

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Pada tahun 2010, dari penelitian Akhmar dengan topik penelitian “*Fabrication of bacterial cellulose, chitosan and essential oil biocomposite for antimicrobial effect noor faridatul akhmar simbun universiti malaysia Pahang*” terkait masalah luka khususnya luka kronik merupakan masalah oleh para pasien. Dimana penelitian ini untuk menghasilkan film biokomposit dari tiga jenis material yang digunakan yaitu kitosan, selulosa bakteri dan juga minyak esensial dan film. Kemudian pada penelitian ini didapatkan film yang mengandung kitosan, selulosa bakteri dan minyak esensial mempunyai potensi dalam aplikasi pengobatan terutama untuk penyembuhan luka.

Penelitian pada tahun 2015 dari penelitian A.W Paramadini dengan judul penelitian “*efek variasi konsentrasi kolagen terhadap karakteristik biokomposit selulosa bakteri-kolagen sebagai kandidat durameter artificial*”. Penelitian ini memanfaatkan bakteri *acetobacter xylinum*, urea dan juga sukrosa untuk membentuk film selulosa bakteri. Dimana metode yang digunakan yaitu metode *imersi* pelikel selulosa bakteri, serta hasilnya berpotensi untuk digunakan sebagai *durameter artificial*.

Pada penelitian P.Widiyanti, tahun 2017 dengan topik penelitian “*Effects of variation of chitosan concentration on the characteristics of membran cellulose bacteria-chitosan biocomposites as candidates for artificial dura mater*” Penelitian bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi dari konsentrasi kitosan yang dibuat terhadap karakteristik membran biokomposit bakteri selulosa-kitosan melalui metode presipitasi perendaman. Berdasarkan hasil uji dengan menggunakan berbagai parameter, biokomposit membran bakteri selulosa-kitosan berpotensi menjadi kandidat durameter buatan.

Penelitian P.N Ramadhani pada tahun 2018 yang berjudul “*Efek Variasi komposisi kolagen-kitosan-gliserol terhadap karaterisasi scaffold untuk gingival recession therapy*” penelitian ini terkait variasi komposisi material terbaik untuk penggunaan scaffold kolagen-kitosan dan gliserol melalui metode freeze-dry atau

pengeringan beku yang dapat membentuk pori pada scaffold. Hasil penelitian menunjukkan potensi sebagai kandidat *scaffold* yang efektif untuk terapi *gingival recession* dengan penambahan gliserol.

Pada tahun 2021, P. Stanescu et al. melakukan penelitian berjudul "*Novel chitosan and bacterial cellulose biocomposites tailored with polymeric nanoparticles for modern wound dressing development*". Penelitian ini membahas penggunaan bakteri selulosa dan kitosan dalam pembuatan biomaterial *dressing* yang penting karena sifatnya yang non-toksik, *biodegradable*, dan biokompatibel. Dalam penelitian ini, material tersebut disesuaikan dengan penggunaan *nanopartikel poli (N-isopropilakrilamida)* atau *polivinil alcohol*. Hasil penelitian menunjukkan biokompatibilitas yang baik dari partikel nano dan biokomposit tersebut dalam hal viabilitas dan potensi proliferasi fibroblas kulit manusia. Oleh karena itu, biomaterial polimer yang mengandung obat menunjukkan karakteristik yang menjanjikan dan memiliki potensi yang tinggi sebagai alternatif untuk *wound dressing* yang biokompatibel dan juga memiliki sifat antibakteri.

Tabel 2.1 Kajian Pustaka

No	Peneliti	Material	Metode	Temuan Utama
1	Akhamar, 2010	Kitosan, selulosa bakteri, minyak esensial	Metode pencampuran dan proses penuangan	<i>Film</i> biokomposit yang mengandung kitosan, selulosa bakteri, dan minyak esensial memiliki potensi aplikasi dalam penyembuhan luka, diabetes melitus.
2	A.W Paramadini, 2015	Selulosa bakteri, kolagen	<i>Imersi</i> pelikel selulosa bakteri	Biokomposit selulosa bakteri-kolagen dengan variasi konsentrasi kolagen memiliki potensi sebagai kandidat <i>durameter artificial</i> .
3	P.Widiyanti, 2017	Selulosa bakteri, kitosan	Metode presipitasi perendaman	Biokomposit membran mikrobial selulosa-kitosan dengan variasi konsentrasi kitosan memiliki

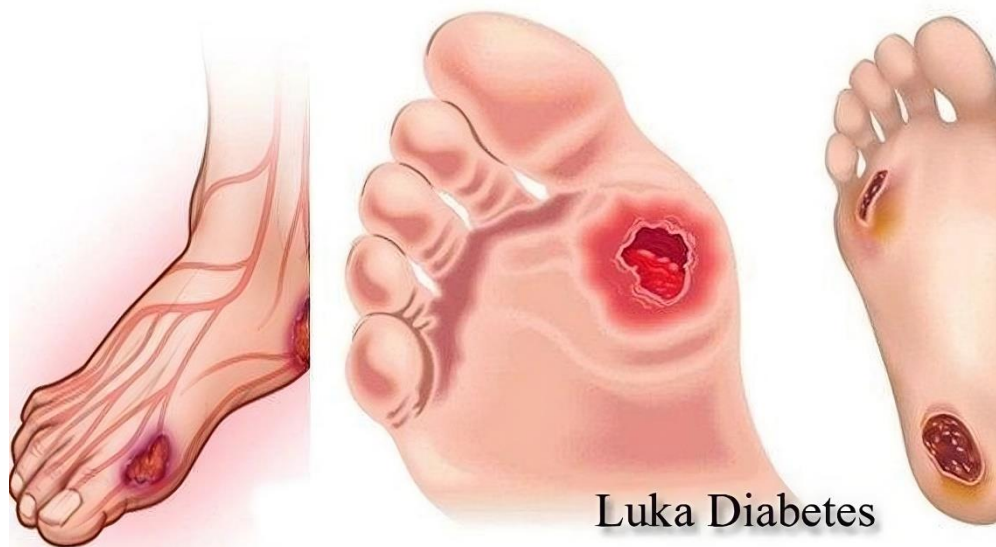
				potensi sebagai kandidat <i>duramater</i> buatan.
4	P.N Ramadhani, 2018	Gliserol- kitosan & kolagen	<i>Freeze dry</i>	Selulosa, gliserol dan variasi komposisi kolagen dengan menggunakan <i>freeze dry</i> membentuk <i>scaffold</i> dengan pori-pori. Hasilnya memiliki potensi sebagai kandidat <i>scaffold</i> untuk terapi resesi gingiva.
5	P. Stanescu, 2021	Bakteri selulosa, kitosan, nanoparti kel poli (N- <i>isopropil akrilami</i>)	Sintesis biokomposit dengan menggabun gkan bakteri selulosa, kitosan & PVA	Biokomposit yang biokompatibilitas baik dan potensi proliferasi fibroblas kulit manusia. Biomaterial polimer yang mengandung obat menunjukkan karakteristik yang menjanjikan dan memiliki potensi sebagai alternatif untuk <i>wound dressing</i> yang biokompatibel dan memiliki sifat antibakteri.

Objek penelitian ini yaitu luka neuroiskemik pada penderita diabetes melitus, dimana luka neuroiskemik ini perlu penanganan khusus karena jenis luka ini ditandai dengan adanya jaringan mati atau terinfeksi yang membentuk lesi di area luka, yang membuat luka ini sulit untuk meregenerasi dan meningkatkan risiko terinfeksi. Sehingga di perlukan *wound dressing* untuk mencegah peningkatan risiko terinfeksi dan menjadi penghalang fisik yang melindungi luka dari kontaminasi bakteri serta menjaga kondisi lingkungan yang optimal untuk penyembuhan. Penggunaan material untuk *wound dressing* ini karena melihat masing-masing material memiliki keunggulan jika di kompositkan jadi dibuat pada penelitian ini menggunakan bahan Biokomposit selulosa bakteri-kitosan dan gliserol dengan merujuk pada literatur [8] [11] [15] [16] [17].

2.2 DASAR TEORI

2.2.1. Diabetes Melitus

Diabetes Melitus (DM) merupakan meningkatnya kadar gula darah dalam tubuh diatas normal atau cenderung tinggi [18]. Penyakit ini adalah sekelompok gangguan metabolisme yang dapat diketahui dengan dari hiperglikemia akibat gangguan sekresi insulin, kinerja insulin, ataupun keduanya [19]. Diabetes Melitus dikaitkan dengan kerusakan organ akhir, disfungsi, serta kegagalan organ dan jaringan, termasuk retina, jantung, saraf ginjal dan pembuluh darah [20].



Gambar 2.1 Ilustrasi Luka Diabetes [80]

Penyakit diabetes melitus walaupun berbahaya tapi merupakan jenis penyakit yang tidak menular. Selain itu, diabetes melitus adalah penyakit metabolik yang memiliki kadar gula (hiperglikemia) yang tinggi, hal disebabkan gangguan sekresi insulin atau resistensi insulin dan bisa keduanya. Saat ini, Penyakit diabetes melitus tidak dapat disembuhkan secara total [21]. Namun, perlu dicatat bahwa kadar gula atau hiperglikemia dalam darah memiliki kemungkinan untuk menurun ke tingkat yang normatif. Kondisi peningkatan kadar glukosa dalam darah ini dapat diatributkan kepada ketidakmampuan tubuh dalam mengelola glukosa dengan optimal, di mana proses metabolisme glukosa tidak berjalan efisien, gangguan tersebut dapat merujuk pada berbagai aspek, seperti resistensi insulin atau kelainan dalam mekanisme regulasi gula darah [18].

2.2.2. Klasifikasi dan Faktor Diabetes Melitus

Secara Etimologi, Diabetes melitus dibedakan atas beberapa klasifikasi yaitu, Diabetes melitus Tipe I dan II, diabetes *gestasional* serta diabetes melitus tipe lain.

a. Diabetes tipe I

Diabetes tipe 1 terjadi karena sel beta pankreas rusak dan menjadi tergantung seumur hidup pada insulin dan estrogen. Biasanya terjadi pada usia muda. Penyebabnya bukan karena faktor genetik, melainkan karena faktor *autoimun* [22].

b. Diabetes tipe II

Diabetes tipe 2 adalah tipe umum diabetes yang lebih rentan daripada tipe 1. Hal ini disebabkan oleh banyak faktor, termasuk obesitas dan genetika. Jika dibiarkan, itu dapat menyebabkan komplikasi. Diabetes tipe kedua ini dapat timbul saat kondisi kehamilan, dari riwayat penyakit diabetes mellitus keluarga, obesitas, riwayat melahirkan bayi dengan ukuran yang besar serta riwayat penyakit lainnya.

c. Diabetes *Gestasional*

Jenis diabetes yang umumnya memiliki gejala yang mirip dengan diabetes dan jika tidak ditangani lebih awal maka dapat menyebabkan komplikasi saat lahir, berat bayi lebih dari 4 kg, dan kematian dalam kandungan [23]. Diabetes *gestasional* biasanya akan hilang setelah bayi lahir. Namun, diabetes juga bisa terjadi di kemudian hari. Seorang wanita hamil yang menderita diabetes melahirkan bayi besar dengan berat lebih dari 4000 gram. Dalam kasus diatas, seorang ibu kemungkinan besar akan mengidap penyakit diabetes tipe II di masa depan [24].

Peningkatan kadar gula darah dalam tubuh merupakan salah satu ciri diabetes tipe 2 dan *gestasional*. Kadar gula darah dalam tubuh dapat diketahui dengan pemeriksaan. Standar WHO untuk kadar glukosa darah, kadar glukosa darah puasa pada manusia, dianggap normal jika kadar glukosa darah puasa setelah 90 menit sesuai dengan 4-7 mmol/l atau 72-126 mg/dl. Kadar gula darah normal dalam tubuh adalah 10 mmol/l atau 180mg/dl, dan kadar gula darah malam hari yang normal dalam tubuh adalah 8 mmol/l atau 144 mg/dl.

Jika gula darah puasa di atas 126 mg/dl dan tes glukosa darah Anda di atas 200 mg/dl, maka dapat didiagnosis menderita diabetes melitus. Kadar gula darah berfluktuasi sepanjang hari, naik setelah makan dan kembali normal dalam dua jam [25].

2.2.3. Etiologi Diabetes Melitus

Sangat penting untuk mengetahui penyebab dari luka diabetes karena tentunya akan memberikan pengaruh terhadap bagaimana cara untuk manajemen luka diabetes di setiap tipe dari luka diabetes yang tentunya memiliki penanganan yang berbeda-beda.

a. Tipe luka kaki diabetes berdasarkan penyebabnya.

1. Luka Neuropati (jenis luka diabetes melitus yang disebabkan oleh neuropati perifer).
2. Luka Iskemia (luka yang disebabkan oleh penyakit *vascular* perifer).
3. Luka Neuro-iskemik ialah gabungan neuropati perifer dan penyakit *vascular perifer*. Neuropati perifer ialah penyakit ini paling umum dari luka kaki pada penderita diabetes melitus sedangkan penyakit vaskuler perifer ialah faktor yang paling berpengaruh dalam menentukan kesembuhan dari luka [22]. Kaki Neuroiskemik adalah kaki yang dingin dan tidak berdenyut; kulitnya tipis, berkilau, dan tidak berbulu. Terdapat juga atrofi jaringan subkutan, dan *klaudikasio intermiten* serta nyeri saat istirahat mungkin tidak ada karena neuropati [26].



Gambar 2.2 Luka Neuroiskemik [26]

Ulkus kaki neuroiskemik merupakan manifestasi klinis yang muncul pada individu yang mengalami neuropati perifer dan iskemia akibat Penyakit Arteri Perifer (PAD). Keadaan ini secara umum ditandai oleh terjadinya ulkus neuropatik, terutama di daerah plantar, sebagai akibat langsung dari kerusakan saraf dan gangguan aliran darah yang terjadi pada PAD. Ulkus neuropatik ini dapat diidentifikasi dengan adanya kapalan atau hiperkeratosis tebal di sekitar tepi luka, yang menjadi ciri khasnya. Hal ini i interaksi antara neuropati dan iskemia pada ulkus kaki neuroiskemik [27].

Tabel 2.2 Perbedaan tipe Neuropatik, Iskemik dan Neuroiskemik

Karakteristik	Luka Neuropati	Luka Iskemik	Luka Neuroiskemik
Prevalensi	35%	15%	50%
Perasa atau sensasi	Hilangnya kemampuan perasa	Orang yang terkena dampak merasa sakit (kemampuan perasa tidak hilang)	Sensasi memburuk
Kapalan atau nekrosis	Terdapat kalus dan biasanya tebal	Umumnya nekrosis	Terdapat kalus namun sedikit, dan adanya nekrosis
Dasar Luka	Berwarna <i>pink</i> dan dikelilingi oleh kalus	Pucat dan kekuningan dengan jaringan yang buruk	Jaringan granulasi yang buruk
Temperatur kaki dan nadi	Hangat dengan nadi yang teraba	Dingin, nadi melemah atau cenderung tidak ada	Dingin, nadi melemah/ tidak ada
Lokasi pada umumnya	Kepala metatarsal, tumit dan bagian dorsum serta jari-jari kaki	Ujung jari-jari, tepi kaki dan diantara jari dan tepi lateral dari kaki	Tepi-tepi dari kaki dan jari-jari.

2.2.4. Selulosa Bakteri

Selulosa Bakteri adalah jenis selulosa diproduksi oleh bakteri asam asetat dalam media sintetik maupun tidak disintesis melalui fermentasi oksidatif [28]. *Acetobacter xylinum* adalah produsen bakteri selulosa yang paling efisien dan dipelajari dengan baik, berhasil mengasimilasi berbagai gula dan menghasilkan kandungan selulosa yang tinggi dalam media cair [29]. Jenis *Acetobacter xylinum* dianggap memiliki keunggulan dibandingkan jenis selulosa yang berasal dari tumbuh-tumbuhan. Kemurnian selulosa dan kemampuan terdegradasi yang tinggi, kekuatan mekanik yang unik dan bentuk struktur jaringan yang sangat baik yaitu keunggulan dari yang dimiliki oleh *Acetobacter xylinum* [30].

Selulosa bakteri tentunya dapat di kembangkan dengan *Acetobacter xylinum* kering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *starter* dari *Acetobacter xylinum* kering dapat dibuat dari berbagai jenis bahan seperti tepung maizena, dekstrin yang telah di pregelatinasi sebagai bahan pengikat yang dikeringkan dalam oven pada suhu 40°C sampai 500°C selama 24 Jam. Selulosa bakteri banyak dalam aplikasi dibidang medis. Hasil tersebut menunjukkan sebagian besar sifat fisik dan mekanik selulosa bakteri ini dapat digunakan sebagai referensi untuk aplikasi medis seperti pembalut luka [31]. Pemanfaatan selulosa bakteri selain digunakan sebagai penutup luka juga telah digunakan sebagai biomaterial untuk pembuluh darah buatan, kulit buatan, perancah untuk teknik rekayasa jaringan, dan pembalut luka karena sifat mekanik dan biologisnya yang sangat baik seperti kompatibilitas dan respons inflamasi yang rendah [32].

Selulosa bakteri masuk kedalam jenis selulosa tipe yang pertama yang terbentuk secara alami, metastabil, mengandung 1- α , yang dominan pada alga dan bakteri, dan 1- β yang merupakan komponen utama tanaman. memiliki dua *sub alomorf* dari Selulosa [28]. Selulosa bakteri berdiameter sekitar 2-20 nm dan panjang 100-40.000 nm. Selulosa yang dihasilkan lebih kuat, lebih tipis, dan lebih ringan dari selulosa yang berasal dari tumbuhan [31].

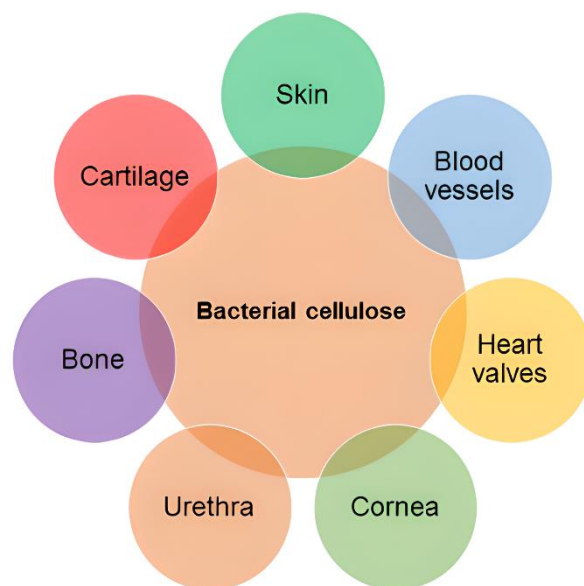
A. Karakteristik Selulosa Bakteri

- a) *High Purity*
- b) Kemampuan dalam menyerap air yang tinggi
- c) Tersusun secara paralel

- d) Metastabil
- e) Ukuran serat selulosa halus
- f) Jalinan serat yang rapi dan juga rapat
- g) Porositas tinggi
- h) *Water absorption* (Daya serap air)
- i) *Water holding capacity* (Daya Tampung air)
- j) *Tensile strength*
- k) Elastisitasnya yang tinggi
- l) *Biokompatibel, Nonpirogenik.*, dan Non Toksik [33].

Dalam studi saat ini, berdasarkan karakteristik dari Selulosa Bakteri maka dapat digunakan sebagai material yang tentunya memiliki keunggulan dalam penerapannya dalam penyembuhan luka diabetes [34].

Penerapan dari selulosa bakteri bisa di terapkan dalam berbagai aplikasi, spektrum *strain* mikroba yang luas tersedia untuk produksi selulosa bakteri, dan setelah melalui karakterisasi yang cermat, selulosa bakteri dapat diubah menjadi produk bernilai tambah [35]. Dalam konteks ini, sejumlah peneliti telah memusatkan perhatian mereka pada perancangan dan rekayasa produk berbasis selulosa bakteri yang ideal untuk aplikasi yang diinginkan. Penerapan biomedis dari bahan berbasis selulosa bakteri telah banyak dilakukan dan didokumentasikan dalam literatur terbaru. Ilustrasi di bawah ini memperlihatkan berbagai aplikasi biomedis dari bahan berbasis BC [33].



Gambar 2.3 Aplikasi selulosa bakteri [33]

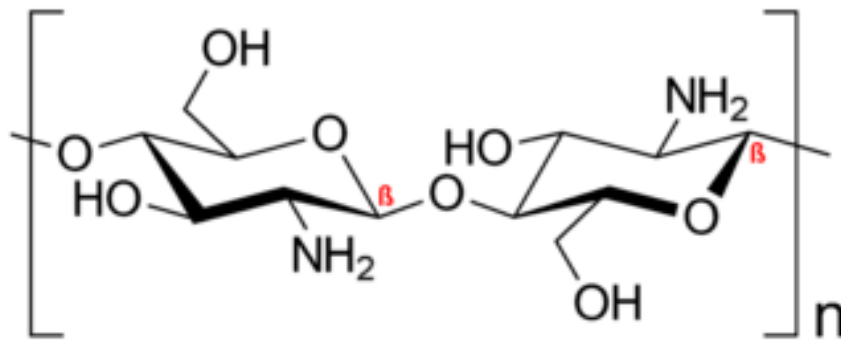
2.2.5. Kitosan

Kitosan merupakan material *biopolimer* alami paling banyak kedua setelah selulosa, produk destilasi kitin melalui reaksi kimia dan enzimatis [36]. Kitosan banyak digunakan dalam bidang medis karena bersifat *biokompatibel*, *biodegradable* dan tidak beracun. Secara khusus, digunakan sebagai biopolimer yang biasa dikombinasikan dengan bahan pengganti tulang dan gigi [37]. Kitosan juga banyak digunakan di berbagai industri lainnya, pembuangan limbah, terutama untuk meminimalkan kandungan logam berat (karena sifat *polielektrolit*), kosmetik, industri pertanian, industri tekstil [38]. Sifat Kitosan yang mudah larut dalam air, banyak anorganik dan organik asam. Selain itu, reaktivitas kimia dan biokimia dari kitosan lebih tinggi daripada kitin karena kitosan memiliki gugus amino primer bebas didistribusikan secara teratur dalam rantai molekulnya [39].

Kitosan otentik berisi pasukan amino (NH₂) yang sifatnya *polielektrolit*, berwarna putih kekuningan dan berbentuk padatan amorf. Kitosan umumnya larut dalam pelarut asam organik antara pH 4 dan 6,5 [40]. Keunggulan *chitosan* adalah bahan alami yang dapat digunakan dalam jumlah kecil (pekat). *Chitosan* memiliki muatan positif yang kuat dan dapat mengikat muatan negatif senyawa lain atau bertindak sebagai penangkal untuk menghambat pertumbuhan bakteri [13]. Kitosan merupakan produk *deasetilasi* kitin, suatu jenis material polimer yang memiliki rantai panjang *glukosamin* [41].

Kitosan disintesis dari limbah kulit udang dan dapat digunakan sebagai bahan pokok dalam pembuatan membran [42]. Namun, kenyataannya membran yang berbahan kitosan masih terdapat kekurangan. Kitosan tanpa menggunakan biokomposit maka derajat untuk pengembangannya akan kecil [43]. Selain itu, dari penelitian lain menyebutkan bahwa *membran* berbahan kitosan kurang berpori sehingga jika untuk diaplikasikan masih kurang baik karena sifat dan karakteristik yang dimiliki material kitosan ini [44]. Selain kitosan pemanfaatan polimer alam yang bersifat sama dengan *hydrogel* yaitu *Bacteria solulosa* yang memiliki daya serap yang tinggi dan dapat memberikan karakteristik yang dapat mirip seperti dengan kulit manusia [45].

Berbeda dengan kitin, kitosan menunjukkan kemudahan larut dalam larutan air yang mengandung berbagai jenis asam anorganik dan organik. Selain itu, reaktivitas kimia dan biokimia kitosan lebih tinggi dibandingkan kitin karena kitosan memiliki gugus amino primer bebas yang didistribusikan secara teratur dalam rantai molekulnya. Oleh karena itu, kitosan mendapat perhatian dunia karena kegunaan industrinya sebagai antimikroba, bahan biomedis, kosmetik, bahan tambahan makanan, pemisah, pembuangan limbah, bahan pertanian, dan sebagainya [42].



Gambar 2.4 Struktur kitosan [45]

2.2.6. Sifat Fisik dan Kimia Kitosan

Kitosan adalah polimer yang tidak beracun, biokompatibel, *biodegradable*, dan *polikationik* dalam kondisi asam. Sifat dari material kitosan dipengaruhi oleh berbagai kondisi, yaitu jenis pelarut yang digunakan, konsentrasi, waktu dan suhu proses ekstraksi. Kitosan diperoleh dalam berbagai bentuk morfologi, bahkan kitosan struktur yang tidak beraturan. Selain itu juga dapat berupa padatan amorf berwarna putih dengan struktur kristal padat kitin murni [46]. Kitosan yang dihasilkan dari *deasetilasi* kitin memiliki sifat larut dalam media asam. Kelarutan kitosan terjadi melalui *protonasi* gugus NH₂ pada posisi C2 dari *D-glucosamine repeat* unit [47].

Derajat *deasetilasi* secara signifikan dapat mempengaruhi sifat *fisikokimia* dan biologi kitosan. Turunan kitin dengan derajat *deasetilasi* lebih besar dari 50% disebut kitosan dan larut dalam larutan asam. Massa molekul merupakan parameter penting lainnya untuk menentukan sifat fisik kimia dan biologi kitosan. Berat molekul kitosan dipengaruhi oleh sumber kitin dan kitosan yang diperoleh dan menurun seiring dengan meningkatnya derajat destilasi [48].

2.2.7. *Acetobacter Xylinum*

Acetobacter xylinum merupakan salah satu jenis bakteri yang tergolong kedalam bakteri anaerob fakultatif yang sering kali digunakan dalam bidang medis dan bioteknologi. Bakteri *Acetobacter xylinum* sangat bermanfaat bagi manusia karena dapat menghasilkan produk yang seperti *nata*. *Acetobacter xylinum* memiliki bentuk batang Gram -negatif yang pendek dengan panjang 2 mikron dan memiliki dinding lendir. *Acetobacter xylinum* membentuk *Streptobacilli*. Berbentuk rantai dengan 6-8 unit sel [49].

Acetobacter xylinum merupakan jenis bakteri yang mampu menghasilkan senyawa biopolimer yang dikenal sebagai *bacterial cellulose* (BC). Bakteri ini terkenal karena kemampuannya mensintesis dan menghasilkan selulosa yang sangat murni dengan struktur serat yang lebih halus daripada selulosa yang dihasilkan oleh tumbuhan [30] *Acetobacter xylinum* dapat menghasilkan *nata* jika ditumbuhkan dengan proses yang terkontrol pada media yang kaya akan karbon (C) dan nitrogen (N). Jutaan mikroba tersebut tumbuh dalam medium dan menjalani aktivitas metabolisme untuk menghasilkan lembar benang selulosa. Utas ini akhirnya berubah dari warna menjadi transparan dan disebut *nata* [50].

Acetobacter xylinum merupakan bakteri tanah aerob dari famili yang dapat memfermentasi karbohidrat menjadi cuka atau asam (*A. aceti*). Biosintesis selulosa oleh *A. xylinum* berfungsi sebagai media untuk berbagai bakteri di lingkungan mikro. Sintesis membutuhkan perlindungan langsung bakteri dari permukaan udara untuk memastikan oksigen yang cukup, perlindungan dari sinar UV, dan perlindungan dari dehidrasi dengan mempertahankan kandungan air. Bakteri juga bertindak sebagai biofilm yang mencegah kolonisasi organisme [51].

Pemanfaatan selulosa bakteri sebagai bahan pembalut pada kulit terbakar sebelum proses pencangkokan kulit telah menjadi implementasi praktis. Selulosa ini, yang dihasilkan oleh *Acetobacter* melalui proses kultur *batch* statis, digunakan untuk tujuan sterilisasi, pembunuhan bakteri, dan pembersihan. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan lembaran atau membran selulosa yang efektif dalam mengeliminasi kontaminasi mikroba pada produk, menunjukkan potensi aplikatif yang luas dalam bidang pengobatan luka dan kebersihan produk medis [11].

2.2.8. Gliserol

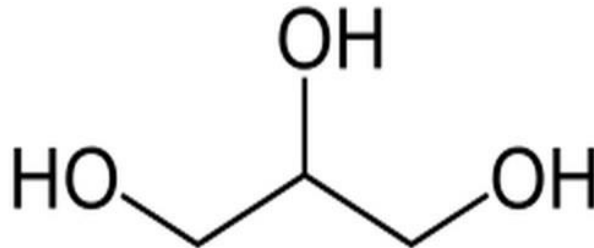
Gliserol adalah senyawa yang mempunyai tiga gugus hidroksil yang memiliki rumus senyawa yaitu $C_3H_5(OH)_3$. Gugus dari gliserol yaitu *Hidroksi alkoholik hidrofobik* yang bertugas untuk kelarutan air dan *higroskopisitasnya* [52]. Gliserol ini merupakan jenis senyawa yang berwarna bening (tidak berwarna) dan tidak memiliki bau [53]. Gliserol ini, menjadi salah satu jenis molekul yang sangat fleksibel karena dapat membentuk ikatan hidrogen intramolekul dan antarmolekul. Larutan dari gliserol sangat selalu dalam kondisi stabil dan kompatibel dengan bahan kimia lainnya, membuat hampa tidak menyebabkan iritasi dan ramah lingkungan dalam berbagai aplikasi. Gliserol dalam penelitian ini dapat ditambahkan ke dalam selulosa untuk meningkatkan elastisitas dari selulosa tersebut atau berperan sebagai *Plasticizer*[54].

Tabel 2.3 Sifat fisika dan kimia Gliserol

Rumus Molekul	$C_3H_5(OH)_3$
Bentuk	<i>Liquid</i>
Massa Molar	92,09 G/Mol
Titik Didih	290°C
Titik Lebur	18,2°C
Titik Leleh	17,9°C
Viskositas	1,412 Pa.S
Kelarutan	Larut dalam pelarut organik

Sifat fisik gliserol dapat diidentifikasi melalui karakteristiknya yang tidak memiliki bau, bersifat jernih, dan tidak berwarna. Di suhu kamar, gliserol menunjukkan kecenderungan untuk cepat menyerap air, dan dalam bentuk encer, gliserol dapat menjadi target serangan oleh mikroorganisme [55]. Selain itu, proses oksidasi gliserol menghasilkan berbagai produk dengan variasi tertentu tergantung pada kondisi reaksi yang diterapkan [53]. Pengembangan produk-produk melalui konversi gliserol memiliki sifat ramah lingkungan dan terbarukan karena tidak berasal dari turunan minyak bumi. Beberapa produk turunan gliserol yang berhasil dihasilkan melalui penelitian termasuk gliserol *triheptanoat*, gliserol *monostearat*, lesitin, *tri-tetra butil* gliserol (TTBG), dan *mono oleat* gliserida [30].

Gliserol diperoleh melalui beberapa metode produksi industri, termasuk proses transesterifikasi yang umumnya digunakan dalam industri biodiesel, proses saponifikasi yang menjadi bagian dari pembuatan sabun industri, dan proses hidrolisis yang terlibat dalam produksi asam lemak [30].



Gambar 2.5 Struktur Gliserol [53]

2.2.9. Biokomposit Selulosa

Bakteri biokomposit adalah bahan yang terdiri dari matriks pati atau resin yang diperkuat dengan serat alami, biasanya berasal dari selulosa. Biokomposit digunakan karena tentunya memiliki banyak keunggulan seperti ramah lingkungan dan dapat membantu mengurangi polusi. Untuk produksi dan peningkatan properti biokomposit ini, selulosa digunakan untuk struktur dan sifat berseratnya sebagai bahan yang dapat terurai secara hayati. Selulosa bakteri adalah selulosa yang dihasilkan oleh *Acetobacter xylinum* sp. ini adalah selulosa tumbuhan [11].

Komposisi biokomposit adalah sebagian dapat terurai secara hayati, terdiri dari matriks polimer yang tidak dapat terurai secara hayati seperti polimer termoplastik (misalnya, *polipropilen*, *polietilen*) yang dikombinasikan dengan polimer *termoseting* (misalnya, epoksi, poliester) atau terurai sepenuhnya secara hayati, matriks biopolimer terbarukan (plastik kedelai, plastik pati, plastik selulosa, dll.) atau matriks polimer *biodegradabel* berbasis minyak bumi (*kopolimer alifatik*, *poliesteramida*, dll.) tersusun dari komposit matriks polimer *biodegradabel* seperti [56]. Pada penelitian ini pembuatan komposit dilakukan dengan cara melakukan perendaman atau imersi selulosa bakteri yang telah dikeringkan ke dalam larutan campuran otolith dengan kolagen. Dalam bidang medis, selulosa bakteri dapat dirangkai dengan polimer alam lainnya dengan berbagai cara [57].

2.2.10. Uji FTIR

FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) adalah spektrometer yang digunakan untuk menganalisis senyawa kimia menggunakan radiasi infra merah. Alat ini dapat mengidentifikasi senyawa organik dan menganalisis gugus fungsi yang terdapat pada senyawa tersebut. Spektroskopi FTIR sering digunakan dalam analisis di bidang biomedis, termasuk pada sampel seperti tulang, rambut, sel hidup, kulit, penyembuhan luka, dan aplikasi medis lainnya. Sampel yang dapat diuji dengan instrumen ini meliputi emisi padat, cair, dan gas [40].

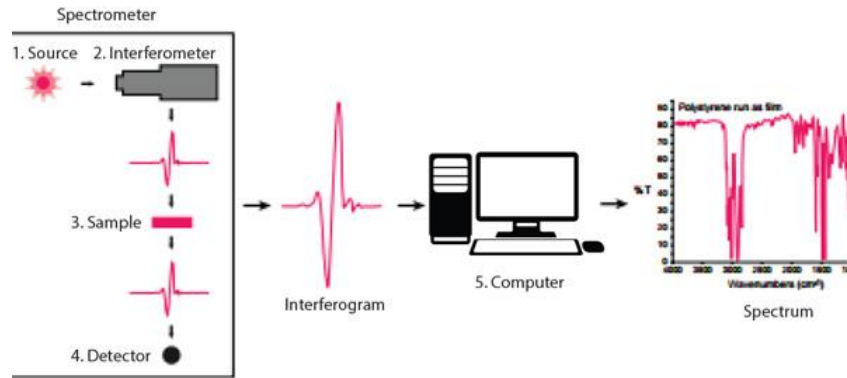
FTIR juga banyak digunakan dalam bidang farmasi untuk mengidentifikasi senyawa kimia, bahan aktif farmasi, eksipien (bahan tambahan obat), dan obat-obatan. FTIR adalah instrumen yang menggunakan radiasi infra merah untuk membantu mengidentifikasi gugus fungsi dalam zat (gas, cairan, atau padatan). Alat ini dapat digunakan untuk menganalisis struktur kimia bahan dengan memeriksa ikatan dan komposisi molekul. FTIR digunakan untuk mengukur serapan radiasi infra merah yang terjadi pada setiap ikatan molekul dan memberikan hasil berupa spektrum. Hasil spektral ini biasanya dinyatakan dalam transmisi (%) dan bilangan gelombang cm^{-1} [58].



Gambar 2.6 Alat FTIR (*Fourier Transform InfraRed*) [58]

Prinsip kerja dari alat FTIR ini yaitu Sinar *infrared* yang dipancarkan dari cahaya dan diarahkan ke interferometer. Kemudian terjadi pengkodean spektral untuk menghasilkan *interferogram*. Selanjutnya, berkas sinar mengenai bagian sampel, di mana dapat mengalami transmisi atau pantulan dari permukaan sampel. Berkas berakhir diarahkan ke detektor untuk menghasilkan sinyal *interferogram*,

yang selanjutnya didigitalkan dan dikirim ke komputer. Pada tahap ini, proses *Fourier* transformasi terjadi, dan spektrum inframerah akhir disajikan kepada pengguna untuk interpretasi dan manipulasi lebih lanjut. Lebih jelasnya perhatikan gambar 2.7 di bawah ini.

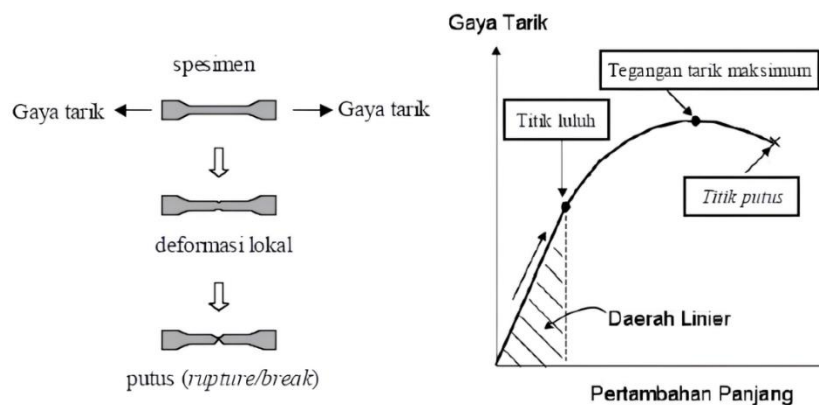


Gambar 2.7 Prinsip Kerja FTIR [11]

2.2.11. Uji Tarik (*Tensile Strength*)

Uji tarik merupakan uji mekanik *stress-strain* yang dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan suatu bahan terhadap gaya tarik. Dalam proses pengujian ini, bahan uji ditarik hingga putus. Tujuan dari uji tarik ini adalah untuk memperoleh parameter karakterisasi mekanik yang dapat diukur dan diamati pada suatu biomaterial. Hasil dari pengujian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai sifat tarik, kemampuan pemanjangan (kemuluran), dan modulus elastisitas biomaterial yang bersangkutan [59].

Sifat mekanik dari membran bakteri selulosa dapat dipahami melalui hasil uji kuat tarik (*strength at break*) dan kemampuan pemanjangan. Uji tarik umumnya dilakukan pada spesimen yang dibentuk menjadi batang uji dengan bentuk sesuai standar yang berlaku, untuk menilai sifat mekanik suatu bahan, termasuk tegangan (*stress*), regangan (*strain*), kekuatan tarik (*tensile strength*), dan modulus elastisitas (modulus *young*). Proses uji tarik bersifat merusak karena batang uji yang telah dibentuk mengalami penarikan hingga mengalami patah saat putus (*elongation at break*) dengan menerapkan gaya secara bolak-balik. Selama uji tarik, profil tarikan lengkap berupa kurva dapat diperoleh, mencerminkan hubungan antara gaya tarikan dan perubahan panjang [8].



Gambar 2.8 Gambaran singkat uji Tarik [60]

Perhitungan uji Tarik dapat digunakan dengan persamaan

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan :

Σ = Stress (N/m²)

A = Luas permukaan (m²)

F = Beban (N)

2.2.12. Uji Swelling

Uji ketahanan air (*swelling*) dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi kitosan pada membran bakteri selulosa terhadap persentase air yang diserap oleh membran. Nilai ini memiliki peran penting dalam menentukan sifat fisik membran, apakah membran tersebut kedap air atau tidak. Jika tingkat penyerapan air oleh membran melebihi 70%, membran cenderung menjadi lunak dan daya tahannya akan menurun. Selain itu, pembengkakan atau pengembangan membran dapat mengindikasikan adanya rongga antar ikatan dalam polimer. Karakteristik rongga ini dapat memengaruhi sifat mekanik polimer, di mana rongga yang lebih kecil cenderung memiliki sifat mekanik yang lebih tinggi [61].

$$DS = \frac{W_o - W_t}{W_o} \times 100 \% \quad (2.2)$$

Keterangan :

DS = Rasio *Swelling*

W_t = berat akhir membran setelah dilakukan perendaman pada PBS

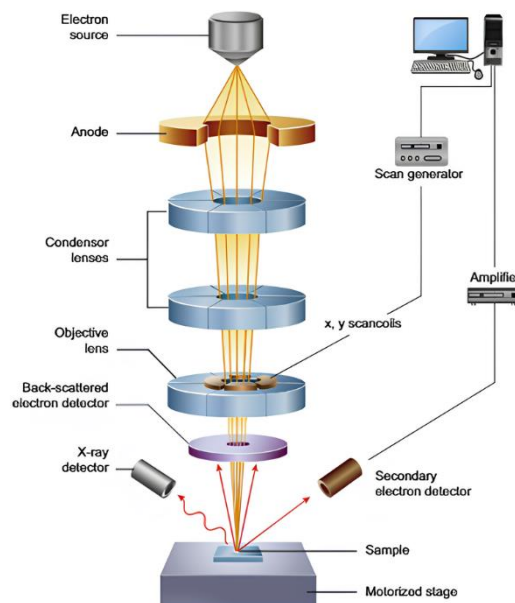
W_o = berat awal pada keadaan kering

2.2.13. Uji SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah alat mikroskop elektron yang digunakan untuk menghasilkan gambar-gambar permukaan sampel dengan resolusi yang tinggi dengan memindahi permukaan dengan sinar *electron* yang memiliki focus dengan pembesaran hingga skala tertentu. Alat SEM ini memiliki pembesaran sampai skala tertentu, resolusi yang baik dan SEM ini banyak digunakan untuk oleh para peneliti untuk melihat morfologi dan juga struktur dari sampel yang di uji [62].

Scanning Electron Microscope merupakan perangkat analisis mikroskopis yang terdiri dari sebuah senapan elektron yang menghasilkan berkas elektron pada tegangan yang dipercepat sebesar 2 - 30 kV. Berkas elektron ini kemudian melewati serangkaian lensa elektromagnetik untuk membentuk gambar dengan ukuran kurang dari 10 nm pada sampel. Proses ini dapat direkam dalam bentuk film fotografi atau ditampilkan pada tabung layer [63].

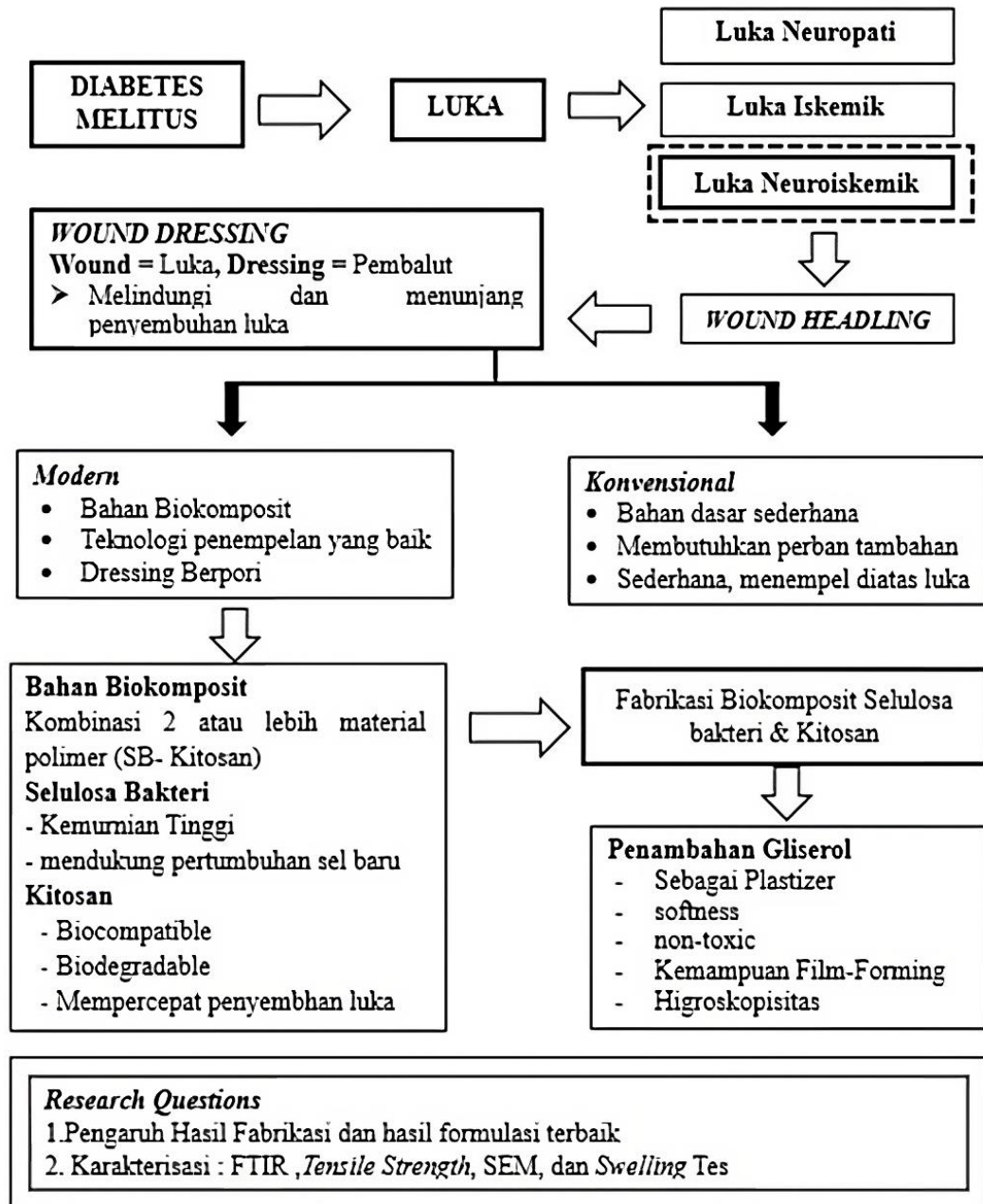
Sebelum melewati lensa elektromagnetik terakhir, *scanning* raster digunakan untuk mengarahkan dan mendeflasikan berkas elektron. Fungsi *scanning* ini memungkinkan pemindaian permukaan sampel, dan hasilnya disinkronkan dengan tabung sinar katoda. Gambar sampel muncul pada area yang dipindai, dan tingkat kontras yang terlihat pada tabung sinar katoda disebabkan oleh perbedaan hasil refleksi dari berbagai bagian sampel [64].



Gambar 2.9 Skema *Scanning Electron Microscopy* [62]

2.2.14. Kerangka Konsep Penelitian

Berdasarkan penelitian ini terkait penjelasan diatas dibuatkan kerangka penelitian yang dapat dilihat pada gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Kerangka konsep penelitian