

T E S I S

**ANALISIS SIFAT STRUKTUR DAN SIFAT OPTIK DARI PEMBALUT
LUKA ANTI BAKTERI BERBASIS ALGINAT DENGAN PENAMBAHAN
KALSIUM FOSFAT DAN SENG OKSIDA**

NURUL FAJRI RAMADHANI TANG

H032 22 1010



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**ANALISIS SIFAT STRUKTUR DAN SIFAT OPTIK DARI PEMBALUT
LUKA ANTI BAKTERI BERBASIS ALGINATE DENGAN
PENAMBAHAN KALSIUM FOSFAT DAN SENG OKSIDA**

TESIS

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Sains
pada Program Studi Magister Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

**NURUL FAJRI RAMADHANI TANG
H032221010**

**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

ANALISIS SIFAT STRUKTUR DAN SIFAT OPTIK DARI PEMBALUT LUKA
ANTI BAKTERI BERBASIS ALGINATE DENGAN PENAMBAHAN KALSIMUM
FOSFAT DAN SENG OKSIDA

Disusun dan diajukan oleh

NURUL FAJRI RAMADHANI TANG
H032221010

Telah Dipertahankan di Hadapan Panitia Ujian yang Dibentuk dalam Rangka Penyelesaian
Studi Program Magister Program Studi Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu
Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
Pada Tahun 2023
Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Kelulusan

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Menyetujui

Penasehat Utama,

Prof. Dr. Dahlan Tahir, M.Si.
NIP. 19750907 200003 1 006

Penasehat Pendamping,

Prof. Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.
NIP. 19630830 18903 2 001

Ketua Program Studi,

Prof. Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.
NIP. 19630830 18903 2 001

Dekan Fakultas,



Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.
NIP. 19720515 199702 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Fajri Ramadhani Tang
NIM : H032221010
Program Studi : Fisika
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

ANALISIS SIFAT STRUKTUR DAN SIFAT OPTIK DARI PEMBALUT LUKA ANTI BAKTERI BERBASIS ALGINATE DENGAN PENAMBAHAN KALSIMUM FOSFAT DAN SENG OKSIDA

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut,

Makassar, 24 November 2022

Yang Menyatakan



Nurul Fajri Ramadhani Tang

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur atas kehadiran **Allah SWT** atas berkah, rahmat dan karunia-Nya, Tuhan Yang Maha Kuasa. Salawat serta salam panjatkan kepada baginda **Rasulullah Nabi Muhammad SAW**, Nabi yang membaea syafaat kepada umat Islam. *Alhamdulillahirabbil Alamin*, penulis telah diberikan Kesehatan dan kesempatan sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “**Sintesis Komposit ZnO/Ca₃(PO₄)₂ Menggunakan Metode Sol-Gel sebagai Material Fotokatalis Limbah Cair Industri**” yang merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Sains di Departemen Fisika Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Dalam penyelesaian skripsi penulis telah mengalami berbagai hambatan dari tahap awal penelitian hingga tahap penyusunan skripsi. Oleh karena itu, penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Namun atas kehendak-Nya dan dukungan dari banyak pihak yang sangat berarti sehingga penulis termotivasi dan semangat untuk menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua tercinta, Ayahanda **Mohammad Tang** dan Ibunda **Sufiana Arief** yang selalu mengirimkan doa, memberikan kasih sayang, perhatian, nasehat dan dukungan baik secara moral maupun materi, serta kakak dan adik tersayang **Marwah Awalya Tang, Rayhan Hanief Tang dan Rachmi Meydiani Tang**, juga keluarga tercinta (**kakek, nenek, tante, om dan semua penghuni grup cousins~**) yang selalu memberikan semangat, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini dibuat khusus agar kedua orang tua tetap semangat dan senantiasa diberi Kesehatan dari Allah

SWT serta meridhai penulis untuk selalu membanggakan dan membahagiakan beliau.

2. **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.** selaku Dosen Pembimbing Utama, Penasehat Akademik (PA) dan Kepala Labaoratorium Material dan Energi, dan **Prof. Dr. Ir. Bidayatul Arminah, MT.** selaku Dosen Pembing Pertama yang telah banyak membimbing dan meluangkan waktu, tenaga, serta pemikirannya untuk penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan baik.
3. **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc, Prof. Dr. Tasrief Surungan, M.Sc,** dan **Prof. Dr. Sri Suryani, DEA** selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan saran, diskusi dan ilmu untuk memnjadikan skripsi ini lebih baik.
4. **Prof. Dr. Ir. Bidayatul Arminah, MT** selaku Ketua Prodi S2 Fisika serta **Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin,** terima kasih telah senantiasa memberikan ilmu yang bermanfaat dan menjadi bekal yang bermanfaat untuk masa depan, terkhusus kepada pak **Heryanto, S.Si, M.Si** yang banyak memberikan bantuan terkait pengolahan dan pembahasan data ekperiment serta support.
5. Bapak/Ibu **Staf Pegawai FMIPA UNHAS,** terutama **Staf Departemen Fisika; Pak Syukur, Ibu Evi dan Kakak Rana** yang selalu membantu selama proses administrasi di departemen hingga kampus dan keramahan serta cemilannya.
6. Penghuni **Grup Cowsins; Shafa, kiki, fahri, pitoow, bilal <3** terimakasih sudah menjadi teman seperjuangan selama di perantauan (asik haha), terkhusus penghuni **Castle Grand Property; Dg Najwa Diah Ramadhani (-soon to be S. T) dan Ratu Marwah Awalya Tang, S.S (-soon to be M.Hum),** terimakasih telah banyak merawat diriku yang jompo 🧡
7. Tersangat spesial kepada penguhi **Grup Kerajaan Material 🏰** (**kakak Inayatul Mutmainnah, Kak Andi Tessiwoja Tenri Ola, Kak Andi Uswatun Khazanah, Kak Febrianti Mahrani Kolly, Kak Nur Safitri, Kak Yusnita Sari, Kak Nurfadillah Anggraini, Kak Ardiansyah, kak Fahrul Bakri,**

Muhammad Azlan, Syahrul, Syarifuddin, Muhammad Nur nasyrah,
terimakasih atas segalanya.

8. Teman-teman seperjuangan **Fisika S2 2022**, terimakasih telah menjadi teman belajar sejak Maba, teman bertukar pikiran, juga seluruh masukan dan bantuan yang diberikan selama penyelesaian skripsi ini.
9. **Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) FMIPA Unhas** terima kasih telah membentuk karakter **Keras, Kuat, Cerdas dan Berani**.
10. **Himafi 2018** terima kasih untuk suka dan suka, serta semua cerita yang telah dilalui dari masa pengumpulan hingga saat ini. Sebuah keistimewaan dapat bagian dari kalian. Semoga tetap **satu tekad dalam menaklukkan waktu**.
11. Divisi **Kajian Strategis dan Advokasi BEM FMIPA Unhas 2021/2022 Ainul, agung, Farhan, komang, ail, sarwan, wawan, Iswatun, terkhusus kepada koordinator Rahmat Rastin**, atas cerita selama 1 triwulan kepengurusan, memberikan semangat dan bantuan selama mengurus masalah transkrip nilai penulis.
12. Adik-adik **Himafi 2019 dan Himafi 2020** terima kasih atas dukungan yang diberikan
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan semangat, dukungan serta doa sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Harapan dari penulis skripsi, hasil penelitian yang telah dilakukan semoga dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Memohon maaf atas segala kekurangan yang terdapat dalam skripsi. Semoga ilmu yang diperoleh menjadi berkah, Aamiin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu

Makassar, 24 November 2022

Yang Menyatakan



Nurul Fajri Ramadhani Tang

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	2
ABSTRAK	8
ABSTRACT	9
KATA PENGANTAR.....	3
DAFTAR ISI.....	6
DAFTAR GAMBAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR TABEL	Error! Bookmark not defined.
BAB I.....	10
PENDAHULUAN.....	10
I.1 Latar Belakang.....	10
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan	3
BAB II	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Pembalut luka	4
II.2 Natrium Alginate	5
II.3 Kalsium Fosfat.....	6
II.4 Fotosensitizer	6
II.4.1 ZnO	7
II.5 Mekanisme Fotodinamik Anti Bakteri.....	7
BAB III.....	10
METODE PENELITIAN	10
III.1 Tempat dan Waktu.....	10
III.2 Alat dan Bahan.....	10
III.2.1 Alat	10
III.2.2 Bahan	10
III.3 Prosedur Penelitian.....	11
III.3.1 Larutan PVA	11
III.3.1 Sintesis Pembalut Luka	11

III.4 Karakterisasi	12
1. X-Ray Diffraction (XRD).....	12
2. Persen Porositas	12
3. Sifat Mekanik.....	13
4. Ultraviolet-visible spectroscopy (Uv vis)	13
5. Swelling test.....	13
6. Laju dehidrasi.....	13
7. Biodegradable	13
8. Pengujian sifat antibakteri	13
III.4 Bagan Alir Penelitian.....	15
BAB IV	16
HASIL DAN PEMBAHASAN	16
IV.1 X-Ray Diffraction (XRD).....	16
IV.2 Persen Porositas	18
IV.3 Sifat Mekanik.....	19
IV.4 Ultraviolet-visible spectroscopy (Uv-vis)	21
IV.5 Swelling test.....	22
IV.6 Laju dehidrasi.....	23
IV.7 Biodegradable	24
IV.7.1 Uji biodegradasi di Tanah.....	24
IV.7.2 Uji biodegradasi di Pasir dan Air Laut.....	26
IV.8 Pengukuran Zona Hambat Bakteri	28
BAB V	31
PENUTUP	31
V.1 Kesimpulan	31
V.2 Saran	31
REFERENSI.....	32

BSTRAK

Kulit merupakan bagian terluar tubuh yang bersentuhan langsung dengan lingkungan eksternal, namun sangat rentan mengalami kerusakan dan menyebabkan berbagai jenis luka. Penyembuhan luka merupakan proses yang sangat kompleks, jika ditangani dengan buruk dapat menyebabkan banyak permasalahan baru dan Pembalut luka merupakan metode klinis yang berperan penting dalam proses penyembuhan luka. Pada penelitian ini mengembangkan pembalut luka antibakteri dengan menggunakan alginat sebagai material dasar, yang berfokus menganalisis pengaruh penambahan CaP dan ZnO pada sifat struktur, sifat optik, serta sifat antibakterinya. Didapatkan hasil pada penambahan CaP memiliki sifat mekanik yang kuat namun kaku, berbeda dengan penambahan CaP/ZnO memiliki sifat yang cukup elastis dan kuat. sifat optik dari sampel S2 tidak terlalu memberikan pengaruh yang cukup besar, namun berbeda dengan penambahan ZnO pada sampel S3 yang meningkatkan nilai panjang gelombang serta nilai absorbansinya secara signifikan. berdasarkan pengujian diameter zona hambat pada bakteri *Staphylococcus aureus*, terjadi peningkatan berturut-turut pada sifat antibakterinya dan sampel S3 yang memiliki nilai yang paling tinggi. Sehingga sampel S3 merupakan pembalut luka yang paling menjanjikan digunakan untuk membantu dalam mempercepat proses penyembuhan luka, karena memiliki sifat mekanik, sifat optik, dan sifat antibakteri yang paling optimal, namun disisi lain sampel S3 sulit teruai pada lingkungan.

Kata Kunci: Pembalut luka, Alginat, Kalsium Fosfat, Seng Oksida, dan Fotodinamik Antibakteri

ABSTRACT

The skin is the outermost part of the body that is in direct contact with the external environment but is very susceptible to damage and causes various types of injuries. Wound healing is a very complex process, if handled poorly it can cause many new problems. Wound dressing is a clinical method that plays an important role in the wound-healing process. In this research, we developed an antibacterial wound dressing using alginate as the basic material, which focused on analyzing the effect of adding CaP and ZnO on its structural properties, optical properties, and antibacterial properties. The results obtained were that the addition of CaP had strong but stiff mechanical properties, in contrast to the addition of CaP/ZnO which had quite elastic and strong properties. The optical properties of sample S2 do not have a big influence, but this is different from the addition of ZnO to sample S3 which increases the wavelength and absorption value significantly. Based on testing the diameter of the inhibition zone for *Staphylococcus aureus* bacteria, there was a successive increase in its antibacterial properties, and sample S3 had the highest value. So, the S3 sample is the most promising wound dressing used to help speed up the wound healing process, because it has the most optimal mechanical properties, optical properties, and antibacterial properties, but on the other hand the S3 sample is difficult to digest in the environment.

Keywords: Wound dressing, Alginate, Calcium Phosphate, Zinc Oxide, and Photodynamic inactivation

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pada tubuh, kulit merupakan organ terbesar yang memiliki peranan sebagai pelindung terhadap invasi oleh benda fisik, kimia maupun biologis [1], dan merupakan bagian terluar tubuh yang bersentuhan langsung dengan lingkungan eksternal, kulit sangat rentan mengalami kerusakan oleh berbagai factor: faktor eksternal dan factor internal yang dapat menyebabkan berbagai jenis luka [2]. Penyembuhan luka merupakan proses yang sangat kompleks, jika ditangani dengan buruk dapat menyebabkan banyak permasalahan seperti kehilangan air dan protein berlebih, peningkatan metabolisme, dan infeksi bakteri (oleh *Escherichia coli* (*E. coli*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. Aeruginosa*) dan *Staphylococcus aureus* (*S. Aureus*), methicillin-resistant golden yellow staphylococcus (MRSA)), serta gangguan sistem kekebalan tubuh yang dapat mengancam jiwa [3], [4].

Pembalut luka merupakan metode klinis yang berperan penting dalam proses penyembuhan luka karena dapat menjadi penghalang fisik local untuk melindungi lingkungan luka dari trauma fisik, termal, kimia, biologis dan lainnya, yang dapat membantu meregenerasi jaringan dermal dan epidermis yang rusak serta memulihkan fungsi jaringan kulit [5]. Sifat suatu material tergantung pada bagaimana proses dan pemilihan material dasar pembuatannya, yang tentunya akan mempengaruhi kinerjanya. Sehingga dalam mengembangkan suatu produk material salah satu poin yang sangat perlu diperhatikan adalah pemilihan materialnya [6].

Saat ini, polimer alami seperti kolagen, fibroin dan alginate dapat memudahkan pelepasan molekul bioaktif yang mempercepat penyembuhan luka. Natrium alginate (SA) yang banyak digunakan dalam industry makanan, medis dan farmasi, karena memiliki harga yang murah, bersifat biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan toksisitas rendah, serta dapat menyerap eksudat tingkat sedang hingga tinggi, Meskipun SA dapat mudah membentuk gel, namun sifat mekaniknya tidak cukup memuaskan pada keadaan basah, yang membatasi aplikasinya. Sehingga perlu penambahan polimer lainnya, mis. poli (vinil alkohol), juga dapat mengontrol pelepasan obat [7]–[10].

Ion Na^+ dalam rantai makromolekul alginat dapat digantikan oleh kation divalen (yaitu, Ca^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+}) [11]. Ion Ca^{2+} merupakan pengisi yang ideal untuk pembalut luka karena dapat mempercepat pertukaran ion pada fase hamostatis, juga berperan dalam pembekuan darah, peradangan serta remodeling epidermal dan dermal [10]. Nanopartikel kalsium fosfat mudah hancur pada pH asam, sehingga melepaskan ion kalsium pada permukaan luka [12]. Dilaporkan juga, pembalut luka kalsium alginat (CaAlg) memiliki keunggulan memberikan lingkungan lembab pada luka, biaya rendah, serta memiliki kemampuan menyerap air yang baik, yang dapat menyerap 20 kali volume air dibandingkan volumenya dan 5-7 kali lebih banyak dari kain kasa tradisional [13].

Pengembangan pembalut luka, saat ini juga mengarah ke sifat anti bakteri dengan berbagai pendekatan. Salah satunya dengan memanfaatkan pendekatan fotodinamik antibakteri telah digunakan untuk mengembangkan sifat antibakteri dengan menggabungkan agen fotosensitizer (PS) berbahan nanomaterial [14]. A.N. Severyukhina, dkk. Juga menjelaskan bahwa material fotosensitizer sudah memungkinkan untuk digabung secara langsung ke dalam polimer untuk membantu meningkatkan sifat anti bakteri pembalut luka [6].

Disebutkan bahwa material skala nano mampu menghasilkan ROS tingkat tinggi karena sifat penyerapan optik yang baik, dan stabilitas yang baik [15], [16]. Sebagian besar NP yang digunakan berasal dari semikonduktor golongan logam oksida seperti ZnO karena memiliki respon fotokimia dan sifat antibakteri yang baik [4]. NP ZnO memiliki memiliki sifat biokompabilitas, tidak beracun, fotostabilitas dan selektivitas yang tinggi, kemampuan oksidasi yang kuat, serta mampu menghasilkan ROS tingkat tinggi di wilayah radiasi ultraviolet (UV) sehingga berpotensi diaplikasikan menjadi material PS [17], [18], serta memiliki biaya rendah [16], [19], [20].

Penelitian ini, akan mensintesis pembalut luka berbahan alginate dengan penambahan kalsium fosfat (CaP) dan Seng Oksida (ZnO) yang akan dilakukan analisis terhadap sifat strukturnya menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), dan sifat optiknya menggunakan Spektrofotometri UV-Vis serta akan dilakukan pengujian *swelling test* dan laju dehidrasi, biodegradable, dan uji aktivitas antibakterinya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat struktur, sifat optik serta pengaruh penambahan CaP dan CaP/ZnO dari pembalut luka berbahan Alginat?
2. Bagaimana pengaruh penambahan material fotosensitizer terhadap sifat anti bakteri pembalut luka?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka didapatkan tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis sifat struktur, sifat optik serta pengaruh penambahan CaP dan CaP/ZnO dari pembalut luka berbahan Alginat?
2. Menganalisis pengaruh penambahan material fotosensitizer terhadap sifat anti bakteri pembalut luka?

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Pembalut luka

Perawatan luka mencakup metode bedah dan klinis, dengan pembalut luka menjadi perawatan klinis yang paling sering digunakan untuk membantu perbaikan jaringan dan bertindak sebagai penghalang untuk melindungi luka, juga mencegah kontaminasi dan infeksi [21], Sehingga pembalut luka memiliki peran yang penting dalam proses penyembuhan [22]. Namun, beberapa pembalut luka yang digunakan saat ini menunjukkan proses penyembuhan yang lambat, permeasi gas yang buruk, ketidakmampuan untuk memberikan kelembapan, menginduksi reaksi alergi, dll. Sehingga perlu dilakukan pengembangan pada pembalut luka yang lebih efektif dalam mengobati [23], Pembalut luka yang ideal perlu memiliki beberapa sifat yang dapat membantu mempercepat penyembuhan luka yang kami bagi dalam 4 jenis sifat umum:

1. Sifat fisik [24]–[26]:

- Kelembaban: untuk membantu migrasi dan proliferasi sel
- Isolasi termal: Menjaga suhu optimal di lokasi cedera untuk mengurangi rasa sakit
- Penyerapan eksudat: untuk membuang kelebihan eksudat
- Daya rekat: dapat melindungi permukaan luka, namun dapat dengan mudah dihilangkan sehingga tidak menimbulkan nyeri (trauma) pada luka dan kemungkinan nekrosis
- struktur berpori/Transmisi gas yang baik: memungkinkan difusi oksigen ke dasar luka untuk mempercepat aktivitas sel dan meningkatkan kemampuan menyerap eksudat
- Elastis: aplikasi mudah dan dapat menyesuaikan dengan lokasi luka serta mendukung tekanan mekanis kulit dan ketahanan terhadap fragmentasi untuk memberikan kenyamanan pasien

2. sifat biologis [27], [28]:

- Biodegradable: produk perawatan luka yang ramah lingkungan
- Biokompatibel
- Antimikroba: melindungi luka dari infeksi

- Hemostatis
3. Sifat kimia [25], [29]:
 - Tidak antigen
 - Tidak beracun: mengurangi sitotoksitas dan iritasi pada kulit yang dapat menimbulkan kerusakan atau akibat yang parah
 - Level pH yang rendah (daerah asam): dapat menghambat sebagian besar aktivitas bakteri dan meningkatkan oksigenasi jaringan
 4. Kesiapan teknologi:
 - Mudah dibuat - metode sintesisnya
 - Murah - pemilihan bahan
 - Durasi pemakaian: meminimalisi frekuensi penggantian balutan

II.2 Natrium Alginate

Natrium alginat (SA) merupakan polisakarida alami yang diekstraksi dari ganggang coklat, biasanya berbentuk garam natrium yaitu natrium alginate [30]. Secara luas dimanfaatkan dalam industri makanan sebagai pengental, pengemulsi, penstabil dan film yang dapat dimakan, kosmetik, dan farmasi sebagai pembalut luka, penghantar obat dan rekayasa jaringan [7]. SA memiliki beberapa sifat unggul seperti sifat kelarutan yang baik dalam air, kemampuan pembentuk gel, biokompatibilitas, tidak beracun, tidak imunogenisitas dan bioavailabilitas yang tinggi sehingga memiliki biaya rendah, higroskopisitas, permeabilitas oksigen, adhesi sel, hemostatis yang dapat menyerap eksudat dalam jumlah besar, dan memiliki efek pembekuan yang unik dan dapat mendukung peningkatan proliferasi sel epidermis [31], [32].

Secara umum, SA dapat membantuk hydrogel melalui interaksi ionic antara ion logam divalent (seperti: Mg^{2+} , Ca^{2+} , atau Ba^{2+}) dan gugus karboksilat pada rantai polimer. Yang mana, strukturnya dapat menciptakan, dan mempertahankan lingkungan yang lembab di sekitar luka untuk mempercepat proses penyembuhan. Juga mirip dengan matriks ekstraseluler (ECM) jaringan mamalia (yang dasarnya terdiri dari protein terhidrasi dan jaringan polisakarida) untuk mendukung sel, sehingga dapat digunakan sebagai pembawa untuk pengantar agen bioaktif seperti obat kimia kecil, protein dan sel dalam aplikasi rekayasa jaringan, yang dapat dilepas dengan cara terkontrol tergantung pada jenis pengikat silangnya [33].

Alginate dalam bentuk gel dapat dengan cepat menghidrasi dan melepaskan PS pada luka yang bernanah dan sebagai sistem penghantar obat dalam aPDT pada luka yang terinfeksi [5]. Selain itu, pengaplikasiannya pada pembalut luka sangat menguntungkan karena tidak lengket pada jaringan granulasi baru sehingga dapat mengurangi rasa sakit saat terlepas dan tanpa banyak trauma serta mencegah kerusakan sekunder [33], [34].

II.3 Kalsium Fosfat

Kalsium fosfat merupakan senyawa yang mengandung ion kalsium (Ca^{2+}) dan anion fosfat organik, dan biasanya berwarna putih. Merupakan kontributor utama dalam biokomposit yang digunakan untuk aplikasi biomedis seperti pengobatan luka dan penyembuhan luka serta infeksi [35], karna memiliki sifat sifat antibakteri, biokompatibilitas dan bioaktif sempurna, Struktur pori yang dimiliki menjadi pendukung agar mudah menghantar obat juga mudah melepaskan ion pada pH yang asam seperti lingkungan luka [12], untuk sifat fisiknya memiliki kekuatan mekanik yang rendah sehingga memiliki sifat elastisitas yang tinggi [36], memiliki kemungkinan untuk dilakukan doping dengan bahan anti mikroba lainnya seperti perak, tembaga, dan seng dan mendukung pembentukan biofilm [37], penyerap UV yang baik [38], serta memiliki peran yang terkenal dalam homeostasis kulit mamalia dan berfungsi sebagai modulator proliferasi dan diferensiasi keratinosit dan yang terpenting juga mudah disintesis [35].

II.4 Fotosensitizer

obat antimikroba telah dianggap sebagai obat untuk infeksi di masyarakat dan lingkungan rumah sakit. namun, penggunaan antibiotik jangka panjang dan penyalahgunaan dapat menyebabkan terjadinya resistensi bakteri. Dan saat ini, Infeksi bakteri dan resistensi bakteri yang terus meningkat telah menjadi ancaman serius bagi kesehatan manusia dan dapat mengancam proses penyembuhan luka. organisasi kesetahan dunia (WHO) memperkirakan bahwa kematian akibat resistensi bakteri hampir mencapai 10 juta orang setiap tahunnya pada tahun 2050, juga telah mengakui urgensi untuk menangani resistensi antimikroba (AMR) yang telah menjadi ancaman di dunia juga embuat pengobatan menjadi sulit, mahal dan bahkan tidak mungkin [39], [40].

Pencegahan menggunakan antibiotik dan terjadinya resistensi bakteri membutuhkan pengembangan bahan dan pendekatan baru untuk pengobatan berbagai infeksi yang bebas dari antibiotik misalnya metode aPDT [41], dan merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk pengelolaan infeksi bakteri pada luka. Yang mana dibandingkan pengobatan antibiotik konvensional, Pengobatan aPDT relative aman, tidak menimbulkan alergi dan mengarah pada produksi spesies oksigen reaktif (ROS). PDT adalah reaksi kimia antara non-toxic photosensitizer (PS) yang diaktifkan oleh energi cahaya dan oksigen, yang akan memproduksi ROS (Reactive oxygen species) [42].

PS merupakan agen yang dapat menyerap cahaya (dengan panjang gelombang tertentu) dan mengubahnya menjadi energi yang berguna, seperti menghasilkan spesies oksigen reaktif toksik, yang dapat digunakan untuk menonaktifkan protein terpilih atau untuk membunuh sel yang diinduksi oleh cahaya dan merupakan salah satu penentu efektivitas PDT [43]–[45]. material PS umumnya berasal dari NP metalik dan bahan nano berbasis karbon [46].

II.4.1 ZnO

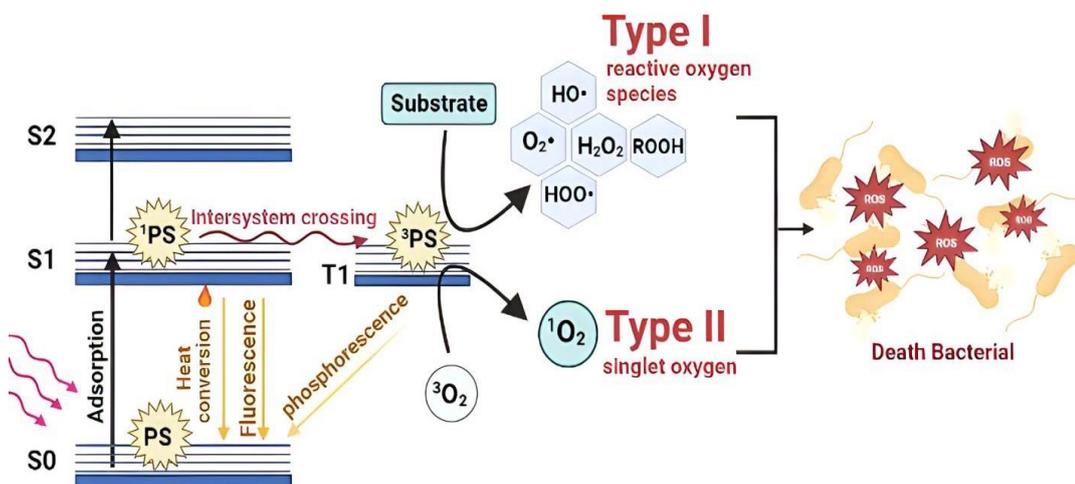
Seng Oksida (ZnO) merupakan bahan semikonduktor tipe-n dari kelompok semikonduktor II-VI yang memiliki celah energi gap sebesar 3.37 eV serta termasuk senyawa logam oksida [47]. Umumnya material ini berbentuk serbuk putih yang banyak digunakan dalam perawatan medis dan kosmetik karena memiliki sifat stabilitas termal tinggi, mobilitas elektron yang baik, penyerapan yang kuat di wilayah ultraviolet, energi ikat eksiton yang tinggi (~60 meV), fotostabilitas tinggi, biokompatibilitas, daya pengoksidasi dan efisiensi serap foton yang tinggi, mudah disintesis, toksisitas rendah. [17], [48], dan merupakan material PS yang menjanjikan karena memiliki efek fototoksikitas yang responsif terhadap sinar UV dan dapat menghasilkan ROS sehingga dapat membunuh bakteri maupun sel kanker [19].

II.5 Mekanisme Fotodinamik Anti Bakteri

PDT adalah reaksi kimia yang melibatkan photosensitizer (PS), oksigen di sekitarnya dan cahaya, yang akan memproduksi ROS (Reactive oxygen species)

[49]. Prinsip fotodinamik dijelaskan pada diagram Jablonski yang dimodifikasi dan ditunjukkan pada **Gambar II.1** [50]. Pada keadaan normal, PS berada pada keadaan singlet dasar (S_0) di mana semua elektron berotasi berpasangan yang berenergi rendah (*ground state*) dan dalam keadaan stabil [51].

Setelah menyerap foton (biasanya berupa cahaya tampak, ultraviolet ataupun inframerah: 400-900 nm) [52], PS diaktifkan dari keadaan singlet dasar (S_0) ke keadaan singlet tereksitasi (S_1) membentuk 1PS yang memiliki masa hidup yang sangat singkat (dalam satuan nanodetik) dan tidak stabil karena memiliki kelebihan energi [53], dan berusaha menstabilkan diri menuju keadaan dasar melalui proses (1) pemancaran cahaya (fluoresensi atau fosforesensi) atau (2) dengan konversi internal menjadi panas, dan atau *intersystem crossing (ISC)* yang dapat merubah 1PS ke keadaan triplet (T_1) yang memiliki masa hidup yang relatif lama (3PS).



Gambar II. 1. Mekanisme fotodinamik antibakteri

Pada kondisi triplet state, molekul memiliki cukup waktu untuk berinteraksi dengan molekul lain seperti molekul oksigen yang terdapat disekitar sel target. Pengurangan energi di tingkat triplet melalui reaksi kimia dengan molekul oksigen dapat terjadi dalam dua cara yaitu transfer elektron (tipe I) dan transfer energi (tipe II):

1. Mekanisme tipe I menggambarkan interaksi langsung dari elektron 3PS dengan molekul substrat di sekitarnya (seperti: air, biomolekul, lipid membrane sel, dan asam nukleat)[54] dan mentransfer elektron yang mengarah pada pembentukan

radikal bebas. Radikal ini kemudian berinteraksi dengan oksigen untuk menghasilkan radikal anion superoksida (O_2^\bullet), radikal hidroperoksida (HOO^\bullet), peroksida (H_2O_2 , $ROOH$) dan radikal hidroksil (HO^\bullet) [55]. Radikal tersebut kemudian akan bereaksi dengan oksigen lainnya dan menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS) [56]. Yang mana akan mereduksi sel dan mengakibatkan kematian sel [57].

2. Untuk mekanisme tipe II didasarkan pada transfer energi. Dalam reaksi ini, 3PS bereaksi dengan oksigen pada keadaan triplet (3O_2) untuk menghasilkan Oksigen keadaan singlet tereksitasi (1O_2) yang sangat reaktif dan sitotoksik [58], [59]. Dan ROS yang dihasilkan oleh PDT ini dapat mengoksidasi komponen seluler seperti protein, asam nukleat, dan lipid yang dapat menyebabkan kerusakan sel dan kematian [60].

Penambahan material PS pada matriks pembalut luka berperan sebagai untuk meningkatkan sifat anti bakterinya dengan cara menghasilkan ROS dalam proses penyembuhan luka, sehingga material PS hanya bekerja di permukaan saja dibawah penyinaran Cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai [61].