

**GEL *CHLORELLA VULGARIS* SEBAGAI BAHAN REMODELING TULANG
PADA PERAWATAN IMPLAN GIGI DAN PENYEMBUHAN LUKA**

LITERATURE REVIEW

*Diajukan kepada Universitas Hasanuddin Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Mencapai Gelar Sarjana Kedokteran Gigi*



**SALSABILA TAMARA PUTRI ILHAMSYAH
J011191045**

**DEPARTEMEN PROSTODONSIA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
MAKASSAR**

2021

**MODELING TULANG PADA PERAWATAN IMPLAN GIGI DAN
PENYEMBUHAN LUKA**

LITERATURE REVIEW

*Diajukan kepada Universitas Hasanuddin Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Mencapai Gelar Sarjana Kedokteran Gigi*

**SALSABILA TAMARA PUTRI ILHAMSYAH
J011191045**

**DEPARTEMEN PROSTODONSIA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
MAKASSAR
2021**

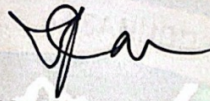
HALAMAN PENGESAHAN

**Judul : GEL CHLORELLA VULGARIS SEBAGAI BAHAN REMODELING
TULANG PADA PERAWATAN IMPLAN GIGI DAN PENYEMBUHAN
LUKA**

Oleh : Salsabila Tamara Putri Ilhamsyah / J011 191 045

**Telah Diperiksa dan Disahkan
Pada Tanggal: 11 MARET 2021**

Oleh:
Pembimbing



Prof. Dr.drg. Edy Machmud, Sp.Pros (K)

NIP. 19631104199401 1 001

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Hasanuddin**



Prof. drg. Muhammad Ruslin, M.Kes., Ph.D., Sp.BM(K).

NIP. 19730702 2001 12 1 001

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan mahasiswa yang tercantum di bawah ini:

Nama : Salsabila Tamara Putri Ilhamsyah

NIM : J011191045

Judul Skripsi : Gel *Chlorella Vulgaris* sebagai Bahan Remodeling Tulang pada Perawatan Implan Gigi dan Penyembuhan Luka

Menyatakan bahwa judul skripsi yang diajukan adalah judul yang baru dan tidak terdapat di Perpustakaan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin

Makassar, 11 Maret 2022

Koordinator Perpustakaan FKG-UH




Amiruddin, S.Sos

NIP. 19661121 199201 1 033

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama: Salsabila Tamara Putri Ilhamsyah

NIM: J011191045

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul *GEL CHLORELLA VULGARIS* SEBAGAI BAHAN REMODELING TULANG PADA PERAWATAN IMPLAN GIGI DAN PENYEMBUHAN LUKA adalah benar merupakan karya sendiri dan tidak melakukan tindakan plagiat dalam penyusunannya. Adapun kutipan yang ada dalam penyusunan karya ini telah saya cantumkan sumber kutipannya dalam skripsi. Saya bersedia melakukan proses yang semestinya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku jika ternyata skripsi ini sebagian atau keseluruhannya merupakan plagiat dari karya orang lain.

Demikian pernyataan ini dibuat untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 11 Maret 2022



5000
REPUBLIK INDONESIA
MARET
TEMPER
42AA 8798 2434

Salsabila Tamara Putri Ilhamsyah

NIM J011191045

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan literature review skripsi yang berjudul “Gel *Chlorella Vulgaris* sebagai Bahan Remodeling Tulang pada Perawatan Implan Gigi dan Penyembuhan Luka”. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah SAW, yang menjadi teladan terbaik sepanjang masa. Dalam skripsi ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada dosen pembimbing Prof. Dr.drg. Edy Machmud, Sp.Pros (K) yang telah sabar mendampingi penulis dalam penyusunan literature review ini. Penulis menyadari sepenuhnya kekurangan dari literature review ini baik dari segi bahasa hingga pembahasan materi. Semoga dengan terselesaikannya literature review ini dapat memberikan manfaat kepada penulis sendiri dan para pembaca.

Berbagai hambatan penulis alami selama penyusunan literature review ini berlangsung, tetapi berkat doa, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak, literature review ini dapat terselesaikan dengan baik di waktu yang tepat. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Fadli Ilhamsyah Chairuddin R dan Ibunda A.Rizaline Patarai yang selalu tulus mendoakan penulis dalam setiap kegiatan dan proses yang dijalani, memberikan motivasi yang tiada hentinya, serta dukungan baik secara materi maupun non-materi selama proses penyusunan skripsi ini.

2. Prof.drg. Muhammad Ruslin, M.Kes., Ph.D., Sp.BM (K) sebagai Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin dan Penasehat Akademik atas bantuan dan bimbingannya selama penulis mengikuti pendidikan dijenjang pre-klinik.
3. Prof. Dr.drg. Edy Machmud, Sp.Pros (K) selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberi arahan, membimbing dan senantiasa memberikan nasehat kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen, Staf Akademik, Staf Perpustakaan FKG Unhas, dan Staf Bagian Ilmu Kedokteran Gigi Anak yang telah banyak membantu penulis.
5. Teman seperjuangan skripsi Aulia Khoirunnisa yang selalu ada untuk selalu memberi semangat dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Kepada teman terdekat penulis telbie Nela, Dini, Dede, Nazila, Ima, Jihan, Dilla, Maura, Tiara, Farah, Eshin, Ade, Koi, Atlas yang setia membantu, menemani menghabiskan masa pre-klinik dan atas segala bentuk dukungan, motivasi, semangat yang diberikan kepada penulis.
7. Kepada teman terdekat penulis RVV Alya, Icha, Cici, Farah, Ola, Nanda, Duwi, Pablo, Unul, Memo, Ghina, Ippi yang selalu ada dalam suka dan duka serta memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Kepada teman terdekat penulis Avila dan Geby yang selalu menghibur dan memberi semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Kepada Kafka yang ikut serta memberikan segala bentuk dukungan di akhir penulisan skripsi ini.

10. Kepada keluarga besar ALVEOLAR 2019 teman seperjuangan dari pertama kali menapakkan kaki di FKG UNHAS.

11. Semua pihak yang membantu secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan literature review ini, walaupun pada penyusunan literature review ini masih terdapat kekurangan, namun sekiranya dapat memberikan informasi kepada pembaca terkait efektivitas gel *chlorella vulgaris*.

Makassar, 11 Maret 2022



Penulis

**GEL CHLORELLA VULGARIS SEBAGAI BAHAN REMODELING
TULANG PADA PERAWATAN IMPLAN GIGI DAN
PENYEMBUHAN LUKA**

Salsabila Tamara Putri Ilhamsyah¹Edy Machmud²

¹Mahasiswa S1 Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin

**²Dosen Departemen Prostodonsia Fakultas Kedokteran Gigi Universitas
Hasanuddin**

ABSTRAK

Latar Belakang: Implan gigi memberikan berbagai keunggulan dalam hal kestabilan dan kenyamanan dibandingkan gigi tiruan. Penggunaan implan juga tentunya dapat mengurangi resorpsi pada tulang alveolar. Meskipun begitu, penggunaan implan gigi ini tidak jarang menimbulkan komplikasi seperti cedera pada sekitar area implan gigi hingga ke tulang. *Chlorella vulgaris* adalah salah satu mikroalga yang sedang dikembangkan dan memiliki 4 komponen yang berpengaruh pada kesehatan, seperti klorofil, dinding sel, beta-karoten, dan Chlorella Growth Factor (CGF). Dalam bidang kedokteran gigi, kandungan pada chlorella vulgaris dapat dimanfaatkan sebagai bahan remodeling tulang pada perawatan implan gigi. Kandungan senyawa aktif pada Chlorella Vulgaris juga berpotensi sebagai bahan penyembuh luka setelah pencabutan gigi. Ekstrak chlorella vulgaris ini memiliki efek antibakteri pada berbagai strain bakteri dan juga dianggap sebagai obat antiinflamasi karena dapat mengurangi sekresi sitokin yang terkait dengan aktivitas

inflamasi. **Tujuan:** Secara umum, literature review ini bertujuan untuk mengetahui potensi gel *Chlorella vulgaris* sebagai bahan remodeling tulang dan penyembuhan luka. **Metode:** Literature review. **Hasil:** Secara keseluruhan keenam jurnal penulis sintesa menunjukkan bahwa adanya kandungan senyawa *Chlorella Vulgaris* yang berpotensi sebagai bahan remodeling tulang dan penyembuh luka. **Kesimpulan:** *Chlorella vulgaris* sangat efektif digunakan dalam bidang kedokteran gigi khususnya sebagai bahan remodeling tulang, antimikroba, anti-inflamasi, serta dalam proses penyembuhan luka pasca pencabutan gigi berdasarkan pada kandungan senyawa bioaktif dalam mikroalga *chlorella vulgaris*.

Kata Kunci: *Chlorella Vulgaris, Bone Remodeling, Dental Implant Treatment, dan Wound Healing*

**CHLORELLA VULGARIS GEL AS A BONE REMODELING MATERIAL IN
DENTAL IMPLANT TREATMENT AND WOUND HEALING**

Salsabila Tamara Putri Ilhamsyah¹Edy Machmud²

¹ Undergraduate Student of the Faculty of Dentistry, Universitas Hasanuddin

**² Lecturer of the Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry,
Universitas Hasanuddin**

ABSTRACT

Background: Dental implants provide various advantages in terms of stability and comfort over dentures. The use of implants can also reduce the resorption of the alveolar bone. Even so, the use of dental implants often causes complications such as injury to the area around the dental implant to the bone. *Chlorella vulgaris* is a microalgae that is being developed and has 4 components that affect health, such as chlorophyll, cell walls, beta-carotene, and Chlorella Growth Factor (CGF). In dentistry, the content of *Chlorella vulgaris* can be used as a bone remodeling material in dental implant treatment. The active compound content in *Chlorella vulgaris* also has the potential as a wound healing agent after tooth extraction. This extract of chlorella vulgaris has antibacterial effect on various bacterial strains and is also considered an anti-inflammatory drug because it can reduce the secretion of cytokines associated with inflammatory activity. **Objective:** In general, this literature review aims to determine the potential of Chlorella vulgaris gel as a bone remodeling and wound healing agent. **Method:** Literature review. **Result:** Overall, the six authors'

journals of the synthesis showed that the content of *Chlorella vulgaris* compounds has the potential as a bone remodeling and wound healing material. **Conclusion:** *Chlorella vulgaris* is very effectively used in dentistry, especially as a bone remodeling material, antimicrobial, anti-inflammatory, as well as in the wound healing process after tooth extraction based on the content of bioactive compounds in the microalgae *chlorella vulgaris*.

Keywords: *Chlorella Vulgaris, Bone Remodeling, Dental Implant Treatment, dan Wound Healing*

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| HALAMAN SAMPUL | i |
| HALAMAN JUDUL | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| SURAT PERNYATAAN | iv |
| PERNYATAAN | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| ABSTRAK | ix |
| ABSTRACT | xi |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR TABEL | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penulisan | 3 |
| 1.4 Manfaat Penulisan | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 <i>Chlorella Vulgaris</i> | 5 |
| 2.1.1 Deskripsi <i>Chlorella Vulgaris</i> | 5 |
| 2.1.2 Taksonomi <i>Chlorella Vulgaris</i> | 6 |
| 2.1.3 Fisiologi <i>Chlorella Vulgaris</i> | 7 |
| 2.1.4 Morfologi <i>Chlorella Vulgaris</i> | 7 |
| 2.1.5 Metabolisme <i>Chlorella Vulgaris</i> | 8 |
| 2.1.6 Kandungan Utama <i>Chlorella Vulgaris</i> | 9 |
| 2.2 Manfaat dalam Kedokteran Gigi | 11 |
| 2.2.1 Penyembuhan Luka..... | 11 |
| 2.2.2 Remodeling Tulang | 14 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.3 Implan Gigi..... | 19 |
| 2.2.4 Anti-inflamasi..... | 20 |
| 2.2.5 Antibakteri..... | 21 |
| BAB III BAHAN DAN METODE PENELITIAN..... | 22 |
| 3.1 Metode Penulisan..... | 22 |
| 3.2 Sumber Data | 22 |
| 3.3 Kriteria Penulisan | 23 |
| 3.4 Pengumpulan Data..... | 23 |
| 3.5 Prosedur Penulisan..... | 23 |
| BAB IV PEMBAHASAN..... | 26 |
| 4.1 Analisis Sintesa Jurnal..... | 33 |
| 4.2 Analisis Persamaan Jurnal..... | 38 |
| 4.3 Analisis Perbedaan Jurnal..... | 38 |
| BAB V PENUTUP..... | 40 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 40 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 41 |
| LAMPIRAN..... | 46 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 <i>Bentuk umum Chlorella sp.</i> | 6 |
| Gambar 2.2 Struktur <i>Chlorella sp.</i> | 6 |
| Gambar 2.3 Morfologi <i>Chlorella Vulgaris</i> dari hasil pengamatan dengan perbesaran 10x40..... | 8 |
| Gambar 2.4 Anatomi Alveolar..... | 15 |
| Gambar 2.5 Fisiologis Remodeling Tulang..... | 17 |
| Gambar 3.1 Diagram alur penelusuran jurnal yang akan disintesis..... | 25 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 4.1 Karakteristik dari setiap jurnal yang dimasukkan ke dalam tinjauan literature..... | 26 |
|--|----|

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan implan dental sebagai pengganti gigi yang hilang telah banyak digunakan secara luas dengan angka keberhasilan yang cukup tinggi. Implant gigi merupakan pilihan perawatan ideal untuk pasien yang kehilangan satu atau beberapa gigi yang diakibatkan oleh kerusakan jaringan periodontal dan trauma. Namun setelah proses penyembuhan, implan menerima beban kunyah yang cukup berat sehingga terdapat kemungkinan gagalnya penggunaan implan dental. Komplikasi yang dapat timbul biasanya akibat faktor biologis, iatrogenik dan mekanis. Faktor biologis seperti kualitas tulang yang buruk, volume tulang yang tidak adekuat, kebiasaan merokok, dan immunosupresi.¹

Tulang merupakan jaringan keras yang membentuk tubuh manusia. Berat tulang hanya sepersepuluh dari berat badan, namun demikian tulang sangatlah kuat, elastis serta mampu melakukan regenerasi bila mengalami trauma. Luka pada jaringan keras dapat disebabkan oleh adanya trauma yang timbul mendadak dan melebihi batas kekuatan jaringan keras sehingga terjadi kehilangan kontinuitas dari tulang/fraktur atau keadaan patologis. Pada proses penyembuhan jaringan keras tulang terjadi fase penyembuhan primer dan

sekunder. Pada penyembuhan primer terjadi penyembuhan pada celah dan penyembuhan kontak. Pada penyembuhan sekunder terdiri atas penyembuhan tahap awal, kalus kortilogenus, kalus tulang, dan remodeling.²

Saat ini sedang banyak diteliti dan berkembang bahan remodeling tulang dari bahan alami *Chlorella vulgaris*, yang merupakan mikroalga yang termasuk dalam kelas *Chlorophyceae*, terdapat di perairan Indonesia dan dapat dibudidayakan. Selain mengandung nilai gizi yang baik, *Chlorella vulgaris* juga memiliki senyawa-senyawa bioaktif seperti karotenoid, senyawa fenol, sulfat polisakarida dan vitamin yang berfungsi untuk mempengaruhi regulasi sel, respon kekebalan tubuh dan sebagai antioksidan. *Chlorella vulgaris* berkhasiat baik untuk organ dan jaringan yang terluka.^{3,4}

Kandungan senyawa aktif pada *Chlorella Vulgaris* berpotensi dalam menyembuhkan luka, begitupula dalam bidang kedokteran gigi *Chlorella vulgaris* bisa dimanfaatkan sebagai bahan penyembuh luka setelah pencabutan gigi. Seperti pada penelitian yang telah dilakukan dan dibuktikan oleh Edy Machmud dan kawan- kawan dengan mengubah formulasi *Chlorella Vulgaris* menjadi bahan sediaan berbentuk salep yang telah diuji dan menunjukkan bahwa sediaan tersebut memiliki formulasi yang aman dan tidak menyebabkan iritasi pada hewan uji, maka *Chlorella Vulgaris* dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk pembentukan remodelling tulang maupun penyembuhan luka pada jaringan keras.⁵

Berdasarkan uraian di atas, peneliti tertarik untuk mengkaji lebih lanjut penelitian yang sudah diteliti mengenai efektivitas pemanfaatan *Chlorella Vulgaris* sebagai bahan remodeling tulang pada perawatan implan gigi maupun dalam penyembuhan luka.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan maka didapatkan rumusan masalah yaitu: “Bagaimana potensi gel *Chlorella Vulgaris* sebagai bahan remodeling tulang dan penyembuhan luka?”

1.3 Tujuan Penelitian

a. Tujuan Umum

Untuk mengetahui potensi gel *Chlorella vulgaris* sebagai bahan remodeling tulang dan penyembuhan luka

b. Tujuan Khusus

Untuk mengetahui kandungan spesifik dalam *Chlorella vulgaris* yang memiliki beragam manfaat di bidang kedokteran gigi.

1.4 Manfaat Penelitian

a. Literature review ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pemanfaatan gel *Chlorella vulgaris* sehingga instansi terkait dapat mengembangkan sumber daya alam secara maksimal

b. Memberikan manfaat bagi masyarakat umum yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian selanjutnya

BAB II

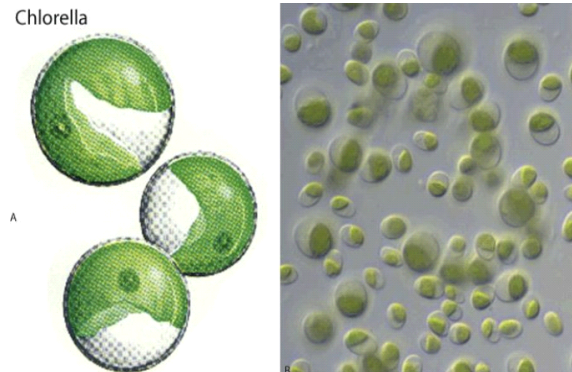
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Chlorella Vulgaris*

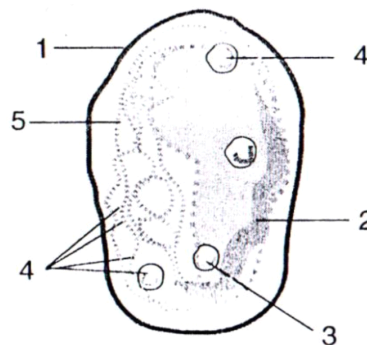
2.1.1 Deskripsi *Chlorella Vulgaris*

Mikroalga merupakan tumbuhan mikroskopis bersel tunggal yang berdiameter 3-30 μm dan dapat menyerap CO_2 dengan upaya untuk menurunkan kadar CO_2 di udara. Mikroalga mampu memfiksasi CO_2 (10- 50) kali lebih efisien jika dibandingkan dengan tumbuhan. Pengembangbiakan mikroalga untuk mendapat kepadatan sel dilakukan dalam bioteknologi mikroalga dengan proses yang optimal. Metabolisme mikroalga dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain heterotropik, autotropik, mixotropik, fotoheterotropik, dan fotoautotropik.^{1,8}

Chlorella vulgaris ditemukan pertama kali oleh seorang peneliti Belanda yang bernama Martinus Willem Beijerinck. *Chlorella vulgaris* adalah mikroalga berbentuk bulat kecil yang termasuk dalam kelas Chlorophyceae, terdapat di perairan Indonesia dan dapat dibudidayakan sebagai pakan alami. *Chlorella vulgaris* tergolong ke jenis alga hijau dan mengandung zat gizi yang tinggi seperti protein, asam nukleat, karbohidrat, mineral dan vitamin. Namanya berasal dari bahasa Yunani “chloros” yang artinya hijau dan akhiran latin “-ella” yang berarti kecil.^{3,9,10}



Gambar 2.1 Bentuk umum *Chlorella* sp. (Sumber: <http://etheses.uin-malang.ac.id/895/6/08620047%20Bab%202.pdf>)



Gambar 2.2 Struktur *Chlorella* sp. (1) Dinding sel (2) Kloroplast (3) Inti (4) Inklusi (5) Sitoplasma (Alim dan Kurniastuti, 1995)

2.1.2 Taksonomi *Chlorella Vulgaris*¹¹

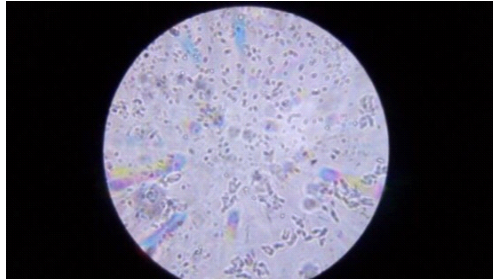
| | |
|----------|----------------------|
| Domain | : Eukaryota |
| Kingdom | : Protista |
| Division | : Chlorophyta |
| Class | : Trebouxiophyceae |
| Order | : Chlorellales |
| Family | : Chlorellaceae |
| Genus | : Chlorella |
| Spesies | : Chlorella Vulgaris |

2.1.3 Fisiologi *Chlorella Vulgaris*¹²

Mikroalga merupakan organisme aerobik fotosintetik yang terdapat dimana saja dan mengandung cukup cahaya, air, dan nutrisi sederhana untuk melangsungkan hidup. Mikroalga ini menyesuaikan bentuk tubuh dengan lingkungannya. Pigmen fotosintesis memiliki banyak efek. Selain itu, adanya pigmen phycocyanin dan phycoerythrin mengubah sebagian alga menjadi coklat, sehingga menutupi warna asli hijau dari mikroalga tersebut dan mengurangi penyerapan sinar matahari oleh mikroalga.

2.1.4 Morfologi *Chlorella Vulgaris*³

Mikroalga *Chlorella Vulgaris* termasuk ke dalam jenis alga yang bersel tunggal atau uniseluler, diameter selnya berkisar antara 2-8 mikron, bentuk selnya berbentuk bulat seperti telur, sel berwarna hijau karena mengandung pigmen klorofil yang tinggi dan dominan dibandingkan dengan pigmen yang lain. *Chlorella vulgaris* dapat bergerak namun sangat lambat sehingga dalam hasil pengamatan seakan tidak bergerak. Habitat mikroalga adalah perairan atau tempat lembab, sebagai epifit ataupun endofit.



Gambar 2.3 Morfologi *Chlorella Vulgaris* dari hasil pengamatan dengan perbesaran 10x40

Sumber: Novianti T, Zainuri M, Widowati I. Studi tentang pertumbuhan mikroalga *chlorella vulgaris* yang dikultivasi berdasarkan sumber cahaya yang berbeda. Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi.2017

2.1.5 Metabolisme *Chlorella Vulgaris* ¹³

Metabolisme mikroalga *Chlorella Vulgaris* dikelompokkan menjadi 4 jenis, yaitu autotropik, heterotropik, miksotropik, dan fotoheterotropik.

a. Autotropik

Metabolisme mikroalga ini ditandai dengan penggunaan sumber karbon anorganik sebagai CO₂, dan cahaya sebagai sumber energinya untuk berfotosintesis. Metabolisme ini ada dua macam, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup.

b. Heterotropik

Metabolisme heterotropik membutuhkan karbon organik sebagai nutrisi dan energi untuk menggantikan cahaya, karena cahaya dihasilkan dari fotobioreaktor yang tertutup.

c. Miksotropik

Metabolisme miksotropik dilakukan dengan ada atau tidaknya cahaya dari sumber karbon organik atau anorganik. Kultur miksotropik berarti pertumbuhan sel tidak hanya bergantung pada fotosintesis, sehingga cahaya dan sumber karbon organik dianggap berpengaruh pada mikroalga.

d. Fotoheterotropik

Metabolisme fotoheterotropik tentunya membutuhkan cahaya dan membutuhkan sumber karbon organik.

2.1.6 Kandungan utama *Chlorella Vulgaris*^{5,11,14}

Chlorella Vulgaris memiliki kandungan esensial yang bermanfaat bagi keberlangsungan hidup manusia. *Chlorella vulgaris* mengandung 51-58% protein, 12-26% karbohidrat, 2-22% lemak, 4-6% asam nukleat, serta efisiensi fotosintesis yang mencapai 8% dengan kandungan klorofilnya mencapai 28,9 g/kg berat biomassa. Komposisi utama dari *Chlorella vulgaris* adalah protein, lemak, karbohidrat, pigmen, mineral, dan vitamin.

a. Protein

Merupakan komponen penting dalam komposisi mikroalga. Protein ini memainkan peran penting dalam pertumbuhan dan pemeliharaan sel. Total protein dalam *Chlorella* adalah 42-58% dari berat biomassa kering dan bervariasi sesuai kondisi pertumbuhannya, Protein memiliki banyak fungsi, hampir 20% dari total protein terikat di dinding sel, 50% terikat di dinding sel, dan 30% bergerak keluar masuk sel.

b. Lemak

Lipid termasuk kelompok senyawa heterogen. Dalam kondisi pertumbuhan yang optimal, *Chlorella Vulgaris* dapat mencapai 5-40% lipid per berat kering biomassa kering, dan terutama terdiri dari glikolipid, lilin, hidrokarbon, fosfolipid dan sejumlah kecil asam lemak bebas. Komponen ini disintesis oleh kloroplas dan terletak pada membrane organel seperti dinding sel.

c. Karbohidrat

Karbohidrat mewakili sekelompok gula dan polisakarida, seperti pati dan selulosa. Pati adalah polisakarida yang melimpah di *chlorella vulgaris*. Biasanya terletak di kloroplas, terdiri dari amilosa dan amilopektin. Selulosa adalah polisakarida struktural yang terletak di dinding sel *chlorella vulgaris* dan bertindak sebagai penghalang serat pelindung. Selain itu, *chlorella vulgaris* memiliki dinding sel yang sangat kuat, terdiri dari lapisan kitosan, selulosa, hemiselulosa, protein, lipid dan mineral.

d. Pigmen

Pigmen yang paling melimpah pada *chlorella vulgaris* adalah klorofil, yang letaknya di tilakoid. *Chlorella vulgaris* juga mengandung sejumlah besar karotenoid, yang bertindak sebagai pigmen tambahan dengan menangkap cahaya.

e. Mineral dan Vitamin

Kandungan mineral yang dimaksud seperti kalsium, zat besi dan vitamin D berperan besar dalam mineralisasi tulang, gigi, dan pengaturan kadar kalsium dan fosfor darah. Fosfor adalah mineral utama tulang dan gigi yang memberi kekuatan penuh pada

jaringan. Vitamin D merupakan hormone secosteroid yang penting dalam proses penyerapan kalsium dan mineralisasi tulang. Vitamin D memudahkan penyerapan kalsium dari makanan, merangsang transportasi aktif dengan menginduksi sintesis protein pengikat kalsium pada sel mukosa usus.

2.2 Manfaat Dalam Kedokteran Gigi

2.2.1 Penyembuhan Luka

A. Luka

Luka merupakan suatu bentuk kerusakan jaringan pada kulit yang disebabkan kontak dengan sumber panas, hasil tindakan medis, maupun oleh karena perubahan kondisi fisiologi itu sendiri. Luka menyebabkan gangguan pada fungsi dan struktur anatomi tubuh. Berdasarkan waktu dan proses penyembuhannya, luka dapat dibagi menjadi luka akut dan luka kronik. Luka akut merupakan cedera jaringan yang dapat pulih kembali seperti keadaan normal dengan bekas luka yang minimal dalam rentang waktu 8-12 minggu. Penyebab utama dari luka akut adalah cedera mekanikal karena faktor eksternal Sementara luka kronik merupakan luka dengan proses pemulihan yang lambat, waktu penyembuhannya lebih dari 12 minggu dan kadang menyebabkan kecacatan.. Salah satu penyebab terjadinya luka kronik adalah kegagalan pemulihan karena kondisi fisiologis, infeksi secara terus menerus, dan kurangnya tindakan pengobatan yang diberikan.¹⁵

Dalam bidang kedokteran gigi, tindakan pencabutan gigi merupakan contoh tindakan yang dapat menimbulkan luka. Hal ini menyebabkan keadaan tidak nyaman

bagi pasien dan memudahkan infeksi serta komplikasi lain yang akan menimbulkan masalah yang berkelanjutan.

B. Proses Penyembuhan Luka

Proses penyembuhan luka adalah suatu hal yang kompleks karena adanya kegiatan bioseluler dan biokimia yang terjadi secara berkesinambungan. Ketika terjadi luka, tubuh memiliki mekanisme untuk mengembalikan komponen jaringan yang rusak dengan membentuk struktur baru dan fungsional. Proses penyembuhan luka tidak hanya terbatas pada proses regenerasi yang bersifat lokal, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor endogen seperti umur, nutrisi, imunologi, pemakaian obat-obatan, dan kondisi metabolik.

Ketika jaringan mengalami kerusakan karena luka, maka akan terjadi proses penyembuhan luka. Proses ini terjadi melalui tiga fase, yaitu fase inflamasi, fase proliferasi, dan fase remodeling. Proses penyembuhan luka pada dasarnya merupakan suatu proses seluler yang kompleks dan berfokus untuk mengembalikan keutuhan jaringan yang rusak atau hilang. Kejadian ini melibatkan migrasi, proliferasi, adhesi, diferensiasi, dan sebagainya.

Fase inflamasi berlangsung sejak terjadinya luka sampai hari ke-5, terdiri atas vaskuler dan seluler. Pada fase ini terjadi aktivitas seluler yaitu dengan pergerakan leukosit menembus dinding pembuluh darah atau diapedesis, menuju luka karena daya kemotaksis. Leukosit mengeluarkan enzim hidrolitik yang membantu mencerna bakteri dan debris pada luka. Setelah proses inflamasi selesai, maka akan dimulai fase proliferasi. Fase proliferasi disebut juga fase fibroplasia. Fase ini berlangsung dari

akhir fase inflamasi sampai kira-kira minggu ke-3 yang ditandai dengan deposisi matriks ekstraselular, angiogenesis, dan epitelisasi. Proses ini baru terhenti ketika sel epitel saling menyentuh dan menutup seluruh permukaan luka, lalu dimulailah proses pematangan dalam fase remodeling. Fase akhir dari proses penyembuhan luka yaitu fase pematangan atau biasa juga disebut remodeling. Pada fase ini terjadi perubahan bentuk, kepadatan, dan kekuatan luka. Fase ini dapat berlangsung berbulan-bulan dan dinyatakan berakhir apabila semua tanda radang sudah hilang. Tubuh berusaha menormalkan kembali semua bagian yang tidak normal karena adanya proses penyembuhan.^{15,16}

Untuk mempercepat proses penyembuhan luka, tentunya dibutuhkan suatu prosedur perawatan yang optimal dengan memanfaatkan berbagai faktor yang terlibat dalam proses penyembuhan luka. Penyembuhan jaringan keras dan lunak dimediasi oleh berbagai peristiwa intraseluler dan ekstraselular yang diatur oleh sinyal protein. Tulang memiliki kemampuan terbatas untuk melakukan self-repair dan regenerasi jaringan, sehingga sering menjadi masalah dalam dunia kesehatan. Salah satu upaya terapi regenerasi jaringan periodontal dan tulang alveolar adalah dengan melakukan rekayasa jaringan. Tiga komponen dasar dalam rekayasa jaringan adalah (1) sel progenitor, (2) sistem perancah (*scaffold*) sebagai matriks ekstraseluler awal yang dibutuhkan untuk proliferasi, migrasi, dan diferensiasi sel, serta (3) faktor pertumbuhan.¹⁷

2.2.2 Remodeling Tulang

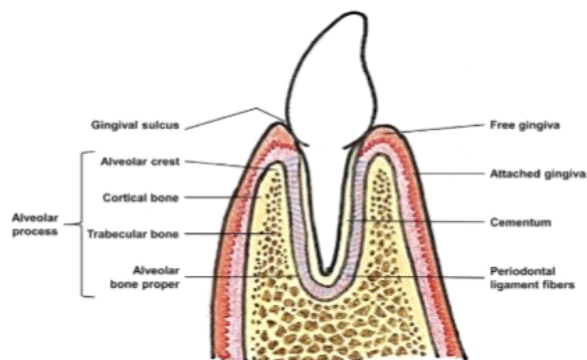
A. Tulang

Tulang adalah material komposit yang utamanya terbuat dari kolagen tipe I, pada tingkat yang lebih rendah terbuat dari proteoglikan non-kolagen lainnya. Selama proses biomineralisasi, kristal hidroksiapatit diletakkan untuk tumbuh. Fase mineral terutama bertanggung jawab atas kemampuan untuk menahan deformasi sedangkan serat kolagen memungkinkan penyerapan energi. Oleh karena itu, setiap bagian dari perubahan tersebut akan mempengaruhi sifat mekanik tulang, sehingga mempengaruhi resiko terjadinya patah tulang.¹⁸

Tulang merupakan jaringan dinamis yang memiliki sistem regenerasi seluler yang kompleks. Jaringan ini terdiri atas sel-sel dan matriks intersel. Secara makroskopik, tulang dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu tulang spongiosa dan tulang kompakta. Adapun sel-sel dalam tulang yang terdiri dari empat jenis sel berbeda: sel osteogenik, osteoblast, osteosit, dan osteoklas. Sel osteoblas membuat, menyekresikan, dan mengendapkan unsur organik matriks tulang baru yang disebut osteoid. Osteoid ialah matriks tulang belum mengapur, baru dibentuk, dan tidak mengandung mineral. Osteosit atau sel tulang ialah osteoblast yang terpendam dalam matriks tulang. Osteoklas ialah sel multinuclear besar yang terdapat di sepanjang permukaan tulang tempat terjadinya resorpsi, remodeling, dan perbaikan tulang. Sel ini sering terdapat di dalam sebuah lekuk dangkal pada tulang yang teresorpsi atau terkikis secara enzimatik. Tulang alveolar termasuk bagian penting dari jaringan pendukung gigi pada tulang maksilofaksial. Tidak seperti jaringan ikat lainnya, tulang

merupakan jaringan ikat khusus yang keras dan elastis. Tulang alveolar memiliki komposisi yang mirip dengan sementum. Tulang terdiri dari sekitar 65% bahan anorganik dan 35% bahan organik.^{19,20}

Meskipun mikrostruktur dan struktur sel tulang alveolar mirip dengan tulang di bagian lain tubuh manusia, kebutuhan fisiologis dan fungsional instrument gigi membuatnya unik di antara jaringan tulang lainnya.



Gambar 2.4 Anatomi Alveolar

Sumber: Ramalingam S, Sundar C, Jansen JA, Alghamdi H. Alveolar Bone Science: Structural Characteristics And Pathological Changes Chapter 1.2020

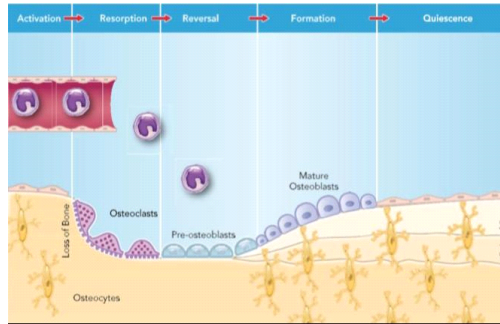
B. Remodeling Tulang

Selama hidup, tulang mengalami modeling dan remodeling untuk tumbuh dan berubah bentuk. Modeling tulang merupakan proses perubahan tulang sebagai respons menanggapi pengaruh fisiologis atau gaya mekanis yang dihadapi, sedangkan remodeling tulang adalah pembentukan kembali tulang sehingga tulang dapat mempertahankan kekuatannya. Tulang adalah jaringan dinamis yang akan mengalami remodeling terus-menerus sepanjang hidup, memberikan dukungan mekanis, serta

melindungi organ vital seperti sumsum tulang dan otak. Tulang juga berfungsi sebagai reservoir kalsium dan fosfat. Proses remodeling ini berlangsung terus-menerus untuk mempertahankan kedua fungsi penting dengan mencegah akumulasi kerusakan tulang dan mempertahankan kekuatan mekanik tulang serta homeostatis kalsium. Remodeling tulang adalah proses dimana tulang yang sudah tua atau rusak dihilangkan oleh osteoklas dan diganti dengan tulang baru yang dibentuk oleh osteoblas.²¹

1) Siklus Remodeling Tulang

Siklus remodeling tulang terdiri dari tujuh fase yang berurutan, diawali dengan fase ketenangan, aktivasi, resorpsi, pembalikan, pembentukan, mineralisasi, dan penghentian. Aktivasi mendahului resorpsi, dengan fase penghentian sebagai langkah terakhirnya. Tahap pertama dari remodeling tulang melibatkan pendeteksian sinyal remodeling yang dimulai. Dalam fase resorpsi, osteoblas merespons sinyal yang dihasilkan oleh osteosit atau sinyal aktivasi endokrin langsung untuk merekrut prekursor osteoklas. Durasi fase absorpsi dibatasi, diikuti oleh fase pembalikan yang ditandai dengan lenyapnya hampir semua osteoklas. Tahap pembentukan ditandai dengan penggantian lengkap osteoklas dengan osteoblas. Pertahanan permukaan tulang sampai gelombang pembentukan kembali berikutnya dimulai.²²



Gambar 2.5 Fisiologis Remodeling Tulang

Sumber: Siddiqui JA, Partridge NC. Physiological Bone Remodeling: Systemic Regulation and Growth Factor Involvement. Physiology. 2016

a. Aktivasi

Sel-sel osteoklas direkrut dari sirkulasi kemudian diaktifkan. Ketika sel-sel lapisan terpisah dari tulang yang berada di bawahnya dan membentuk kanopi yang menutupi situs yang akan diserap, permukaan tulang akan terbuka. Beberapa sel mononuclear bergabung membentuk prosteoklas berinti banyak. Awal dari remodeling tulang adalah langkah pertama yang penting, memastikan bahwa remodeling dilakukan hanya jika diperlukan dalam perihal kesehatan. Dalam remodeling yang ditargetkan, pengangkatan area tertentu dari tulang yang rusak atau tua, sinyal awal berasal dari osteosit yang menggunakan jaringan dendritik untuk mengirim sinyal ke sel lain. Sebaliknya, remodeling non-target mengacu pada remodeling sebagai respons terhadap perubahan sistemik pada hormon (seperti PTH), sehingga memungkinkan akses ke penyimpanan kalsium tulang tanpa dialihkan.²³

b. Resorpsi

Tahap resorpsi adalah tahap pada saat osteoklas akan mensekresi ion hydrogen dan enzim lisosom terutama *catheprine K* dan akan mendegrasi seluruh komponen

matriks tulang termasuk kolagen. Awalnya, osteoklas memompa proton yang dihasilkan oleh *Carbonic Anhydrase II* ke dalam ruang absorpsi untuk melarutkan mineral tulang. Secara tertentu, H^+ -ATPase memompa H^+ ke dalam kekosongan; hal ini bergabung dengan transport Cl^- melalui saluran klorida sehingga mempertahankan kenetralan. Kematian sel osteoklas yang terprogram menjadi akhir dari fase resorpsi, memastikan bahwa resorpsi yang berlebihan tidak terjadi.^{5,23}

c. Pembalikan (Reversal)

Tahap pada waktu permukaan tulang sementara tidak didapatkan sel kecuali beberapa sel makrofag. Pertama, persiapan permukaan tulang yang baru diserap untuk deposisi matriks tulang yang baru, kemudian pengiriman sinyal bahwa pasangan tersebut diserap kembali untuk memastikan bahwa tidak ada kehilangan tulang bersih. Persiapan permukaan tulang ini dilakukan dengan menghilangkan matriks kolagen yang tidak termineralisasi oleh sel dari garis keturunan osteoblas, kemudian menyimpan matriks non-kolagen untuk meningkatkan adhesi osteoblas.^{5,23}

d. Pembentukan (Formation)

Tahap terjadinya proliferasi dan diferensiasi prekursor osteoblast yang dilanjutkan dengan pembentukan matriks tulang baru dan akan mengalami mineralisasi. Pembentukan tulang baru dapat dikelompokkan menjadi dua bagian. Pertama, osteoblast mensintesis dan mengeluarkan matriks osteoid yang kaya akan kolagen tipe 1. Kedua, osteoblas berperan dalam mengatur mineralisasi tulang. Secara sistematis mengatur konsentrasi kalsium dan fosfat, konsentrasi lokal kalsium dan fosfat dalam vesikel matriks ekstraseluler, dan penghambat mineralisasi lokal (

termasuk pirofosfat dan protein non-kolagen seperti osteopontin). Rasio pirofosfat anorganik ke fosfat merupakan pengatur penting mineralisasi, dan aktivitas relatif jaringan non-spesifik alkali fosfatase dan eksonukleotida pirofosfatase adalah penentu utama dalam rasio ini.^{5,23,24}

e. Penghentian (Termination)

Setelah mineralisasi telah selesai, osteoblas akan mengalami apoptosis menjadi sel lapisan tulang atau terkubur dalam matriks, lalu akhirnya berdiferensiasi menjadi sel tulang. Osteosit memainkan peran kunci dalam sekresi antagonis osteogenesis, terutama antagonis jalur pensinyalan Wnt, seperti sekresi SOST, untuk menandakan penghentian remodeling itu sendiri.²³

2.2.3 Implan Gigi

Implan gigi adalah suatu piranti yang ditanam secara bedah ke dalam jaringan lunak atau ke dalam rahang. Implan gigi telah menjadi pilihan perawatan untuk menggantikan gigi yang hilang atau edentulus. Tujuan penggantian gigi dengan implan adalah untuk mengembalikan fungsi dan estetika tanpa memengaruhi struktur dari jaringan lunak dan keras itu sendiri. Dalam beberapa tahun terakhir, banyak kemajuan dalam ilmu biomaterial implan gigi dan aplikasi klinis implan gigi. Penentu terpenting dari keberhasilan perawatan implan gigi adalah ketersediaan struktur tulang yang memadai. Agar implan gigi berhasil, tulang harus cukup secara kuantitatif (berkaitan dengan tinggi dan/ atau lebar) maupun secara kualitatif (banyaknya vaskularisasi). Kurangnya struktur tulang yang memadai merupakan

penghalang umum kegagalan implan setelah pemasangan, baik pada fase penyembuhan/ osseointegrasi dan pada fase restorasi. Fenomena osseointegrasi ditandai dengan adanya ikatan biologis antara permukaan implan titanium dan tulang, sehingga berkontribusi pada stabilitas klinis dan fiksasi implan gigi. Selain itu, sistem evolusi implan gigi dengan desain dan modifikasi permukaan yang berbeda didedikasikan untuk meningkatkan keberhasilan osseointegrasi. Pada gilirannya, ini membantu menyederhanakan protokol bedah dan perbaikan implan, seperti pemuatan awal. Meskipun berbagai sistem, bahan, dan teknik implan tersedia, biasanya studi tersebut bukan penelitian yang berbasis bukti, dan oleh karena itu, memilih implan yang tepat untuk pasien merupakan tantangan serius bagi dokter.

Oleh karena itu, dokter harus lulus dari penilaian yang ketat dan mengemukakan rekomendasi sendiri untuk metode perawatan implan tertentu, tidak hanya mempertimbangkan persyaratan fisiologis dan fungsional pasien, tetapi juga dengan mempertimbangkan kewajiban moral, profesional, dan medis.^{26,27,28,29}

2.2.4 Anti-inflamasi

Chlorella vulgaris dianggap sebagai obat antiinflamasi karena dapat mengurangi sekresi sitokin yang terkait dengan aktivitas anti-inflamasi, seperti jenis interleukin (IL) tertentu dan metaloproteinase matriks (MMP) tertentu yang menyebabkan kerusakan jaringan matriks.²⁵

2.2.5 Antibakteri

Chlorella vulgaris adalah salah satu mikroalga yang dikenal sebagai pemasok bahan pangan yang andal. Mikroalga ini adalah sumber protein, lipid, karotenoid, mineral, vitamin, dan pigmen yang sangat baik. Selain itu, ekstrak *chlorella vulgaris* ini memiliki efek antibakteri pada berbagai strain bakteri seperti *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa* dan *Eschereichia coli*. Aktivitas antibakteri *chlorella vulgaris* dikaitkan dengan keberadaan peptida siklik, terpenoid, alkaloidm steroid, dan tanin.³⁰