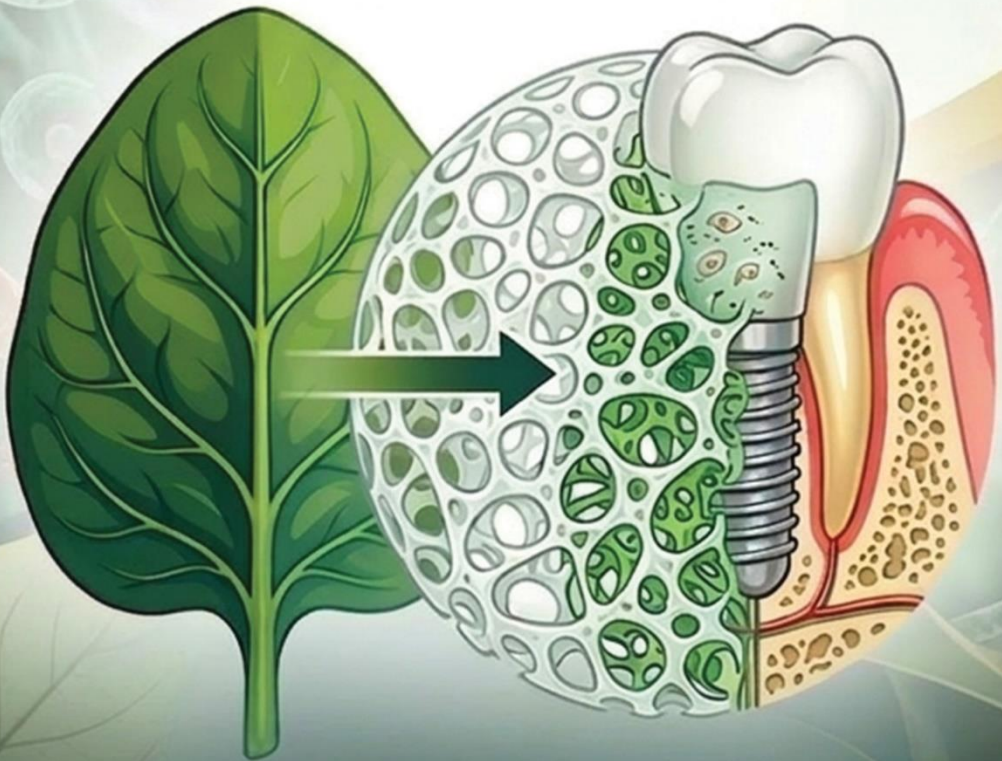


# SCAFFOLD BERBASIS TUMBUHAN

Metode Deselulerisasi dan Aplikasinya  
dalam Kedokteran Gigi



drg. Martha Mozartha, M.Si  
Dr. dr. Zen Hafy, M.Biomed  
Prof. drg. Lisa Rinanda Amir, Ph.D., PBO  
Dr. dr. Evi Lusiana, M.Biomed

# ***SCAFFOLD***

## **Berbasis Tumbuhan**

**Metode Deselulerisasi dan Aplikasinya dalam Kedokteran Gigi**

**drg. Martha Mozartha, M.Si**

**Dr. dr. Zen Hafy, M.Biomed**

**Prof. drg. Lisa Rinanda Amir, Ph.D., PBO**

**Dr. dr. Evi Lusiana, M.Biomed**



### *Penerbit KBM Indonesia*

Adalah penerbit dengan misi memudahkan proses penerbitan buku-buku penulis di tanah air indonesia, serta menjadi media *sharing* proses penerbitan buku

# **SCAFFOLD BERBASIS TUMBUHAN:**

## **Metode Deselulerisasi dan Aplikasinya dalam Kedokteran Gigi**

---

*Copyright @2026 by drg. Martha Mozartha, M.Si., dkk*

All rights reserved

**PENERBIT KARYA BAKTI MAKMUR (KBM) INDONESIA**

Anggota IKAPI (Ikatan Penerbit Indonesia) **NO. IKAPI 279/JTI/2021**

Depok, Sleman-Jogjakarta (Kantor) **081357517526 (Tlpn/WA)**

### **Penulis**

drg. Martha Mozartha, M.Si

Dr. dr. Zen Hafy, M.Biomed

Prof. drg. Lisa Rinanda Amir, Ph.D., PBO

Dr. dr. Evi Lusiana, M.Biomed

### **Desain Sampul**

Eca Art

### **Tata Letak**

Lailatul Nur Ula

### **Editor Naskah**

Dr. Muhamad Husein Maruahey, Drs., M.Sc

### **ISBN**

**978-634-278-293-4**

15,5 x 23 cm, viii + 70 halaman

Cetakan ke-1, April 2026

Isi buku diluar tanggungjawab penerbit

Hak cipta merek KBM Indonesia sudah terdaftar di

DJKI-Kemenkumham dan isi buku dilindungi undang-undang

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau

Memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini

Tanpa seizin penerbit karena beresiko sengketa hukum

### **Website**

<https://penerbitkbm.com>

[www.penerbitbukumurah.com](http://www.penerbitbukumurah.com)

### **Instagram**

@penerbit.kbmindonesia

@penerbitbukujogja

### **Email**

[naskah@penerbitkbm.com](mailto:naskah@penerbitkbm.com)

### **Distributor**

<https://penerbitkbm.com/toko-buku/>

### **Youtube**

Penerbit KBM Sastrabook

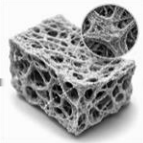
### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

#### **Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta**

- (i) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (ii) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (iii) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (iv) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).



# KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan izin-Nya sehingga monograf berjudul **“Scaffold Berbasis Tumbuhan: Metode Deselulerisasi dan Aplikasinya dalam Kedokteran Gigi”** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Monograf ini disusun sebagai upaya untuk merangkum dan mengkaji perkembangan ilmu pengetahuan mengenai pemanfaatan biomaterial berbasis tumbuhan dalam rekayasa jaringan tulang, khususnya pada bidang kedokteran gigi. *Scaffold* berbasis tumbuhan merupakan pendekatan inovatif yang menawarkan alternatif biomaterial yang berkelanjutan, biokompatibel, serta memiliki potensi besar untuk dikembangkan melalui berbagai strategi modifikasi. Pembahasan dalam monograf ini mencakup konsep dasar scaffold tumbuhan, perkembangan riset *scaffold* yang berasal dari tumbuhan, metode deselulerisasi, tantangan yang dihadapi, serta peluang penelitian masa depan.

Penulis menyadari bahwa perjalanan riset ini masih sangat panjang. Oleh karena itu, monograf ini diharapkan dapat menjadi landasan teoretis, pemantik diskusi, sekaligus referensi awal bagi rekan-rekan klinisi, peneliti, dan mahasiswa yang tertarik pada pengembangan biomaterial berbasis bahan alam.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan moral, bimbingan

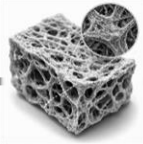
akademis, serta kritik konstruktif selama proses penyusunan karya ini. Tak ada gading yang tak retak; penulis sangat terbuka terhadap masukan dan saran demi penyempurnaan di masa mendatang.

Akhir kata, semoga monograf ini dapat memberikan manfaat nyata bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam upaya memajukan kualitas layanan kesehatan gigi dan mulut di Indonesia.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Palembang, Maret 2026

**Penulis**



# DAFTAR ISI

|                     |     |
|---------------------|-----|
| KATA PENGANTAR..... | i   |
| DAFTAR ISI .....    | iii |
| DAFTAR GAMBAR ..... | v   |
| DAFTAR TABEL.....   | vii |

## **BAB 1**

|                   |   |
|-------------------|---|
| PENDAHULUAN ..... | 1 |
|-------------------|---|

## **BAB 2**

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| KONSEP DASAR REKAYASA JARINGAN TULANG .....                                                      | 7  |
| 2.1 Prinsip Dasar Rekayasa Jaringan Tulang.....                                                  | 7  |
| 2.2 Komponen Utama Rekayasa Jaringan Tulang .....                                                | 8  |
| 2.3 Kriteria <i>Scaffold</i> Ideal untuk Regenerasi Tulang.....                                  | 15 |
| 2.4 Karakteristik Jaringan Target dan Kebutuhan Spesifik<br><i>Scaffold</i> Kedokteran Gigi..... | 23 |

## **BAB 3**

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>SCAFFOLD</i> BERBASIS TUMBUHAN: PERKEMBANGAN<br>DAN POTENSI.....                                    | 29 |
| 3.1 Konsep dan Definisi <i>Scaffold</i> Berbasis Tumbuhan.....                                         | 29 |
| 3.2 Perkembangan Riset <i>Scaffold</i> yang Berasal dari<br>Tumbuhan.....                              | 30 |
| 3.3 <i>Scaffold</i> Tumbuhan dengan Metode Deselulerisasi .....                                        | 33 |
| 3.4 Keterbatasan dan Tantangan <i>Scaffold</i> Berbasis Tumbuhan<br>dengan Metode Deselulerisasi ..... | 48 |

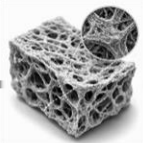
## **BAB 4**

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>KESENJANGAN RISET DAN ARAH PENGEMBANGAN MASA DEPAN .....</b>          | <b>51</b> |
| 4.1 Kesenjangan dalam Standardisasi dan Protokol<br>Deselulerisasi ..... | 51        |
| 4.2 Tantangan Dinamika Biodegradasi dan Stabilitas<br>Mekanik.....       | 52        |
| 4.3 Evaluasi Biokompatibilitas dan Immunogenisitas Lanjut.....           | 53        |
| 4.4 Standardisasi Hulu: <i>Good Agricultural Practice</i> (GAP) .....    | 54        |
| 4.5 Translasi Klinis dan Teknologi Masa Depan .....                      | 54        |

## **BAB 5**

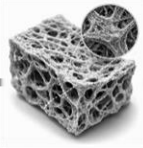
|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>KESIMPULAN .....</b>     | <b>57</b> |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>  | <b>59</b> |
| <b>PROFIL PENULIS .....</b> | <b>69</b> |

# DAFTAR GAMBAR



- Gambar 1. Pengaruh Kekakuan Scaffold terhadap Adhesi Sel dan Diferensiasi Osteogenik. Scaffold dengan Kekakuan Menyerupai Tulang Alami Meningkatkan Pembentukan Adhesi Fokal dan Mendorong Diferensiasi Sel Punca Mesenkim ke Arah Osteoblas (Ilustrasi konseptual diadaptasi dari Lee, dkk.<sup>29</sup>) .....19
- Gambar 2. Pengaruh Ukuran Pori Scaffold terhadap Migrasi Sel, Difusi Nutrisi, dan Diferensiasi Osteogenik. Pori yang Lebih Besar Meningkatkan Interaksi Sel-Sel dan Mendukung Proses Osteogenesis (Ilustrasi Konseptual Diadaptasi dari Lee Dkk<sup>29</sup>) ..... 20
- Gambar 3. Topografi Permukaan Mempengaruhi Perilaku Sel. (1) Semakin Kasar Permukaan Scaffold, Luas Daerah Semakin Meningkat dan Menyebabkan Adsorpsi Protein yang Lebih Tinggi. (2) Geometri Permukaan yang Dimodifikasi dengan Adanya Pola an Nanopit Mengatur Proliferasi dan Diferensiasi Sel, yang Akan Menentukan Susunan dan Perlekatan Sel (Ilustrasi Konseptual Diadaptasi dari Lee Dkk<sup>29</sup>) ..... 22
- Gambar 4. Skema Preparasi Scaffold Tumbuhan Melalui Metode Deselulerisasi. Deterjen SDS Digunakan untuk Deselu-lerisasi Spesimen, Dilanjutkan dengan Sterilisasi, hingga Penanaman Sel Punca (Adaptasi dari Lee J, Dkk.<sup>41</sup>) .....35

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 5. | Dokumentasi Visual Berbagai Jenis Tanaman dalam Kondisi Sebelum dan Setelah Proses Deselulerisasi. Terlihat Hilangnya Pigmen Seluler namun Arsitektur Makroskopis Tetap Utuh (Diambil dari Lee J, Dkk. <sup>41</sup> ) .....                                                                         | 37 |
| Gambar 6. | Hasil Pewarnaan Hematoksilin-Eosin (H&E) pada Berbagai Scaffold Tumbuhan Pasca Deselulerisasi. Tidak Ditemukannya Material Berwarna Ungu/Biru Gelap Menunjukkan bahwa Komponen Inti Sel Telah Berhasil Dieliminasi Sepenuhnya (Diambil dari Lee J, Dkk. <sup>41</sup> ) .....                        | 38 |
| Gambar 7. | Karakteristik Topografi Permukaan Daun <i>Beaucarnea Recurvata</i> . Gambar ( A ) adalah Permukaan Daun Sebelum Deselulerisasi. Daun yang Telah Dideselulerisasi (B) Memperlihatkan Pola Mikro Heksagonal (Diambil dari Hasanzadeh dkk., 2024 di Bawah Lisensi CC BY-NC-ND 4.0). <sup>44</sup> ..... | 41 |
| Gambar 8. | Karakteristik Makroskopik Daun Gambir (Sumber: Munggari Et Al., 2022 <sup>52</sup> ) .....                                                                                                                                                                                                           | 43 |



## DAFTAR TABEL

|         |                                                                                                 |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1 | Analisa komparatif <i>scaffold</i> terdeselularisasi berbasis jaringan hewan dan tumbuhan ..... | 32 |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|



# BAB 1

## PENDAHULUAN

**T**ulang alveolar merupakan jaringan ikat khusus yang mendukung gigi geligi dan kerangka maksilofasial, dan terdiri dari puncak alveolar (*alveolar crest*), tulang kortikal, dan tulang trabekula. Tulang kortikal merupakan tulang pipih yang padat dengan sistem Havers yang mengandung pembuluh darah dan saraf untuk vitalitas tulang. Sementara itu, tulang trabekula kaya akan sumsum tulang yang merupakan sumber untuk prekursor osteogenik dan hematopoietik.<sup>1</sup>

Mikrostruktur tulang alveolar terdiri dari komponen anorganik dan organik, dan air. Komponen organik mencakup matriks organik berupa kolagen tipe 1 dan protein nonkolagen, serta elemen selular yaitu osteoblas, osteoklas, dan osteosit. Ketiga jenis sel ini bertanggung jawab terhadap sifat dinamik jaringan tulang, dan terlibat dalam siklus remodeling sebagai respons terhadap kebutuhan fisiologis, fungsional, dan metabolik.<sup>1</sup> Proses remodeling ini terus terjadi selama gigi masih berfungsi, sehingga ketebalan prosesus alveolaris bersifat dinamis.<sup>2</sup> Namun, kerusakan luas akibat kondisi seperti periodontitis seringkali membuat proses penyembuhan alami tidak mampu mengembalikan struktur dan fungsi tulang



alveolar secara optimal.<sup>3</sup> Selain periodontitis, kondisi seperti pasca ekstraksi gigi, trauma, dan kondisi patologis lainnya juga turut mengganggu proses remodeling dan menyebabkan kehilangan struktur tulang alveolar yang signifikan.<sup>1</sup> Keterbatasan proses penyembuhan alami tersebut menegaskan urgensi rehabilitasi alveolar melalui prosedur *socket preservation*, penggunaan *bone graft*, maupun pemasangan implan dental untuk mengembalikan fungsi stomatognatik.

Rekayasa jaringan dan terapi regeneratif telah menarik minat banyak ilmuwan dan berbagai penelitian telah dilakukan secara luas dan intensif untuk mengembangkan dan mengevaluasi metode dan material yang digunakan. Pada prinsipnya, teknologi ini dikembangkan untuk meregenerasi jaringan tubuh yang mengalami kerusakan berat dan tidak mampu diatasi dengan penyembuhan alami oleh tubuh. Dalam proses ini, terdapat tiga komponen utama yang saling berinteraksi, yaitu sel, *scaffold*, dan faktor pertumbuhan. Ketiganya disusun sedemikian rupa untuk meniru proses regenerasi alami manusia.<sup>4</sup> Khusus dalam kedokteran gigi, pengembangan *scaffold* dengan karakteristik biologis dan struktural yang menyerupai jaringan alami menjadi fokus utama, terutama untuk aplikasi regenerasi tulang alveolar.

Peranan *scaffold* dalam mendukung interaksi sel memberikan pengaruh yang signifikan pada pembentukan jaringan. Oleh karena itu, pemilihan material dan metode pemrosesan terus menerus dikembangkan. Terdapat persyaratan dalam pembuatan *scaffold* yang akan digunakan pada rekayasa jaringan tulang, di antaranya yaitu memiliki arsitektur ruang tiga dimensi dengan pori-pori yang interkoneksi dan permeabel, dapat terdegradasi, memiliki sifat mekanis yang adekuat, mudah dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran, serta biokompatibel.<sup>4</sup>

Keberhasilan penggunaan berbagai jenis *scaffold* berbahan dasar organik dan anorganik untuk regenerasi tulang secara *in vitro* dan *in vivo* bergantung pada kemampuan *scaffold* dalam menyediakan lingkungan yang tepat bagi perkembangan sel punca. Material yang telah dikembangkan untuk pembuatan *scaffold* di antaranya logam seperti titanium dan paduannya, keramik, polimer, dan komposit. *Scaffold* sintetik menawarkan lingkungan yang fleksibel bagi perlekatan, pertumbuhan, dan diferensiasi sel, dan dapat diubah dan diatur sedemikian rupa dalam hal porositas, mikrostruktur, kecepatan degradasi, dan sifat mekanik. Di sisi lain terdapat kekurangan dan keterbatasan yaitu kurangnya sifat bioaktif dibandingkan material alami, serta tingginya biaya dalam pembuatannya.<sup>5,6</sup> Untuk mengatasi kekurangan *scaffold* sintetik, bahan alam terus dikembangkan dan menunjukkan potensi yang menjanjikan. Dengan adanya kandungan organik, bahan alam seringkali menunjukkan biokompatibilitas yang lebih baik karena menyediakan permukaan yang lebih baik untuk perlekatan dan pertumbuhan sel.<sup>6,7</sup>

Penggunaan bahan alam yang berasal dari jaringan hewani masih menghadapi tantangan tersendiri, terutama terkait potensi respon imun pejamu. *Scaffold* hewani dapat mengandung komponen matriks ekstraseluler dan determinan antigenik yang berpotensi memicu respon imun, inflamasi, atau reaksi penolakan, yang pada akhirnya dapat mengganggu proses regenerasi jaringan dan integrasi *scaffold* dengan jaringan host.<sup>8</sup> Tantangan ini menjadi perhatian penting dalam pengembangan *scaffold* untuk aplikasi klinis, khususnya pada regenerasi tulang, sehingga mendorong perlunya eksplorasi sumber biomaterial alternatif yang memiliki risiko imunogenisitas lebih rendah, termasuk *scaffold* berbasis non-hewani.

Bagian-bagian dari tumbuhan berpotensi untuk dimodifikasi menjadi *scaffold* yang sesuai untuk diferensiasi sel menjadi berbagai jenis sel yang diinginkan, termasuk sel tulang. Komposisi bagian tumbuhan yang berbeda, seperti daun, batang, atau akar, bervariasi dan dapat mengandung selulosa, hemiselulosa, lignin, pektin, dan garam seperti magnesium pektat dan kalsium pektat.<sup>9</sup> Kelebihan dari *scaffold* yang berasal dari tumbuhan yaitu dapat diproduksi dengan biaya rendah dan mudah didapat, selain itu struktur tumbuhan tertentu memiliki struktur vaskularisasi menyerupai arsitektur vaskular manusia.

Eksplorasi penggunaan jaringan tanaman sebagai material rekayasa jaringan dimulai secara signifikan pada tahun 2014, ketika Modulevsky dkk. pertama kali memaparkan prosedur deselulerisasi pada irisan buah apel. Penelitian tersebut menghasilkan *scaffold* selulosa tiga dimensi yang terbukti mampu mendukung viabilitas sel fibroblas, mioblas, dan epitel tikus selama masa kultur 12 minggu.<sup>10</sup> Keberhasilan ini memicu meluasnya pengujian berbagai spesies tumbuhan sebagai kandidat *scaffold* melalui metode deselulerisasi, baik dalam studi *in vivo* maupun *in vitro*. Perkembangan teknik ini mendorong pencarian material nabati yang lebih beragam guna memperoleh karakteristik struktural yang spesifik bagi jaringan atau organ target. Dalam konteks ini, gambir (*Uncaria gambir*) muncul sebagai salah satu spesies tumbuhan yang memiliki potensi tinggi untuk dieksplorasi lebih lanjut.

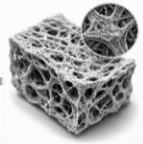
*Uncaria gambir* merupakan tanaman perdu dari famili *Rubiaceae* khas Asia Tenggara yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Di Indonesia, gambir banyak dibudidayakan di wilayah Sumatera, seperti Aceh, Sumatera Utara, Riau, Bengkulu, dan Sumatera Barat, termasuk oleh petani di Desa Toman, Kabupaten Musi Banyuasin.<sup>11,12</sup>

Secara tradisional, tanaman ini telah lama dimanfaatkan sebagai obat, dan studi terkini mengonfirmasi bahwa kandungan senyawa fenolik berupa katekin pada daunnya memberikan aktivitas antioksidan, hipoglikemik untuk perawatan diabetes mellitus, serta efek antibakteri dan antikariogenik.<sup>11,12</sup> Selain kekayaan zat aktif, daun gambir memiliki karakteristik makroskopis dan mikroskopis yang unik, yaitu sistem vaskularisasi yang kompleks untuk transportasi air dan nutrisi.<sup>13</sup> Daun gambir secara alami mengandung polimer struktural berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Ini merupakan polisakarida yang menjadi komponen utama dinding sel yang menyusun integritas struktural dan memberi kekuatan mekanik. Sebagaimana dikonfirmasi dalam penelitian yang menggunakan batang daun *Alstromeria*, komponen selulosa tetap bertahan pasca proses deselulerisasi.<sup>14</sup> Kombinasi antara profil fitokimia yang menguntungkan dan arsitektur vaskular tersebut menjadikan daun gambir sebagai material yang potensial untuk diaplikasikan sebagai *scaffold* dalam rekayasa jaringan.

Monograf ini bertujuan untuk menyajikan tinjauan ilmiah yang komprehensif mengenai potensi *scaffold* berbasis tumbuhan yang diproduksi melalui metode deselulerisasi untuk aplikasi rekayasa jaringan tulang dalam bidang kedokteran gigi. Secara khusus, monograf ini mengkaji perkembangan *scaffold* berbasis tumbuhan, prinsip dan metode deselulerisasi, serta rasional pemilihan daun gambir (*U. gambir*) sebagai kandidat *scaffold* alternatif.

Ruang lingkup pembahasan meliputi konsep dasar rekayasa jaringan tulang, karakteristik dan keterbatasan *scaffold* konvensional, perkembangan *scaffold* berbasis tumbuhan, serta potensi struktur dan bioaktivitas daun gambir yang relevan untuk regenerasi tulang alveolar. Monograf ini difokuskan pada aspek biologis dan material *scaffold*, tanpa

membahas secara rinci desain eksperimental atau hasil uji klinis. Dengan demikian, monograf ini diharapkan dapat menjadi landasan teoretis dan referensi awal bagi peneliti dan klinisi dalam pengembangan *scaffold* berbasis tumbuhan untuk aplikasi regeneratif di bidang kedokteran gigi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ramalingam, Sundar & Sundar, Chalini & Jansen, John & Alghamdi, Hamdan. (2020). *Alveolar bone science: Structural characteristics and pathological changes*. 10.1016/B978-0-08-102478-2.00001-5.
- Jonasson G, Skoglund I, Rythén M. *The rise and fall of the alveolar process: Dependency of teeth and metabolic aspects*. Arch Oral Biol. 2018 Dec;96:195-200. doi: 10.1016/j.archoralbio. 2018.09.016.
- Li T, Zeng X, Zou S, Xu Y, Duan P. *Recent advances in horizontal alveolar bone regeneration*. Biomed Mater. 2023 Jul 24;18(5). doi: 10.1088/1748-605X/acd672.
- Poernomo H. Teknik bone tissue engineering (BTE) untuk regenerasi jaringan periodontal dan estetik pada edentulous ridge. *Interdental Jurnal Kedokteran Gigi (IJKG)*. 2019 Dec 27;15(2).
- Saberian E, Jenča A, Zafari Y, Jenča A, Petrášová A, Zare-Zardini H, Jenčová J. *Scaffold Application for Bone Regeneration with Stem Cells in Dentistry: Literature Review*. Cells. 2024 Jun 19;13(12):1065. doi: 10.3390/cells13121065.
- Granito RN, Custódio MR, Rennó ACM. Natural marine sponges for bone tissue engineering: The state of art and future perspectives. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2017 Aug;105(6):1717-1727. doi: 10.1002/jbm.b.33706.
- Huang X, Lou Y, Duan Y, Liu H, Tian J, Shen Y, Wei X. *Biomaterial scaffolds in maxillofacial bone tissue engineering: A review of recent advances*. Bioact Mater.

- 2023 Nov 10;33:129-156. doi: 10.1016/j.bioactmat.2023.10.031
- Wong ML, Griffiths LG. Immunogenicity in xenogeneic *scaffold* generation: antigen removal vs. decellularization. *Acta Biomater.* 2014 May;10(5):1806-16. doi:10.1016/j.actbio.2014.01.028.
- Predeina, A. L., Dukhinova, M. S., & Vinogradov, V. V. (2020). Bioreactivity of decellularized animal, plant, and fungal *scaffolds*: perspectives for medical applications. *Journal of Materials Chemistry B*. doi:10.1039/d0tb01751e
- Modulevsky, D. J.; Lefebvre, C.; Haase, K.; Al-Rekabi, Z.; Pelling, A. E. Apple derived cellulose *scaffolds* for 3D mammalian cell culture. *PLoS One* 2014, 9 (5), No. e97835.
- Nugraha, I. S., Alamsyah, A., & Sahuri, S. (2018). *Komoditi gambir sebagai tanaman sela diantara karet untuk peningkatan pendapatan petani karet (studi kasus : Desa Toman, Sumatera Selatan)*. *Warta Perkaretan*, 37(2), 107-118 doi: 10.22302/ppk.wp.v37i2.600
- Hilmi HL, Rahayu D. *Aktivitas farmakologi gambir (Uncaria gambir Roxb.)*. *Farmaka*. 2018;16(2):134-41
- Sakti AS, Saputri FC, Mun'im A. Microscopic Characters, Phytochemical Screening Focus on Alkaloid and Total Phenolic Content of biokompatibelity Roxb. and *Uncaria sclerophylla* Roxb. Leaves. *Pharmacog J*. 2019;11(1):119-23. Doi: 10.5530/pj.2019.1.20
- Esmaeili J, Jadbabae S, Mohebi Far F, Esmaeilpour Lukolayeh M, Kirboğa KK, Rezaei FS, et al. Decellularized *Alstroemeria* flower stem modified with chitosan for tissue engineering purposes: A cellulose/chitosan scaffold. *Int J Biol Macromol*. 2022 Apr 1;204:321-332. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.02.019.

- Smith BT, Shum J, Wong ME, Mikos AG, Young S. Bone tissue engineering challenges in oral & maxillofacial surgery. *Adv Exp Med Biol.* 2015;881:57–78. doi:10.1007/978-3-319-22345-2\_4
- Qu H, Fu H, Han Z, Sun Y. Biomaterials for bone tissue engineering scaffolds: a review. *RSC Adv.* 2019;9:26252–62. doi:10.1039/C9RA05214C.
- Velasco MA, Narváez-Tovar CA, Garzón-Alvarado DA. Design, materials, and mechanobiology of biodegradable scaffolds for bone tissue engineering. *Biomed Res Int.* 2015;2015:729076. doi:10.1155/2015/729076.
- Murphy CM, O'Brien FJ, Little DG, Schindeler A. *Cell-scaffold interactions in the bone tissue engineering triad.* Eur Cell Mater. 2013;26:120–132.
- Jiao M, Shuai T, Zhao Z, Wu Y, Yu L, Sun J, De Caro R, Macchi V, Porzionato A, Stocco E, Jin C. Categories, applications, and potential of stem cells in bone regeneration: an overview. *Front Med.* 2025;12:1606100. doi:10.3389/fmed.2025.1606100.
- Vater C, Männel C, Bolte J, Tian X, Goodman S, Zwingenberger S. *Effectiveness of dental pulp-derived stem cells and bone marrow derived mesenchymal stromal cells implanted into a murine critical bone defect.* Curr Stem Cell Res Ther. (2022) 17:480–91. doi: 10.2174/1574888X17666220215100732
- Zhang Y, Xing Y, Jia L, Ji Y, Zhao B, Wen Y, dkk *An in vitro comparative study of multisource derived human mesenchymal stem cells for bone tissue engineering.* Stem Cells Dev. (2018) 27:1634–45. doi: 10.1089/scd.2018.0119
- Kargozar S, Mozafari M, Hamzehlou S, Brouki Milan P, Kim HW, Baino F. *Bone tissue engineering using human cells: a comprehensive review on recent trends, current prospects, and recommendations.* Appl Sci. 2019;9(1):174.

doi:10.3390/app9010174

- Basyuni S, Farook SA, Khan MM, Deb S, Brocklebank L, McLean C, et al. Systematic scoping review of mandibular bone tissue engineering. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2020;58:632–42. doi:10.1016/j.bjoms.2020.03.016.
- Valentino A, Di Cristo F, Bosetti M, Amaghnouje A, Bousta D, Conte R, et al. Bioactivity and delivery strategies of phytochemical compounds in bone tissue regeneration. *Appl Sci*. 2021;11(11):5122. doi: 10.3390/app11115122.
- Oliveira ER, Nie L, Podstawczyk D, Allahbakhsh A, Ratnayake J, Brasil DL, Shavandi A. Advances in growth factor delivery for bone tissue engineering. *Int J Mol Sci*. 2021;22(2):903. doi:10.3390/ijms22020903.
- Yang D, Xiao J, Wang B, Li L, Kong X, Liao J. The immune reaction and degradation fate of scaffold in cartilage/bone tissue engineering. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2019 Nov;104:109927. doi: 10.1016/j.msec.2019.109927.
- Fadhlallah, P.M., Yuliati, A., Soesilawati, P., & Pitaloka, P. (2018). *Biodegradation and Compressive Strength Test of Scaffold with Different Ratio as Bone Tissue Engineering Biomaterial*.
- De Witte, T.-M., Fratila-Apachitei, L.E., Zadpoor, A.A., and Peppas, N.A. (2018). *Bone tissue engineering via growth factor delivery: From scaffolds to complex matrices*. *Regen.Biomater*. 5, 197–211. <https://doi.org/10.1093/rb/rby013>
- Lee SS, Du X, Kim I, Ferguson SJ. *Scaffolds for bone-tissue engineering*. *Matter*. 2022;5(9):2722–59. doi:10.1016/j.matt.2022.07.006.
- Chen, G., Dong, C., Yang, L., and Lv, Y. (2015). *3D scaffolds with different stiffness but the same microstructure for bone tissue engineering*. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 7, 15790–

15802. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b02662>
- Kim, C.-S., Kim, J.-H., Kim, B., Park, Y.-S., Kim, H.-K., Tran, H.T., Kim, S.H., Jeon, H., Kim, S., Sim, J.H., dkk (2017). *A specific groove pattern can effectively induce osteoblast differentiation*. *Adv. Funct. Mater.* 27, 1703569.
- Dalby, M.J., Gadegaard, N., Tare, R., Andar, A., Riehle, M.O., Herzyk, P., Wilkinson, C.D.W., and Oreffo, R.O.C. (2007). *The control of human mesenchymal cell differentiation using nanoscale symmetry and disorder*. *Nat. Mater.* 6, 997–1003. <https://doi.org/10.1038/nmat2013>
- Marian D, Toro G, D’Amico G, Trotta MC, D’Amico M, Petre A, dkk *Challenges and innovations in alveolar bone regeneration: a narrative review on materials, techniques, clinical outcomes, and future directions*. *Medicina (Kaunas)*. 2025;61(1):20. doi:10.3390/medicina61010020.
- Santos MS, Silva JC, Carvalho MS. Hierarchical biomaterial scaffolds for periodontal tissue engineering: recent progress and current challenges. *Int J Mol Sci*. 2024;25(16):8562. doi:10.3390/ijms25168562.
- Ramados R, Das R, Viola EA, Padmanabhan R, Ramani P. Mechanotransduction and alveolar bone remodelling: a narrative review of dynamics and mechanisms. *Chin J Dent Res*. 2025;28(4):241–251. doi:10.3290/j.cjdr.b6745523
- Asa’ad F, Pagni G, Pilipchuk SP, Giannì AB, Giannobile WV, Rasperini G. 3D-printed scaffolds and biomaterials: review of alveolar bone augmentation and periodontal regeneration applications. *Int J Dent*. 2016;2016:1239842. doi:10.1155/2016/1239842.
- Premjit Y, Lawrence M, Goyal A, Ferreira C, Jones EA, Ganguly P. Biomimetic three-dimensional (3D) scaffolds from sustainable biomaterials: innovative green medicine

- approach to bone regeneration. *J Funct Biomater.* 2025;16:238. doi:10.3390/jfb16070238.
- Contessi Negrini N, Toffoletto N, Farè S, Altomare L. Plant tissues as 3D natural scaffolds for adipose, bone and tendon tissue regeneration. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020;8:723. doi: 10.3389/fbioe.2020.00723.
- Rabbani M, Salehani AA, Farnaghi M, Moshtaghi M. Plant decellularization by chemical and physical methods for regenerative medicine: a review article. *J Med Signals Sens.* 2024 Apr;14(4):10. doi:10.4103/jmss.jmss\_20\_22.
- Hasan MM, Swapon AR, Dipti TI, Choi YJ, Yi HG. Plant-based decellularization: a novel approach for perfusion-compatible tissue engineering structures. *J Microbiol Biotechnol.* 2024;34(5):1003-1016.
- Lee J, Jung H, Park N, Park SH, Ju JH. Induced osteogenesis in plants decellularized scaffolds. *Sci Rep.* 2019 Dec 27;9(1):20194. doi: 10.1038/s41598-019-56651-0
- Walawalkar S, Almelkar S. Fabricating a pre-vascularized large-sized metabolically-supportive scaffold using *Brassica oleracea* leaf. *Journal of Biomaterials Applications.* 2021;36(1):140-153. doi:10.1177/0885328220968388
- Harris AF, Lacombe J, Zenhausern F. The emerging role of decellularized plant-based scaffolds as a new biomaterial. *Int J Mol Sci.* 2021;22:12347. doi:10.3390/ijms222212347.
- Vargas-Ovalle MI, Demitri C, Madaghiele M. Plant-based scaffolds for tissue engineering: a review. *Polymers.* 2025;17:2705. doi:10.3390/polym17192705.
- Gershlak JR, Hernandez S, Fontana G, Perreault LR, Hansen KJ, Larson SA, Binder BY, Dolivo DM, Yang T, Dominko T, Rolle MW, Weathers PJ, Medina-Bolivar F, Cramer CL, Murphy WL, Gaudette GR. Crossing kingdoms: Using decellularized plants as perfusable tissue engineering

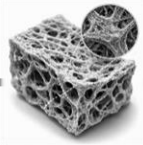
- scaffolds*. *Biomaterials*. 2017 May;125:13-22 doi: 10.1016/j.biomaterials.2017.02.011
- Hasanzadeh, Ahmad & Alipour, Atefeh & Ghasemi, Sajedah & Hosseini, Sadi & Farrokhi, Naser & Wang, Peng-Yuan & Zarrabi, Ali & Mohammadi, Javad & Shahsavarani, Hosein. (2024). Proanthocyanidin-Imbued Cellulosic 3-Dimensional Intrinsic Aligned Nanostructures: A Novel Approach for Dental and Bone Regeneration using Dental Pulp Derived Stem Cells. *Journal of Science Advanced Materials and Devices*. 9. 10.1016/j.jsamd.2024.100820.
- Toker-Bayraktar M, Ertugrul Mİ, Odabas S, Garipcan B. A typical method for decellularization of plants as biomaterials. *MethodsX*. 2023 Sep 17;11:102385. doi: 10.1016/j.mex.2023. 102385
- Lacombe J, Harris AF, Zenhausern R, Karsunsky S, Zenhausern F. Plant-based *scaffolds* modify cellular response to drug and radiation exposure compared to standard cell culture models. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 2020 Aug 7;8:932
- Mahendiran B, Muthusamy S, Sampath S, Jaisankar SN, Selvakumar R, Krishnakumar GS. In vitro and in vivo biocompatibility of decellularized cellulose *scaffolds* functionalized with kitosan and platelet rich plasma for tissue engineering applications. *Int J Biol Macromol*. 2022 Sep 30;217:522-535. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022. 07.052.
- Munira, Trioktafiani G, Nasir M. Uji aktivitas antibakteri kombinasi ekstrak daun sirih dan biji pinang serta gambir terhadap *Streptococcus mutans*. *J Ilm Ibnu Sina*. 2020 Okt;5(2):298-308. doi: 10.36387/jiis.v5i2.501.

- Melati, Parbuntari H. Screening fitokimia awal (analisis kualitatif) pada daun gambir (*Uncaria gambir* Roxb) asal Siguntur Muda. *Periodic*. 2022;11(3):88-92
- Munggari, I.P.; Kurnia, D.; Deawati, Y.; Julaeah, E. Current Research of Phytochemical, Medicinal and Non-Medicinal Uses of *Uncaria gambir* Roxb.: A Review. *Molecules* 2022, 27, 6551. <https://doi.org/10.3390/molecules27196551>
- Rosalina L, Amran R, Yuliana, Surya Mentari TA, Oktarina R, Fadillah R. Bioactive compound composition in tea varieties and gambir for biomedical potential. *Health Leadersh Qual Life* [Internet]. 2025 Sep 10 ;4:761
- Lin SY, Kan JY, Lu CC, Huang HH, Cheng TL, Huang HT, et al. Green tea catechin (-)-epigallocatechin-3-gallate (EGCG) facilitates fracture healing. *Biomolecules*. 2020 Apr 17;10(4):620. doi: 10.3390/biom10040620.
- Palma-Lara I, Calzada-Mendoza CC, Mera-Jiménez E, Romero López E, Amaya-Espinoza JL, Parra-Barrera A, et al. Phytochemical properties of (-)-epicatechin promotes bone regeneration inducing osteogenic markers expression BMP2, SPARC, and RUNX2 in mesenchymal stem cells in vitro. *J Med Food*. 2025 Aug;28(8):757-767. doi: 10.1089/jmf.2024.0125
- Rahmaddiansyah R, Rahmi W, Rita RS. Anti-inflammatory effect of gambier catechin (*Uncaria gambir* Roxb) on rheumatoid arthritis: a review. *SEE J Immunol*. 2023 Oct 21;6(1):92-97. doi: 10.3889/seejim.2023.6055.
- Li H, Zhang Z, Liu J, Wang H. Antioxidant scaffolds for enhanced bone regeneration: recent advances and challenges. *BioMed Eng OnLine*. 2025;24:41. doi: 10.1186/s12938-025-01370-z.

- Putra A, Nugraha BA, Amran A. Synthesis and characterization of hydrogel composite based on bacterial cellulose-gambir leaf extract (*Uncaria gambir* Roxb.). *J Phys Conf Ser.* 2018;1040(1):012014. doi: 10.1088/1742-6596/1040/1/012014
- Shang L, Wang S, Mao Y. Recent advances in plant-derived polysaccharide scaffolds in tissue engineering: A review. *Int J Biol Macromol.* 2024 Oct;277(Pt 1):133830. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.133830.
- S H Aswathy, Mohan CC, P S U, Krishnan AG, Nair MB. Decellularization and oxidation process of bamboo stem enhance biodegradation and osteogenic differentiation. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2021 Feb;119:111500. doi: 10.1016/j.msec.2020.111500.
- Mahendiran B, Muthusamy S, Janani G, Mandal BB, Rajendran S, Krishnakumar GS. Surface modification of decellularized natural cellulose scaffolds with organosilanes for bone tissue regeneration. *ACS Biomater Sci Eng.* 2022;8:2000-2015.
- Zhu Y, Zhang Q, Wang S, Zhang J, Fan S, Lin X. Current advances in the development of decellularized plant extracellular matrix. *Front Bioeng Biotechnol.* 2021;9:712262. doi:10.3389/fbioe. 2021.712262.
- Yun J, Cho M, Culver M, Pearce DP, Kim C, Witzenburg CM, et al. Characterization of decellularized plant leaf as an emerging biomaterial platform. *ACS Biomater Sci Eng.* 2024 Oct 14;10(10):6144-6154. doi: 10.1021/acsbiomaterials.4c01254.
- Kasravi M, Ahmadi A, Babajani A, Niknejad H. Immunogenicity of decellularized extracellular matrix scaffolds: a bottleneck in tissue engineering and regenerative medicine. *Biomater Res.* 2023 Feb 21;27(1):10. doi: 10.1186/s40824-023-00348-z.



## PROFIL PENULIS



**drg. Martha Mozartha, M.Si.**, Menyelesaikan pendidikan Sarjana Kedokteran Gigi pada tahun 2003 dan meraih gelar Dokter Gigi dari Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia pada tahun 2005. Melanjutkan pendidikan S2 pada program Ilmu Kedokteran Gigi Dasar di Universitas Indonesia dan lulus pada tahun 2010. Saat ini aktif sebagai pengajar di Departemen Material Kedokteran Gigi, Program Studi Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya. Beliau juga aktif sebagai penerjemah dan kontributor buku kedokteran gigi, di antaranya buku *Craig's Restorative Dental Material 14th* (Elsevier) dan *Anatomi Kedokteran Gigi: Aplikasi Praktik Klinis* (EGC).

**Dr. dr. Zen Hafy, M.Biomed.**, Menyelesaikan pendidikan dokter di Universitas Sriwijaya pada tahun 1996. Beliau kemudian melanjutkan pendidikan jenjang Magister (S2) dan Doktorat (S3) pada program studi Ilmu Biomedik di Universitas Indonesia, yang masing-masing diselesaikan pada tahun 2002 dan 2008. Beliau telah mengabdikan sebagai dosen di Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya sejak tahun 1998. Beliau menjabat sebagai Kepala Program Studi Magister Ilmu Biomedik di Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya tahun 2017 -2025 dan turut berkontribusi secara global sebagai *Director of Medical Operations* di FHI Clinical sejak tahun 2022.

**Prof. drg. Lisa R. Amir, Ph.D.,** Menyelesaikan pendidikan dokter gigi di Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia pada tahun 1999. Melanjutkan pendidikan tingkat doktoral (Ph.D) di Academic Center for Dentistry Amsterdam (ACTA), Vrije Universiteit, Belanda, dan lulus pada tahun 2007. Memulai karir mengajar sebagai dosen di Departemen Biologi Oral Universitas Indonesia sejak tahun 2009. Saat ini, beliau menjabat sebagai Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia sejak tahun 2025. Beliau aktif menulis artikel ilmiah serta buku, di antaranya Potensi Pemulihan Tulang Rahang Melalui Rekayasa Jaringan; Transformasi Pendekatan Kedokteran Gigi Regeneratif.

**Dr. dr. Evi Lusiana, M.Biomed.,** Menyelesaikan pendidikan S1 Kedokteran di Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya pada tahun 2006. Melanjutkan pendidikan S2 Ilmu Biomedis di institusi yang sama dan lulus pada tahun 2017. Pendidikan doktoral (S3) Ilmu Biomedis juga diselesaikan di Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya pada tahun 2022. Pada tahun yang sama, beliau turut mengikuti program CBCD Trainee di Rutgers University. Saat ini, beliau berdedikasi di institusinya sebagai pengajar pada Departemen Farmakologi, Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya.

Scaffold berbasis tumbuhan merupakan pendekatan inovatif yang menawarkan alternatif biomaterial yang berkelanjutan, biokompatibel, serta memiliki potensi besar untuk dikembangkan melalui berbagai strategi modifikasi. Buku berjudul **Scaffold Berbasis Tumbuhan: Metode Deselulerisasi dan Aplikasinya dalam Kedokteran Gigi** ini disusun sebagai upaya untuk merangkum dan mengkaji perkembangan ilmu pengetahuan mengenai pemanfaatan biomaterial berbasis tumbuhan dalam rekayasa jaringan tulang, khususnya pada bidang kedokteran gigi. Pembahasan dalam monograf ini mencakup konsep dasar scaffold tumbuhan, perkembangan riset scaffold yang berasal dari tumbuhan, metode deselulerisasi, tantangan yang dihadapi, serta peluang penelitian masa depan. Hadirnya buku ini dapat menjadi landasan teoretis, pemantik diskusi, sekaligus referensi awal bagi rekan-rekan klinisi, peneliti, dan mahasiswa yang tertarik pada pengembangan biomaterial berbasis bahan alam.