubuh manusia cenderung menerima dan tidak menolak material ini. Ini berarti implan gigi titanium memiliki kemungkinan yang lebih rendah untuk menyebabkan reaksi alergi atau penolakan oleh tubuh. Titanium memiliki kekuatan dan kekakuan yang mirip dengan tulang manusia, sehingga memungkinkan transfer beban yang baik dari implan gigi ke tulang sekitarnya. Hal ini dapat membantu mencegah resorpsi tulang yang berlebihan dan memastikan integrasi yang kuat antara implan gigi dan jaringan tulang.²²⁻²⁶

Titanium adalah logam yang tahan terhadap korosi dan oksidasi, yang menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi dalam lingkungan tubuh yang basah dan korosif. Ini memastikan kestabilan struktural dan kinerja jangka panjang dari implan.^{27,28}

Proses di mana tulang hidup tumbuh dan melekat pada permukaan implan gigi disebut osseointegrasi. Titanium memiliki kemampuan untuk secara efektif berintegrasi dengan tulang hidup, membentuk hubungan yang kuat antara implan gigi dan tulang sekitarnya.^{29,30}

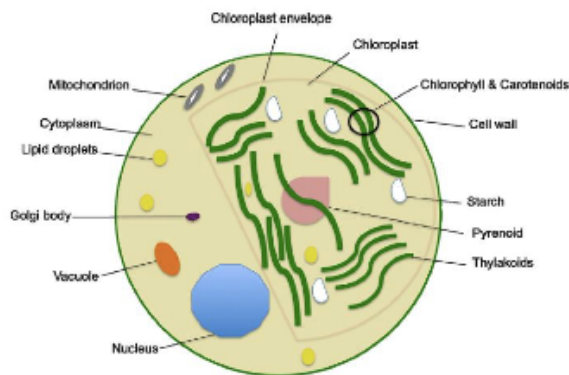
Pemilihan material untuk implan bagi tubuh manusia diantaranya dapat dilihat dari biokompabilitas (*tissue reactions, mechanical, physical and chemical properties, degradation to local deleterious changes and harmful systemic effects*), *propertis mekanis (elasticity, yield stress, ductility, toughness, time dependent deformation, creep, ultimate strength, fatigue strength, hardness and wear resistance)* dan manufaktur (*fabrication methods, consistency and conformity to all requirements, quality of raw materials, cost of production*).

1.2.2. **Chlorella Vulgaris**

Chlorella Vulgaris merupakan mikroalga hijau jenis klorofita atau alga hijau. Pada umumnya alga hijau memiliki biopigmen yang digunakan untuk berfotosintesis yaitu klorofil disamping adanya biopigmen kertenoid (keraton dan xantofil). Alga hijau didominasi warna hijau karena berasal dari pigmen klorofil a dan klorofil b.⁷

Chlorella Vulgaris ditemukan pada tahun 1890 oleh seorang peneliti Belanda bernama Martinus Willem Beijerinck, yang menggambarannya sebagai "bola" ganggang hijau dengan inti yang jelas. *Chlorella Vulgaris* adalah alga hijau dan dianggap sebagai pemasok bahan pangan yang dapat diandalkan di seluruh dunia.^{7,31}

Mikroalga ini menyediakan protein, lipid, karotenoid, mineral, vitamin dan pigmen dalam jumlah besar. *Chlorella Vulgaris* merupakan mikroalga kosmopolit yang sebagian besar hidup di lingkungan akuatik baik perairan tawar, laut, maupun payau juga ditemukan di tanah dan di tempat lembab. Sel *Chlorella Vulgaris* memiliki tingkat reproduksi yang tinggi, setiap sel 7 *Chlorella Vulgaris* mampu berkembang menjadi 10.000 sel dalam waktu 24 jam.³¹



Gambar 1.2.2 Struktur *Chlorella Vulgaris*

(Sumber Safi C, Zebib B, Merah O, Pontalier PY, Vaca-Gracia C. 2014. Morphology, composition, production, processing, and applications of *chlorella vulgaris*.

1.2.3. Toksonomi *Chlorella vulgaris* adalah:

Tabel 1 Taksonomi *Chlorella Vulgaris*

Tabel 2.3 Taksonomi *Chlorella vulgaris*

Mikroalga	<i>Chlorella vulgaris</i>
Empire	Eukaryota
Kingdom	Plantae
Phylum	Chlorophyta
Class	Trebouxiophyceae
Order	Chlorellales
Family	Chlorellaceae
Genus	Chlorella

(Sumber : Beijerinck, M. W.,1890)

1.2.4. Kandungan Utama *Chlorella vulgaris*

Kandungan Utama dari *Chlorella Vulgaris* adalah:

1. Protein

Protein adalah komposisi yang paling penting dalam ikatan kimia dan komposisi dari mikroalgae. Protein sendiri memiliki peran penting dalam pertumbuhan, perbaikan dan pemeliharaan sel. Total protein dalam *Chlorella vulgaris* 42-58% dalam beratbiomassa kering dan bervariasi sesuai dengan kondisi pertumbuhan. Protein juga memiliki banyak peran dan hampir terlibat dalam peran penting seperti pertumbuhan, perbaikan dan pemeliharaan dari sel juga sebagai penggerak seluler, pembawa pesan kimia, regulator dari aktifitas sel dan pertahanan terhadap benda asing dari luar. Jumlah protein secara keseluruhan pada *Chlorella vulgaris* dewasa sebanyak 42-58% dari berat biomassa kering, dan bervariasi berdasarkan kondisi pertumbuhannya. Protein memiliki banyak peran dan hampir 20% dari total protein terikat dalam dinding sel, 50% berada dalam dinding sel dan 30% bergerak dalam dan keluar sel.^{7,8,31}

2. Lemak

Dalam kondisi pertumbuhan yang optimal *Chlorella vulgaris* dapat mencapai 5- 40% lemak per berat biomassa kering dan terutama terdiri dari glikolipid, wax, hidrokarbon, phospholipid, dan sedikit asam lemak bebas. Kloroplast bertugas dalam mensintesis komponen tersebut dan berada pada dinding sel dan membran dari organel (kloroplas dan membrane mitokondria).^{9,10}

3. Karbohidrat

Karbohidrat mewakili sekelompok gula dan polisakarida seperti pati dan selulosa. komposisi sugar pada dinding sel adalah campuran dari rhamnose, galaktose, glukosa, xylose, arabinose dan mannose. Rhamnose menjadi gula yang dominan. Pati merupakan polisakarida yang paling banyak pada *Chlorella Vulgaris* dan biasanya terletak di kloroplast. Selulosa adalah polisakarida struktural dengan resistensi tinggi dan berada pada dinding sel *Chlorella Vulgaris* sebagai barrier fibrosa protektif.⁹

4. Pigmen

a. Klorofil

Klorofil adalah pigmen yang banyak pada *Chlorella Vulgaris*. Dapat mencapai 1-2% dari berat kering dan terletak pada tilakoid. Selain klorofil juga terdapat sejumlah karotenoid yang memiliki peran penting sebagai pigmen aksesoris dalam menangkap cahaya. Pigmen ini memiliki sifat terapeutik seperti antioksidan, regulasi kolesterol darah, efektif melawan degenerasi retina, mencegah dari penyakit kronik seperti kardiovaskular dan kanker usus dan membentengi sistem imun. Klorofil yang terkandung dalam *Chlorella Vulgaris* membantu dalam peningkatan produksi fibroblas yang berperan dalam penyembuhan luka.^{10,12}

Klorofil merupakan derivat lipid yaitu produk yang dihasilkan oleh organisme maupun mikroorganisme yang aktif berfotosintesis. Klorofil dan karotenoid saling berkesinambungan dalam melakukan proses fotosintesis pada mikroalga.

Pada *Chlorella*, klorofil yang dihasilkan ada lima yaitu klorofil a, b, c, d, dan e. Klorofil yang terkandung dalam *Chlorella* memiliki konsentrasi 0,05 - 0,5% dapat menginvasi dan memperbanyak fibroblas yang berguna dalam proses penyembuhan luka. Fibroblas akan menghasilkan kolagen yang membentuk sebagian dari jaringan granulasi yang terbentuk di daerah terjadinya luka.¹³

b. Karotenoid

Karotenoid merupakan derivat lipid yang dihasilkan secara *de novo* oleh organisme fotosintetik. Kebanyakan ganggang hijau mempunyai komposisi karotenoid yang menyerupai tumbuhan tingkat tinggi. Karotenoid yang dominan antara lain β , β -karotena dan β , ϵ -karotena. Produk metabolit yang umum diketahui dari beta karoten ini adalah vitamin A.³²

c. *Chlorella Growth Factor* (CGF)

Chlorella sp menghasilkan senyawa bioaktif intrasel yang mampu menstimulasi pertumbuhan yang dikenal dengan istilah *Chlorella Growth Factor* (CGF). Senyawa bioaktif tersebut terdiri dari senyawa pemacu pertumbuhan ekstrasel dan intrasel.¹⁹ CGF adalah kelompok zat unik yang

hanya ada di inti *Chlorella* yang menghasilkan hingga 18% dari total beratnya. CGF sangat kaya akan asam nukleat (RNA dan DNA) ditambah zat lain seperti asam amino, peptida, vitamin, mineral, polisakarida, glikoprotein, dan beta-glukan. Substansi yang terkandung dalam CGF meliputi berbagai unsur gizi seperti asam amino, gula, vitamin, mineral, dan asam nukleat. CGF 100% larut dalam air serta mempunyai kemampuan yang luar biasa untuk menyembuhkan dan meremajakan tubuh manusia memperbaiki sel-sel dan jaringan yang rusak, dan merangsang pertumbuhan sel-sel baru.³³

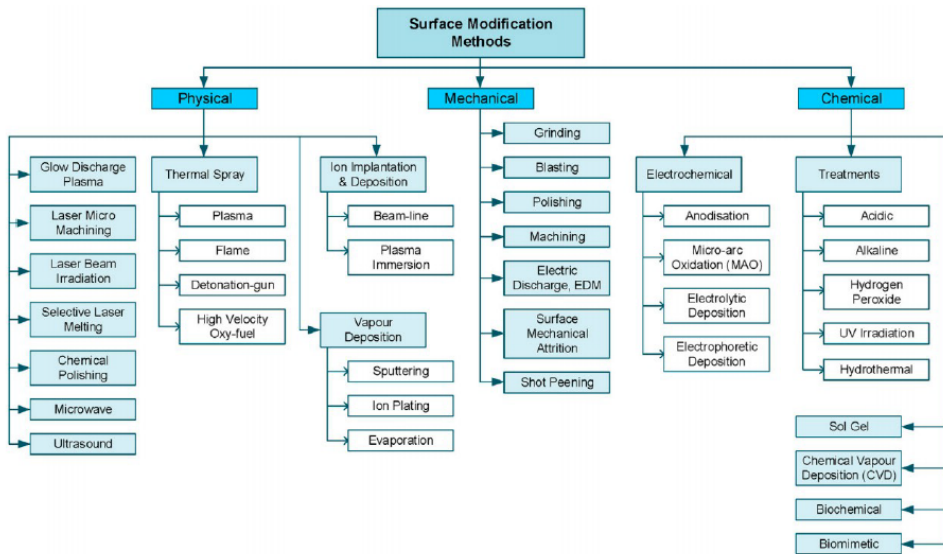
1.2.5. Metabolisme Chlorella Vulgaris

Pertumbuhan metabolisme *Chlorella vulgaris* memiliki 4 tipe kategori, autotropik, heterotropik, miksotropik, dan fotoheterotropik. Karakteristik dari autotropik menggunakan sumber karbon anorganik berupa karbon dioksida, bikarbonat, dan cahaya sebagai sumber untuk berfotosintesis. Metabolisme ini memiliki dua kategori yaitu *close system* dan *open system*.³⁴

Pertumbuhan autotropik dengan *open system* merupakan cara yang paling sering dan mudah untuk menghasilkan biomassa dalam jumlah yang besar meliputi sumber air alami (seperti danau) dan sumber air artifisial (kolam). Kedalam kolam yang optimal sebaiknya 15 – 50 cm sehingga cahaya dapat mencapai seluruh lingkungan tumbuh *Chlorella vulgaris*. Pengolahan microalgae dengan *close system* menggunakan beberapa tipe foto *bioreactor* seperti *tubular*, *airlift*, *bubble coloum* dan *photobioreactor*.^{8,35}

1.2.6. Metode Modifikasi Permukaan Titanium dan Paduannya

Meskipun titanium medis dan paduan titanium memiliki sifat yang luar biasa, masih perlu untuk memperkuat penelitian tentang teknologi modifikasi permukaan agar sesuai dengan lingkungan fisiologis yang kompleks dalam tubuh manusia. Metode modifikasi fisik atau kimiawi seperti oksidasi mikro dan sandblasting untuk membuat lapisan oksida atau permukaan kasar pada permukaan implan, modifikasi biokimiawi dengan cara mengikat protein spesifik, peptida, faktor pertumbuhan, polisakarida, nukleotida, dan biomolekul lain pada permukaan implan dapat secara langsung berpartisipasi dalam proses biologis dan mengatur perlekatan, proliferasi, migrasi, dan diferensiasi sel.^{16,36,37}



Gambar 1.2.6 Metode modifikasi permukaan 1

(Sumber: Alipal J, Mohd Pu'ad NAS, Nayan NHM, Sahari N, Abdullah HZ, Idris MI, et al. An updated review on surface functionalisation of titanium and its alloys for implants applications. In: Materials Today: Proceedings. Elsevier Ltd; 2019. p. 270–82.)

1.2.7. Electrophoretic Deposition (EPD)

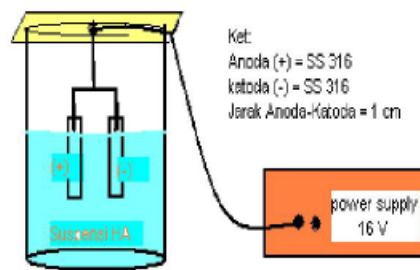
Electrophoretic Deposition merupakan suatu teknik yang menggunakan mekanisme elektroforesis untuk menggerakkan partikel bermuatan dalam larutan atau suspensi karena adanya pengaruh medan listrik, sehingga partikel tersebut akan mengendap pada permukaan suatu substrat dan membentuk lapisan tipis dengan ketebalan tertentu.³⁸ EPD biasanya dilakukan menggunakan dua elektrode sel yaitu katoda (elektrode negatif) dan anoda (elektrode positif). Mekanisme EPD terdiri atas dua tahap, yaitu tahap pertama, migrasi partikel bermuatan di dalam suspensi karena adanya gaya tarik dari penggunaan medan listrik, kemudian aliran listrik antara dua elektroda positif dan negatif menyebabkan partikel akan bergerak ke arah yang berlawanan dengan muatannya.^{38,39}

EPD merupakan metode alternatif yang murah, sederhana, tidak ada batasan bentuk substrat, dan dapat menghasilkan lapisan dengan komposisi yang tepat, kekuatan adhesi yang bagus dan ketebalan yang bervariasi dari 1-500 mikrometer. Dibandingkan dengan teknik-teknik lainnya, proses EPD sangat fleksibel karena dapat dimodifikasi dengan mudah untuk aplikasi tertentu. Sebagai contoh, deposit dapat dibuat pada substrat datar, silinder atau bentuk lainnya dengan hanya sedikit perubahan dalam desain dan posisi elektroda. Metode ini menggunakan arus listrik untuk mendeposisikan partikel

bermuatan dari suspensi di dalam cairan ke permukaan substrat yang bertindak sebagai elektroda.^{15,40}

Metode *electrophoretic deposition* sangat fleksibel dibandingkan dengan metode pelapisan lainnya. Dimana peralatannya sederhana, murah dan menghasilkan lapisan dengan komposisi yang tepat, kekuatan adhesi yang bagus dan ketebalan yang bervariasi dari 1 - 500 μm , juga dapat meningkatkan adhesi, osteoblast, proliferasi dan mineralisasi.

Keunggulan metode *electrophoretic deposition* ini adalah kemampuan lapisan kompleks, substrat seragam dengan waktu pembentukan singkat dan tidak ada transformasi fasa selama proses *electro phoretic deposition*, sesuai untuk medis karena sebagai pelapis yang bioaktif anorganik dan struktur nano biomedis serta mencakup produk yang serba guna dan terkontrol dengan menggunakan temperatur rendah didapat kualitas lapisan yang optimal.



Gambar 1.2.7 Skematik Alat EPD 1

(Sumber: Aprilia L, Nuryadi R, Rianti W, Gustiono D, Herdianto N. Preparasi Lapisan Hidroksiapatit Lia Aprilia Dkk Preparasi Lapisan Hidroksiapatit Pada Substrat Stainless Steel 316 Dengan Metode Deposisi Elektroforesis (Preparation Of Hydroxyapatite Film On Stainless Steel 316 Substrates Using Electrophoretic Desosition Method). 2010.)

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar di atas, maka kami merumuskan:

1. Bagaimana pengaruh tegangan dan waktu pada proses *electrophoretic deposition* terhadap struktur permukaan titanium yang dilapisi dengan *chlorella vulgaris*?
2. Bagaimana pengaruh tegangan dan waktu terhadap struktur mikro dari permukaan titanium yang dilapisi dengan *chlorella vulgaris*?
3. Seberapa tebal lapisan *chlorella vulgaris* yang berhasil dideposisikan pada permukaan titanium?

1.4. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh tegangan dan waktu pada proses *electrophoretic deposition* terhadap struktur permukaan lapisan titanium yang dilapisi *chlorella vulgaris*
2. Menganalisis pengaruh tegangan dan waktu pada struktur mikro dari permukaan titanium yang dilapisi dengan *chlorella vulgaris*
3. Menganalisis ketebalan lapisan *chlorella vulgaris* yang terdeposisi pada permukaan titanium

1.5. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi ilmiah di bidang Prostodonsi mengenai pemanfaatan bahan biota laut sebagai bahan bioaktif untuk *coating* implan
2. Dapat membantu dalam pengembangan material biomedis baru yang memanfaatkan *chlorella vulgaris* sebagai lapisan bioaktif implan.

BAB II

KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP, HIPOTESIS

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

2.1.1. Lokasi Penelitian

- Penelitian dilakukan di fakultas Teknik industri untuk menguji komposisi titanium,
- Fakultas perikanan dan kelautan proses EPD
- Fakultas Teknik universitas Muslim Indonesia untuk uji SEM

2.1.2. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Mei-Juni 2024

2.2 Alat dan Bahan

Tabel 2 Alat dan Bahan

Alat	Bahan
Prosedur preparasi sampel	
<i>Ultrasonic cleaner</i> <i>Beaker glass</i> <i>Hot plate</i>	Sampel Titanium <i>Chlorella Vulgaris</i> <i>Ethanol 96%</i> Kertas Amplas <i>mesh</i> 400-1000 <i>Methanol</i> <i>Aquades</i>
Prosedur elektroforesis	
<i>Dc Power Supply</i> <i>Alat Electrophoretic Deposition</i>	Sampel Ti pori hasil preparasi Dua <i>working electrode</i> <i>Ethanol 96%</i>
Proses Sintering	
Tungku terbuka <i>Tube</i> <i>Furnace Nobertherm</i> 30-3000°C	
Pengujian SEM	
Alat uji SEM	Sampel Ti Pori hasil Elektroforesis

2.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan *quasi eksperimental laboratoris* dengan desain *posttest-only control group design*

2.4 Variabel Penelitian

- Variabel Independen - Titanium (CPTi) grade I
- *Chlorella Vulgaris*
 - *Electrophoretic Deposition*
- Variabel Dependen - Pertambahan Masaa
- *Surface Coverage*
 - Ketebalan Lapisan

2.5 Sampel Penelitian

Sampel penelitian ini adalah lembaran titanium murni dengan kadar titanium 99.8% yang dilapisi dengan *chlorella vulgaris* dengan menggunakan metode EPD yang selanjutnya akan di uji permukaan dengan menggunakan alat SEM

2.6 Prosedur Penelitian

2.6.1. Penyiapan Sampel

Pada tahapan ini sampel berupa material titanium murni (CPTi *grade 1*) dipotong sesuai standar pengujian ukuran 10 mm x 10 mm dengan berat 2 mg. Sampel yang telah dipotong lalu dihaluskan permukaannya menggunakan amplas. Amplas yang digunakan merupakan amplas dengan kekasaran *mesh* 400-1000. Amplas tersebut digunakan secara berurutan dari kekasaran *mesh* kecil, sampai permukaan dari sampel halus dan bebas dari goresan (mengkilap).

2.6.2. Electrophoretic Deposition

Prosedur elektroforesis dilakukan di dalam larutan *chlorella vulgaris* bubuk (5gr) yang dicampur dengan ethanol 96% (200ml). Diikuti dengan sonifikasi dan pengadukan selama 30 menit. Plat *Commercial Pure Titanium* berukuran 10 mm x 10 mm yang telah dihomogenkan permukaannya digunakan sebagai elektroda. Katoda lembaran titanium yang telah di preparasi dan anoda yang digunakan adalah *Stainless Steel* dengan dimensi yang sama. Elektroda yang sudah terpasang dihubungkan dengan aparatus elektroforesis yang telah dirancang. Voltase yang digunakan adalah sebesar 3, 5, 7, 9 dan 10 volt sementara lama waktu pelapisan yang digunakan adalah 3, 5, 7, 9 dan 10 menit. Pengukuran pertambahan massa sampel dilakukan dengan menghitung selisih massa sampel sebelum dan sesudah dilapisi dengan *chlorella vulgaris* (setelah proses sintering). Gambaran morfologi dari sampel diambil menggunakan mikroskop optik dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

2.6.3. Proses Sintering

Masing-masing sampel yang telah terlapis, masih sangat rapuh dan lapisannya mudah terlepas. Oleh karena itu dilakukan proses *sintering* atau pemanasan. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan *bonding* antara *chlorella vulgaris* dengan CPTi agar menjadi kuat dan tidak mudah terlepas. Proses sintering ini menggunakan *High Temperature tungku terbuka Nobertherm 30-3000°C*. Pada saat proses sintering temperatur yang digunakan 700°C selama 1 jam.

2.7 Definisi Operasional

2.7.1. Implan Titanium Murni

Titanium murni (CP-Ti) grade 1 adalah logam putih, lustrous dengan sifat densitas rendah, kekuatan tinggi dan daya tahan terhadap korosi yang sangat baik.

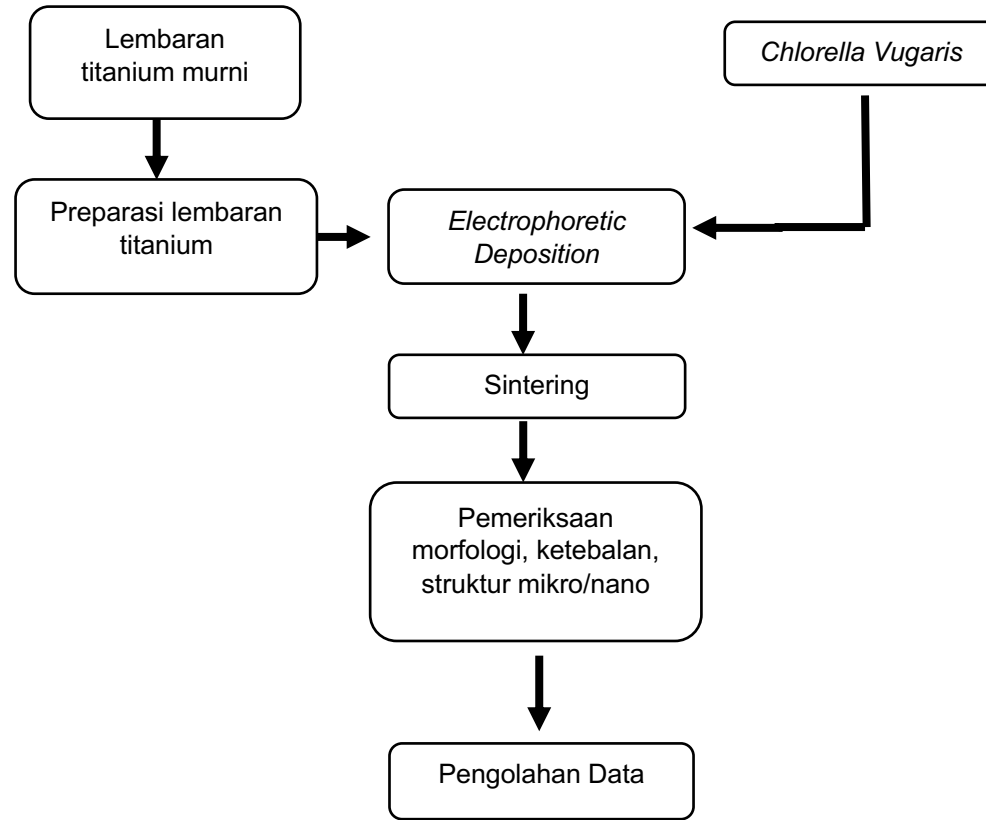
2.7.2. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah alat mikroskop yang menggunakan sebuah sinar elektron untuk menghasilkan gambar permukaan sampel dengan resolusi tinggi. Pengamatan ini bertujuan untuk melihat ada atau tidaknya perubahan struktur mikro ataupun lapisan yang terbentuk. Alat yang digunakan untuk pengamatan yaitu SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah pemeriksaan struktur mikro yang lebih besar hingga 5.000 kali

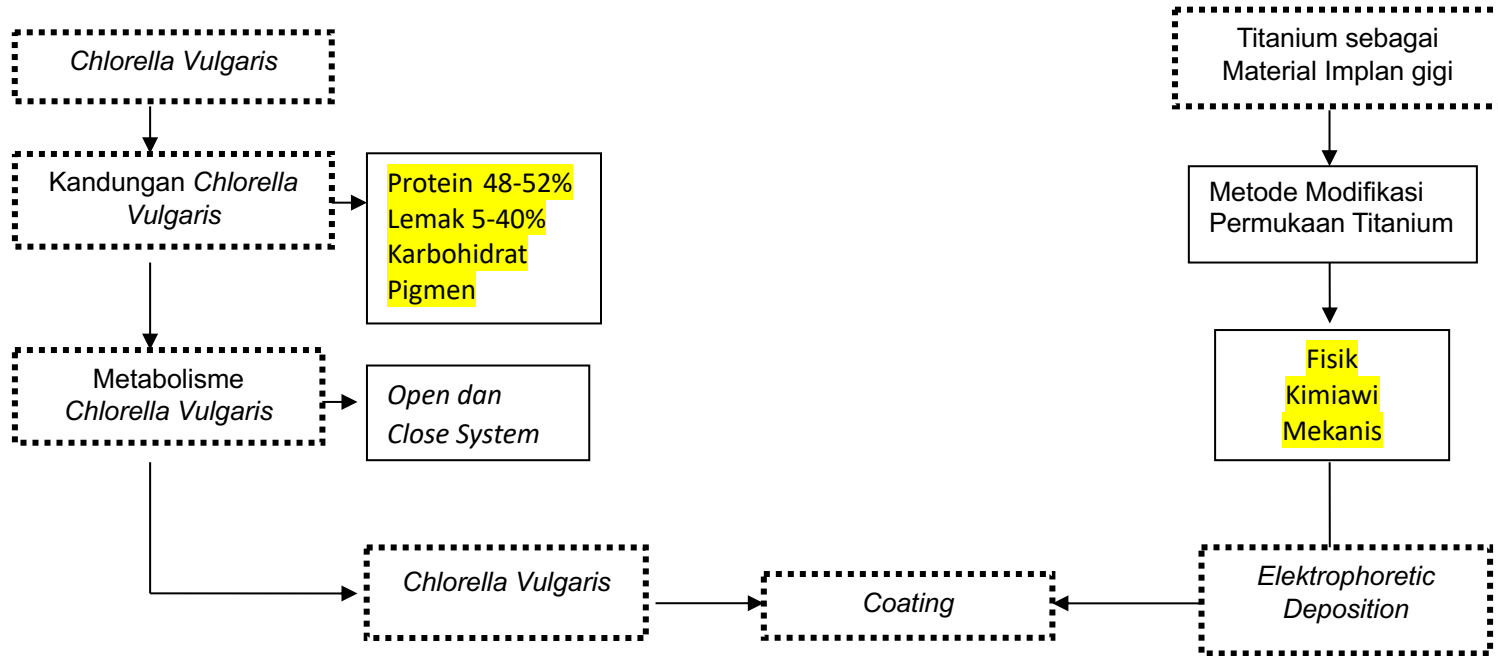
2.7.3. Electrophoretic Deposition

Metode EPD menggunakan arus listrik untuk mendeposisikan partikel bermuatan dari suspensi didalam cairan kepermukaan substrat yang bertindak sebagai elektroda dan dilakukan pada temperatur ruangan sehingga tidak terjadi perubahan pada struktur lapisan. Selanjutnya di sintering untuk menghindari perubahan struktur. *Coating* titanium secara *electrophoretic deposition* harus di sintering pada suhu 700-900°C agar lapisan struktur nano seragam, bebas aglomerat dan tinggi sinterabilitas.

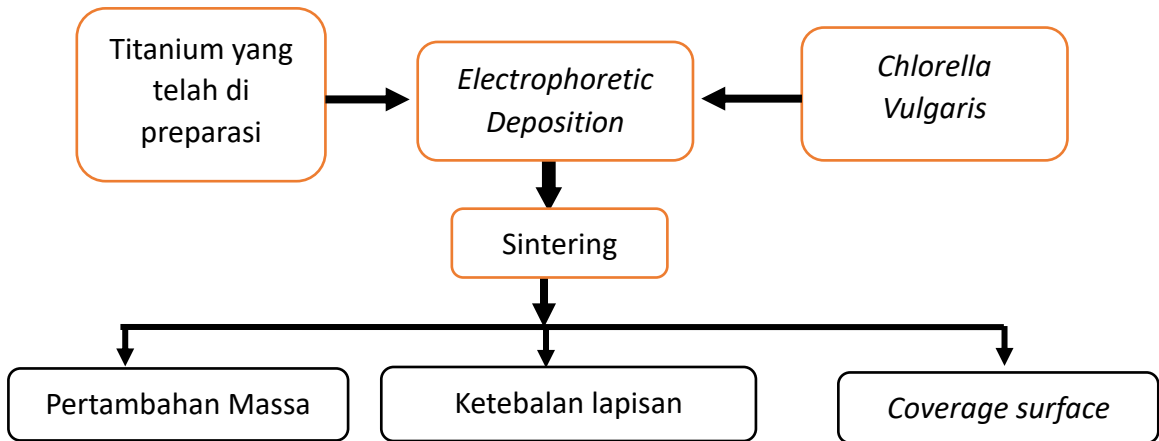
2.8 Alur penelitian



2.9 Kerangka Teori



2.10 Kerangka konsep



= Variabel Independen



= Variabel Dependen

2.11 Hipotesis Penelitian

1. Peningkatan voltase dan waktu yang digunakan dalam proses elektroforesis akan meningkatkan deposit chlorella vulgaris pada CPTi.
2. Peningkatan voltase serta waktu dalam elektroforesis akan meningkatkan luas permukaan lapisan chlorella vulgaris
3. Peningkatan voltase serta waktu dalam elektroforesis akan meningkatkan ketebalan coating