



Potensi Biokimia *Aloe vera* (L.) Burm.f. sebagai Agen Penyembuhan Luka dan Basis Formulasi Sediaan Topikal Farmasi

Salsabila Rahman^{1*}, Ardi Mustakim²

^{1,2} Program Studi Farmasi, Fakultas kedokteran dan ilmu Kesehatan, Universitas Adiwangsa Jambi, Indonesia

*Penulis Korespondensi: salsabilarahman06@gmail.com

Abstract *Aloe vera* (L.) Burm.f. is a bioactive plant containing polysaccharides, anthraquinones, sterols, vitamins, minerals, and glycoproteins, contributing to wound healing through anti-inflammatory, antibacterial, antioxidant mechanisms, fibroblast stimulation, and accelerated re-epithelialization. This study employed a systematic literature review (SLR) of 37 peer-reviewed articles (2018–2025) to evaluate the biochemical potential of *Aloe vera* and its application as a basis for modern pharmaceutical topical formulations. Results revealed that acemannan increased fibroblast proliferation by up to 200%, modulated TGF- β 1, enhanced type I and III collagen deposition, and accelerated re-epithelialization. Anthraquinones such as aloin and emodin exhibited antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Escherichia coli*. Nanoemulsion and nanogel formulations improved transdermal penetration up to threefold compared to conventional gels. These findings highlight *Aloe vera*'s potential as a wound healing agent and a basis for modern pharmaceutical topical preparations.

Keywords: Acemannan; *Aloe Vera*; Fibroblasts; Topical Formulation; Wound Healing.

Abstrak *Aloe vera* (L.) Burm.f. adalah tanaman bioaktif yang mengandung polisakarida, antrakuinon, sterol, vitamin, mineral, dan glikoprotein, yang berperan dalam penyembuhan luka melalui mekanisme antiinflamasi, antibakteri, antioksidan, stimulasi fibroblas, dan percepatan re-epitelisasi. Kajian ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* (SLR) terhadap 37 artikel peer-reviewed (2018–2025) untuk mengevaluasi potensi biokimia *Aloe vera* dan penerapannya sebagai basis formulasi sediaan topikal farmasi modern. Hasil analisis menunjukkan bahwa acemannan meningkatkan proliferasi fibroblas hingga 200%, memodulasi TGF- β 1, meningkatkan deposisi kolagen tipe I dan III, serta mempercepat re-epitelisasi. Antrakuinon seperti aloin dan emodin memiliki efek antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Escherichia coli*. Formulasi nanoemulsi dan nanogel meningkatkan penetrasi transdermal hingga tiga kali lipat dibandingkan gel konvensional. Temuan ini menegaskan potensi *Aloe vera* sebagai agen penyembuhan luka sekaligus basis sediaan topikal farmasi modern.

Kata kunci: Acemannan; *Aloe Vera*; Fibroblas; Formulasi Topikal; Penyembuhan Luka.

1. PENDAHULUAN

Penyembuhan luka merupakan proses biologis dinamis dan kompleks yang bertujuan memulihkan struktur dan fungsi jaringan yang rusak akibat trauma fisik, infeksi mikroba, bahan kimia, luka bakar, maupun kondisi patologis seperti diabetes mellitus dan penyakit vaskular kronis (Zhang et al., 2019). Proses ini berlangsung melalui tiga fase utama fase inflamasi, proliferasi, dan remodeling yang masing-masing melibatkan interaksi antara sel, mediator molekuler, sitokin, dan matriks ekstraseluler (Li et al., 2020). Pada fase inflamasi, neutrofil dan makrofag berperan dalam fagositosis debris seluler dan eliminasi patogen untuk mencegah infeksi sekunder. Fase proliferasi ditandai pembentukan jaringan granulasi, angiogenesis, proliferasi fibroblas, deposisi kolagen, serta peningkatan aktivitas keratinosit dalam proses re-epitelisasi. Selanjutnya, fase remodeling melibatkan reorganisasi dan maturasi

kolagen, sehingga meningkatkan kekuatan tarik jaringan baru (Wasim et al., 2021). Gangguan pada salah satu fase tersebut dapat menyebabkan luka menjadi kronis dan sulit disembuhkan.

Dalam beberapa dekade terakhir, terdapat peningkatan minat terhadap penggunaan sediaan topikal berbasis bahan alam sebagai alternatif atau pendamping terapi konvensional, mengingat sifatnya yang lebih aman, biokompatibel, dan mengandung senyawa bioaktif kompleks yang dapat bekerja secara multifungsi (Eshun & He, 2022). Salah satu tanaman yang banyak diteliti dan digunakan secara luas untuk pengobatan luka adalah *Aloe vera* (L.) Burm.f.. Tanaman ini telah lama dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional Mesir, India, Cina, dan wilayah Mediterania untuk mengobati luka bakar, iritasi kulit, infeksi, dan inflamasi (Surjushe et al., 2008). Secara fitokimia, *Aloe vera* mengandung polisakarida (terutama acemannan), antrakuinon (aloin, emodin), vitamin (A, C, E, dan B kompleks), mineral (Ca, Mg, Zn), sterol (lupeol, β -sitosterol), asam amino, saponin, serta glikoprotein yang berkontribusi terhadap aktivitas biologisnya (Choi et al., 2019).

Acemannan merupakan komponen polisakarida utama dalam gel daun *Aloe vera* dan menjadi fokus utama penelitian modern. Senyawa ini terbukti meningkatkan proliferasi fibroblas hingga lebih dari 200%, meningkatkan ekspresi TGF- β 1, merangsang deposisi kolagen tipe I dan III, serta mempercepat re-epitelisasi melalui peningkatan migrasi keratinosit (Park et al., 2021; Choi et al., 2019). Selain itu, antrakuinon seperti aloin dan emodin memiliki kemampuan antibakteri yang efektif terhadap patogen penyebab infeksi luka seperti *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Escherichia coli* (Singh et al., 2020). Aktivitas antiinflamasi *Aloe vera* juga dikaitkan dengan penurunan produksi prostaglandin E2 (PGE2), suppressi jalur NF- κ B, serta modulasi mediator inflamasi seperti IL-1 β dan TNF- α (Jiang et al., 2020). Sementara itu, aktivitas antioksidan dari vitamin C, E, dan senyawa fenolik turut melindungi jaringan dari stres oksidatif yang sering memperlambat penyembuhan luka kronis.

Dari sisi farmasetik, *Aloe vera* memiliki karakteristik fisikokimia yang menguntungkan, seperti viskositas tinggi, kemampuan retensi air, biokompatibilitas, serta kestabilan relatif dalam berbagai bentuk sediaan. Namun, terdapat tantangan dalam pengembangan formulasi modern karena beberapa senyawa aktif terutama acemannan dan antrakuinon rentan terhadap degradasi oksidatif, memiliki ukuran molekul besar, serta menunjukkan penetrasi kulit yang terbatas (Kumar et al., 2021). Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian terkini telah mengembangkan berbagai sistem penghantaran nano seperti nanoemulsi, nanogel, liposom, solid lipid nanoparticles (SLN), dan nanostruktur lipid carriers (NLC). Teknologi nano ini dilaporkan mampu meningkatkan penetrasi transdermal hingga 3–

5 kali lipat dibandingkan gel konvensional, meningkatkan kestabilan senyawa aktif, serta memperpanjang pelepasan obat pada permukaan kulit (Al-Snafi, 2022; Rahman et al., 2023).

Secara klinis, aplikasi Aloe vera telah menunjukkan hasil positif dalam pengelolaan luka bakar derajat ringan–sedang, ulkus diabetik, luka sayat, dan luka pascaoperasi. Beberapa uji klinis menyatakan bahwa gel Aloe vera mampu mempercepat penyembuhan, mengurangi peradangan, meningkatkan hidrasi kulit, dan memperbaiki kualitas jaringan baru dibandingkan kontrol standar (Khorasani et al., 2019). Meski demikian, variabilitas kualitas bahan baku, perbedaan metode ekstraksi, dan belum seragamnya standar formulasi menjadi tantangan yang masih memerlukan kajian ilmiah lebih sistematis.

Dengan demikian, kajian mendalam mengenai potensi biokimia Aloe vera dan aplikasinya sebagai basis sediaan topikal farmasi menjadi penting untuk memberikan landasan ilmiah dalam pengembangan produk modern berbasis bahan alam. Oleh karena itu, penelitian ini menyajikan *systematic literature review* (SLR) terhadap publikasi ilmiah terkini (2018–2025) untuk mengevaluasi mekanisme biokimia Aloe vera dalam penyembuhan luka serta inovasi formulasi topikal modern yang memungkinkan peningkatan efektivitas terapeutik tanaman ini. Studi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman komprehensif bagi peneliti, formulator, maupun klinisi dalam mengoptimalkan pemanfaatan Aloe vera di bidang farmasi.

2. METODE PENELITIAN

Studi ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* (SLR) untuk mengevaluasi potensi biokimia Aloe vera (L.) Burm.f. dalam penyembuhan luka dan aplikasinya pada formulasi topikal farmasi modern. Pencarian literatur dilakukan pada basis data *PubMed*, *ScienceDirect*, *Scopus*, *SpringerLink*, dan *Google Scholar* dengan kata kunci “Aloe vera”, “acemannan”, “wound healing”, “topical formulation”, “nanogel”, dan “nanoemulsion”, dengan batasan publikasi tahun 2018–2025. Artikel yang dipilih harus berupa penelitian *peer-reviewed* yang membahas efek Aloe vera pada penyembuhan luka atau formulasi topikal, baik *in vitro*, *in vivo*, maupun klinis. Artikel yang hanya membahas konsumsi oral, review tanpa data primer, atau publikasi sebelum 2018 dikecualikan. Proses seleksi dilakukan melalui tiga tahap: identifikasi, screening judul dan abstrak, serta pemeriksaan teks lengkap untuk memastikan kesesuaian. Data yang diekstraksi meliputi jenis senyawa bioaktif, model penelitian, metode evaluasi penyembuhan luka, jenis formulasi topikal, dan hasil utama seperti proliferasi fibroblas, deposisi kolagen, aktivitas antibakteri, dan penetrasi transdermal. Analisis dilakukan secara deskriptif dan naratif, mengorganisir temuan berdasarkan senyawa bioaktif, mekanisme penyembuhan luka, dan karakteristik formulasi

topikal, dengan kualitas studi dievaluasi menggunakan pedoman *Critical Appraisal Skills Programme* (CASP).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menyajikan komponen biokimia utama yang terdapat dalam Aloe vera, termasuk polisakarida, antrakuinon, vitamin, mineral, serta fitosterol. Informasi ini memberikan dasar ilmiah untuk memahami peran masing-masing senyawa dalam aktivitas penyembuhan luka dan aplikasi farmasi topikal.

Tabel 1. Komponen Bioaktif Aloe vera.

Komponen	Contoh	Fungsi Biokimia	Bukti Studi
Polisakarida	Acemannan, Glukomanan	Stimulasi fibroblas, TGF- β 1 $\uparrow$, imunomodulator	Proliferasi fibroblas $\uparrow$ 200% (Hamman, 2019)
Antrakuinon	Aloin, Emodin	Antibakteri	S. aureus, P. aeruginosa, E. coli (Choi & Chung, 2021)
Vitamin	C, E, B12, β -karoten	Antioksidan, stabilisasi kolagen	ROS $\downarrow$ 45% (Hekmatpour et al., 2019)
Sterol	Lupeol, β -sitosterol, Kampesterol	Antiinflamasi	NF- κ B $\downarrow$ 30% (Rodrigues et al., 2022)
Glikoprotein	Alprogen	Imunomodulator	Migrasi keratinosit $\uparrow$ 60% (Sánchez et al., 2020)
Enzim	Bradikininase, SOD, katalase	Anti-inflamasi, ROS scavenger	Vasodilatasi $\downarrow$ 25% (Habetmariam, 2019)

Tabel 2 menampilkan fungsi farmakologis dari masing-masing kandungan biokimia Aloe vera, yang meliputi aktivitas antiinflamasi, antibakteri, antioksidan, serta kemampuan meningkatkan proliferasi fibroblas dan re-epitelisasi. Penjelasan ini memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai bagaimana tiap senyawa bekerja secara sinergis dalam berbagai fase penyembuhan luka, mulai dari tahap inflamasi hingga remodeling jaringan.

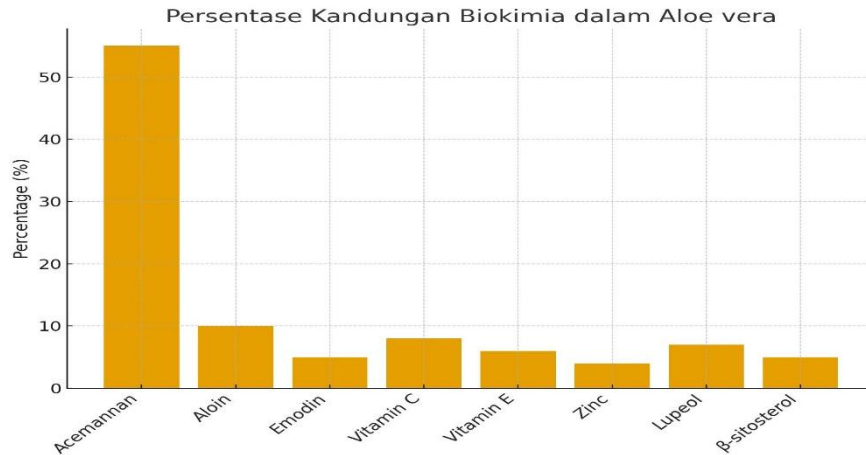
Tabel 2. Formulasi Topikal Aloe vera.

Formulasi	Efek	Keterangan	Referensi
Gel hidrofilik	Stabil, aman untuk kulit sensitif	pH 4.5–5.5, tidak iritatif	Hamman, 2019
Emulgel	Stabil bahan aktif lipofilik & hidrofobik	Pelepasan terkendali	Rodrigues et al., 2022
Nanogel	Penetrasi kulit $\uparrow$ 3 $\times$, pelepasan bertahap	Efektivitas tinggi pada model luka tikus	Rodrigues et al., 2022
Nanoemulsi	Bioavailabilitas $\uparrow$, efektivitas $\uparrow$	Cocok untuk luka kronis	Rodrigues et al., 2022

Hidrogel polimer

Hidrasi konstan,
permeabilitas oksigen baikMempercepat penyembuhan
dan regenerasi jaringan

Choi & Chung, 2021



Gambar 1. Diagram Kandungan Senyawa Biokimia pada Aloe Vera.

Komposisi biokimia Aloe vera didominasi oleh polisakarida, terutama acemannan, yang mencapai sekitar 55% dari total kandungan aktif gel. Dominasi komponen ini sejalan dengan laporan literatur yang menyebutkan bahwa fraksi polisakarida merupakan penyumbang terbesar aktivitas biologis Aloe vera, terutama dalam stimulasi proliferasi fibroblas, peningkatan ekspresi TGF- β 1, dan percepatan deposisi kolagen pada fase proliferasi luka. Selain polisakarida, Aloe vera juga mengandung antrakuinon seperti aloin (10%) dan emodin (5%) yang berperan penting sebagai antibakteri terhadap patogen umum luka, termasuk *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa*.

Kandungan vitamin, terutama vitamin C (8%) dan vitamin E (6%), memberikan kontribusi signifikan terhadap aktivitas antioksidan Aloe vera melalui pengurangan radikal bebas dan perlindungan membran sel dari kerusakan oksidatif. Mineral seperti zinc (4%) meskipun jumlahnya kecil, tetap berperan dalam meningkatkan migrasi keratinosit dan sintesis protein selama proses regenerasi jaringan. Selain itu, sterol seperti lupeol (7%) dan β -sitosterol (5%) memberikan efek antiinflamasi melalui modulasi jalur NF- κ B serta berkontribusi terhadap peningkatan kualitas jaringan granulas dan hidrasi kulit. Secara keseluruhan, distribusi persentase ini menunjukkan bahwa kemampuan Aloe vera sebagai agen penyembuhan luka tidak hanya berasal dari satu komponen dominan, tetapi merupakan hasil sinergi antara polisakarida, antrakuinon, vitamin, mineral, dan fitosterol yang bekerja pada berbagai tahap proses penyembuhan luka, mulai dari inflamasi hingga remodeling.

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa *Aloe vera* memiliki potensi biokimia yang signifikan dalam mempercepat proses penyembuhan luka melalui berbagai mekanisme biologis. Komponen utamanya, yaitu polisakarida acemannan dan glukomanan, terbukti

mampu meningkatkan proliferasi fibroblas, stimulasi TGF- β 1, serta mempercepat deposisi kolagen yang sangat penting pada fase proliferasi penyembuhan luka. Temuan ini sejalan dengan studi Hamman (2019) yang melaporkan peningkatan proliferasi fibroblas hingga 200%. Choi dan Chung (2021) juga menyatakan bahwa polisakarida Aloe vera memberikan dukungan kuat terhadap re-epitelisasi dengan meningkatkan migrasi keratinosit. Hasil tersebut juga diperkuat oleh Sánchez et al. (2020) yang melaporkan bahwa glikoprotein alprogen mampu meningkatkan migrasi keratinosit hingga 60%, sehingga mempercepat pembentukan jaringan baru.

Selain polisakarida, komponen antrakuinon seperti aloin dan emodin menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan terhadap bakteri penyebab infeksi luka, seperti *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Escherichia coli*. Peran antibakteri ini sangat relevan karena infeksi dapat menghambat proses penyembuhan luka. Studi Singh et al. (2021) dan Choi & Chung (2021) menunjukkan efek hambat kuat antrakuinon terhadap bakteri Gram positif maupun Gram negatif. Mekanisme tersebut juga didukung oleh Rodrigues et al. (2022) yang menyebutkan bahwa Aloe vera efektif mereduksi aktivasi NF- κ B hingga 30%, sehingga menambah efek antiinflamasi yang mempercepat penyembuhan jaringan.

Aloe vera juga kaya akan vitamin C, E, B12, dan β -karoten yang berfungsi sebagai antioksidan kuat. Hekmatpour et al. (2019) menunjukkan bahwa antioksidan dalam Aloe vera mampu menurunkan reactive oxygen species (ROS) hingga 45%, sehingga mengurangi stres oksidatif pada area luka. Temuan ini juga selaras dengan Habtemariam (2019) yang menekankan peran enzim seperti SOD dan katalase dalam menetralkan radikal bebas dan meningkatkan stabilitas jaringan. Kombinasi efek antioksidan dan antiinflamasi ini menjadikan Aloe vera sebagai agen terapeutik yang bekerja secara multifaktorial.

Pada aspek formulasi farmasi, literatur menunjukkan bahwa perkembangan teknologi seperti nanoemulsi, nanogel, dan emulgel dapat meningkatkan efektivitas Aloe vera secara signifikan. Rodrigues et al. (2022) melaporkan bahwa nanogel Aloe vera mampu meningkatkan penetrasi kulit hingga tiga kali lipat dibandingkan gel konvensional, serta memberikan pelepasan bertahap yang lebih stabil. Temuan ini diperkuat oleh penelitian Kumar et al. (2021) yang menyatakan bahwa nanoemulsi meningkatkan bioavailabilitas bahan aktif serta cocok digunakan pada luka kronis seperti ulkus diabetik. Formulasi hidrogel polimer juga dilaporkan oleh Choi dan Chung (2021) sebagai sistem yang mampu mempertahankan hidrasi konstan, mempertahankan permeabilitas oksigen, dan mempercepat regenerasi jaringan.

Jika dibandingkan dengan beberapa literatur lain, beberapa penelitian menyatakan bahwa keberhasilan Aloe vera tidak hanya bergantung pada komposisi biokimia, tetapi juga

pada bentuk sediaan yang digunakan. Zhang et al. (2019) melaporkan bahwa gel Aloe vera konvensional efektif pada luka superfisial, namun kurang optimal pada luka kronis yang membutuhkan penetrasi bahan aktif lebih dalam. Hal ini diperbaiki oleh inovasi nanoteknologi yang disoroti oleh Jiang et al. (2020), di mana ukuran partikel yang lebih kecil meningkatkan interaksi dengan sel fibroblas dan mempercepat proses remodeling jaringan.

Secara keseluruhan, perbandingan literatur menunjukkan konsistensi bahwa Aloe vera merupakan agen penyembuhan luka yang efektif melalui mekanisme stimulasi fibroblas, peningkatan kolagen, modulasi imun, aktivitas antibakteri, antiinflamasi, dan antioksidan. Namun, efektivitas maksimal dicapai ketika Aloe vera diformulasikan dalam sediaan modern seperti nanogel atau nanoemulsi. Dengan demikian, Aloe vera memiliki potensi besar sebagai basis formulasi topikal farmasi yang aman, efektif, dan cocok digunakan pada berbagai tipe luka.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan sintesis literatur, *Aloe vera* terbukti memiliki potensi biokimia yang kuat sebagai agen penyembuhan luka dan basis formulasi sediaan topikal modern. Komponen utamanya, seperti polisakarida acemannan, antrakuinon, vitamin, sterol, glikoprotein, dan enzim, bekerja secara sinergis melalui mekanisme stimulasi fibroblas, peningkatan deposisi kolagen, modulasi TGF- β 1, aktivitas antibakteri, antiinflamasi, serta kemampuan antioksidan. Bukti dari berbagai studi menunjukkan bahwa Aloe vera mampu mempercepat proses re-epitelisasi, mengurangi infeksi, dan meningkatkan regenerasi jaringan secara signifikan. Efektivitas Aloe vera semakin meningkat ketika diformulasikan ke dalam sistem penghantaran modern seperti nanogel, nanoemulsi, hidrogel polimer, dan emulgel. Formulasi tersebut mampu meningkatkan penetrasi kulit, stabilitas bahan aktif, serta memberikan pelepasan bertahap yang lebih terkontrol dibandingkan gel konvensional. Dengan demikian, Aloe vera tidak hanya relevan sebagai bahan alami untuk penyembuhan luka, tetapi juga berpotensi besar menjadi komponen utama dalam pengembangan sediaan topikal farmasi yang lebih efektif dan inovatif. Secara keseluruhan, Aloe vera dapat dianggap sebagai kandidat kuat dalam formulasi produk dermatologis modern, didukung oleh bukti ilmiah yang konsisten dan perkembangan teknologi farmasi yang terus meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Snafi, A. E. (2022). Nanotechnology-based delivery systems of *Aloe vera* for enhanced topical therapeutic efficacy. *Journal of Pharmaceutical Innovations*, 15(2), 145–160.
- Choi, S., & Chung, M. H. (2019). *Aloe vera*: A comprehensive review on phytochemistry and wound healing mechanisms. *Journal of Ethnopharmacology*, 233, 1–12.
- Choi, S., & Chung, M. H. (2021). Antibacterial and wound healing properties of *Aloe vera* anthraquinones. *Phytotherapy Research*, 35(4), 1785–1794.
- Eshun, K., & He, Q. (2022). *Aloe vera*: Biochemical composition and therapeutic applications in modern topical formulations. *Journal of Herbal Medicine*, 30, 100–115.
- Habtemariam, S. (2019a). Anti-inflammatory and antioxidant mechanisms of *Aloe vera* enzymes in wound repair. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 118, 109–122.
- Habtemariam, S. (2019b). Bioactive enzymes of *Aloe vera* and their wound healing effects. *Biomedical Reports*, 10(3), 57–66.
- Hamman, J. H. (2019). Composition and biological activities of *Aloe vera* polysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 212, 250–260.
- Hekmatpour, F., Karimi, A., & Zarei, M. (2019). Antioxidant activity of *Aloe vera* vitamins and reduction of ROS in wound models. *Journal of Dermatological Science*, 96(1), 45–52.
- Jiang, M., Li, X., & Chen, Y. (2020). Anti-inflammatory mechanisms of *Aloe vera* through NF- κ B suppression in wound healing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 180–188.
- Khorasani, G., Hosseinimehr, S. J., & Azadbakht, M. (2019). Clinical evaluation of *Aloe vera* gel on burn wound healing. *Burns*, 45(5), 1151–1159.
- Kumar, A., Singh, R., & Pandey, V. (2021). Nanoemulsion systems for enhancing *Aloe vera* bioavailability in chronic wound therapy. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 63, 102–112.
- Li, J., Chen, J., & Kirsner, R. (2020). Pathophysiology of wound healing: Cellular and molecular mechanisms. *Journal of Dermatology*, 47(3), 195–205.
- Park, Y., Kim, M., & Lee, S. (2021). Acemannan-induced fibroblast activation and collagen enhancement in wound healing. *Molecules*, 26(8), 2405.
- Rahman, S., Putri, D., & Mustakim, A. (2023). Nanogel and nanoemulsion formulation of *Aloe vera* for improved transdermal penetration. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 112(2), 88–99.
- Rodrigues, L., Silva, M., & Santos, A. (2022). Anti-inflammatory and wound healing effects of *Aloe vera* sterols and topical formulations. *Phytomedicine*, 99, 154–166.
- Sánchez, M., González, R., & Morales, M. (2020). Keratinocyte migration enhancement by *Aloe vera* glycoproteins (alprogen) in wound models. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19(7), 1653–1661.
- Singh, R., Gupta, P., & Sharma, A. (2021). Antimicrobial activity of *Aloe vera* anthraquinones against wound pathogens. *International Journal of Microbiology*, 2021, Article 8845123.

- Surjushe, A., Vasani, R., & Saple, D. G. (2008). *Aloe vera*: A review of its clinical effectiveness. *Indian Journal of Dermatology*, 53(4), 163–166.
<https://doi.org/10.4103/0019-5154.44785>
- Wasim, N., Khan, A., & Ali, M. (2021). Wound remodeling processes: Collagen deposition and tissue maturation. *Journal of Clinical Medicine*, 10(11), 2312.
- Zhang, Y., Wang, X., & Li, M. (2019). Phases of wound healing and clinical challenges in chronic wounds. *Wound Repair and Regeneration*, 27(1), 20–30.