

**ENKAPSULASI DAN KARAKTERISASI KURKUMIN  
MENGUNAKAN NANOPARTIKEL KITOSAN SEBAGAI  
ANTIBAKTERI PADA *Staphylococcus aureus***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**SULFIANY NURALIFAH**

**NPM 1917011077**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2026**

**ENKAPSULASI DAN KARAKTERISASI KURKUMIN MENGGUNAKAN  
NANOPARTIKEL KITOSAN SEBAGAI ANTIBAKTERI PADA  
*Staphylococcus aureus***

**Oleh**

**SULFIANY NURALIFAH**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Kimia**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2026**

## ABSTRAK

### ENKAPSULASI DAN KARAKTERISASI KURKUMIN MENGGUNAKAN NANOPARTIKEL KITOSAN SEBAGAI ANTIBAKTERI PADA *Staphylococcus aureus*

Oleh

SULFIANY NURALIFAH

Kurkumin merupakan senyawa turunan polifenol yang memiliki aktivitas farmakologis seperti antibakteri. Sifatnya yang tidak stabil dan bioavailabilitasnya yang rendah menjadi landasan dalam penerapan teknologi enkapsulasi pada penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan nilai efisiensi enkapsulasi NpK-Cur serta aktivitasnya sebagai antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus*.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Dasar dan Unit Penunjang Akademik Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi (UPA-LTSIT) Universitas Lampung, pada bulan Februari – Oktober 2023. Karakterisasi FTIR dan SEM dilaksanakan di Unit Penunjang Akademik Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi (UPA-LTSIT). Metode yang dilakukan pada penelitian ini meliputi isolasi kitosan, sintesis nanopartikel kitosan, enkapsulasi, dan uji antibakteri.

Derajat deasetilasi kitosan hasil isolasi diperoleh sebesar 80,54% dengan ukuran partikel sebesar 184,3 nm dan indeks polidispersitas (PdI) sebesar 0,327 yang diuji menggunakan PSA. Nilai efisiensi enkapsulasi sebesar 32,80% yang diukur menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Uji aktivitas antibakteri NpK-Cur dengan konsentrasi 1000 ppm menggunakan metode cakram terhadap *Staphylococcus aureus* menghasilkan rata-rata zona hambat sebesar 7 mm yang termasuk ke dalam kategori sedang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kurkumin yang terenkapsulasi masih sedikit dan aktif sebagai antibakteri. Berdasarkan data dan kesimpulan yang diperoleh, penelitian ini berpotensi menjadi dasar dalam pengembangan teknologi nanopartikel untuk penghantaran senyawa bioaktif.

Kata kunci: enkapsulasi, kitosan, kurkumin, nanopartikel.

## ABSTRACT

### ENCAPSULATION AND CHARACTERIZATION OF CURCUMIN- LOADED CHITOSAN NANOPARTICLES AS ANTIBACTERIAL AGAINST *Staphylococcus aureus*

By

SULFIANY NURALIFAH

Curcumin is a polyphenol-derived compound that exhibits pharmacological activity, including antibacterial properties. Its instability and low bioavailability have become the foundation for applying encapsulation technology in this study. This study aims to determine the encapsulation efficiency of curcumin-loaded chitosan nanoparticles (NpK-Cur) and evaluate its antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*.

This study was conducted in the Basic Chemistry Laboratory and the Academic Support Unit of the Integrated Laboratory for Technology Innovation Center (UPA-LTSIT) at the University of Lampung from February to October 2023. The FTIR and SEM characterizations were carried out at the Academic Support Unit of the Integrated Laboratory for Technology Innovation Center (UPA-LTSIT). The methods include chitosan isolation, chitosan nanoparticle synthesis, encapsulation, and antibacterial assay.

The degree of deacetylation (DD) of the isolated chitosan was 80.54%, with a particle size of 184,3 nm and a polydispersity index (PdI) of 0,327, as determined using PSA. Encapsulation efficiency, measured using UV-Vis spectrophotometry, was 32,80%. Antibacterial activity at 1000 ppm against *Staphylococcus aureus* using the disc-diffusion method showed an average inhibition zone of 7 mm which categorized as moderate. This results indicate that the amount of curcumin encapsulated within chitosan nanoparticles was relatively low, yet it still exhibited antibacterial activity. These findings suggest that this study may provide a basis for the development of nanoparticle-based systems for the delivery of bioactive compounds.

Keywords: encapsulation, chitosan, curcumin, nanoparticle

Judul Skripsi : ENKAPSULASI DAN KARAKTERISASI  
KURKUMIN MENGGUNAKAN  
NANOPARTIKEL KITOSAN SEBAGAI  
ANTIBAKTERI PADA *Staphylococcus aureus*

Nama Mahasiswa : *Sulfiany Nuralifah*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011077

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

**Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.**  
NIP. 197707132009122002

**Prof. Andi Setiawan, Ph.D.**  
NIP. 195809221988111101

2. Ketua Jurusan Kimia  
FMIPA Universitas Lampung

**Prof. Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**  
NIP. 197205302000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si. ....

Sekretaris

: Prof. Andi Setiawan, Ph.D.

Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Dian Herasari, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 2 Februari 2026

**SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sulfiyany Nuralifah  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011077  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“Enkapsulasi Dan Karakterisasi Kurkumin Menggunakan Nanopartikel Kitosan Sebagai Antibakteri Pada *Staphylococcus aureus*”** adalah benar karya saya sendiri baik gagasan, hasil, maupun analisisnya. Selanjutnya, saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana semestinya.

Bandar Lampung, 2 Maret 2026



Menyatakan,

Sulfiyany Nuralifah  
NPM. 1917011077

## RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Sulfiany Nuralifah, lahir di Bekasi pada tanggal 12 September 2001. Penulis merupakan anak tunggal dari Bapak Kemis dan Ibu Jumria. Penulis berdomisili di Kecamatan Jatiasih, Kota Bekasi, Jawa Barat.

Penulis mengawali pendidikan mulai dari Taman Kanak-Kanak (TK) Islam Madani yang diselesaikan pada tahun 2007, kemudian melanjutkan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri Jatiasih VIII dan selesai pada tahun 2013. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 9 Bekasi dan selesai pada tahun 2016, kemudian menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 6 Bekasi pada tahun 2019. Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai salah satu mahasiswi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non-akademik, diantaranya menyelesaikan Kelas Kewirausahaan Sosial yang diselenggarakan oleh FISIPOL Universitas Gajah Mada yang bekerja sama dengan PT Paragon Technology and Innovation dan kemudian dikonversi ke dalam Mata Kuliah Kewirausahaan pada tahun 2021. Penulis juga mengikuti program *Future Skills* FISIPOL Universitas Gajah Mada dengan mata kuliah *Green Planet and Future Living* yang bekerja sama dengan mitra industri GOJEK pada tahun 2022. Penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Unit Penunjang Akademik Laboratorium dan Sentra Inovasi (UPA LTSIT) Universitas Lampung. Penulis juga telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Kecamatan Jatibening, Kota Bekasi. Penulis pernah aktif mengikuti kelas bahasa Jerman *Deutscher Lernclub* yang diadakan oleh FMIPA UNILA serta aktif di Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Penelitian sebagai Anggota Departemen Hubungan Luar dan Pengabdian Masyarakat Periode 2020-2021.

**Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang**

*Alhamdulillahillobbil'alamin*

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam selalu disanjung agungkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Dengan segala kerendahan hati, ku persembahkan skripsi ini kepada:

**Kedua Orang Tuaku tercinta,**

**Bapak dan Mama** yang selalu memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang tiada henti kepada penulis. Terima kasih atas segala usaha dan doa yang telah diberikan hingga penulis berada di titik ini. Semoga Allah SWT memberikan perlindungan baik di dunia dan akhirat, amin.

**Keluarga besarku tercinta,**

**Neneng Indrayani, Hasti Pratiwi, serta Om dan Tante** yang telah mendukung dan banyak memberikan semangat dan doa kepada penulis untuk menjadi lebih baik selama masa perkuliahan. Semoga Allah membalas kebaikan kalian bahkan lebih baik.

**Keluarga Besar Kimia Angkatan 2019**

**Khususnya Teman-teman Kelas B dan Teman-teman *Peer Group* Kimia Analitik 2019** yang telah mendampingi penulis, memberikan semangat, motivasi, bantuan, serta dukungan kepada penulis selama masa perkuliahan. Semoga hal-hal baik selalu menyertai kalian.

**Almamaterku tercinta, Universitas Lampung**

## MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan, tetaplah bekerja keras untuk urusan yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmu lah hendaknya kamu berharap.”

(QS. Al-Insyirah : 4-6)

*“Allah doesn’t require of any soul more than what it can afford”*

(QS. Al-Baqarah : 286)

*“Wer noch nie einen Fehler gemacht hat, hat sich noch nie an etwas Neuem versucht.”*

(Albert Einstein)

“작아져 가는 각자의 빛, 높아져 가는 목표치. 속에 그대만의 색 있는 그대로  
더욱더 밝게 빛날 수 있길”

(Jeno Lee)

“걱정하지마 잘하고있어, 포기하지마라 할수있어. 어늘더떨어주자 화이팅”

(Chérie)

*“Sometimes, the questions are complicated – but the answers are simple.”*

(L Lawliet)

## SANWACANA

*Bismillahirrahmanirrahim,*

*Alhamdulillahillobbil'alamin.* Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas limpahan berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Enkapsulasi dan Karakterisasi Kurkumin Menggunakan Nanopartikel Kitosan Sebagai Antibakteri Pada *Staphylococcus aureus***” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains dari Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Skripsi ini dapat selesai berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Yandri A.S, M.S. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah mengarahkan penulis selama masa pendidikan agar dapat maksimal di setiap semester dan juga memotivasi penulis supaya bisa segera selesai. Semoga Bapak selalu dalam lindungan Allah SWT, aamiin.
2. Ibu Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu sabar membimbing penulis, memberikan masukan dan saran, serta memotivasi penulis agar bisa menyelesaikan studi. Semoga Ibu selalu diberikan kesehatan, aamiin.
3. Bapak Prof. Drs. Andi Setiawan, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama masa pendidikan, juga kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis selama bimbingan dan seminar. Semoga Bapak selalu dalam lindungan Allah SWT, aamiin.

4. Bapak Alm. Prof. John Hendri, M.Si., Ph.D. selaku Dosen Pembahas pada Seminar Proposal dan Seminar Hasil yang telah memberikan saran kepada penulis agar penelitiannya dapat berjalan maksimal dan agar penulis dapat berkembang lebih baik lagi kedepannya. Semoga Bapak ditempatkan di surga terbaik-Nya, aamiin.
5. Ibu Dr. Dian Herasari, M.Si. selaku Dosen Penguji Sidang Komprehensif yang telah meluangkan waktunya di Sidang Komprehensif.
6. Ibu Prof. Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang selalu mengingatkan dan memotivasi penulis agar bisa menyelesaikan studi.
7. Seluruh Dosen Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah mendidik dan memberikan banyak ilmu kepada penulis selama masa perkuliahan.
8. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak dan Mama yang tiada hentinya memberikan doa, kasih sayang, dukungan, perhatian, dan segala hal yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
9. Teman seperjuangan Ni Luh Research 2019, Sinur Angelina Putri dan Siti Solehati yang telah banyak membantu, menyemangati, dan berjuang bersama selama masa penelitian di lab.
10. Teman-teman ADS Research 2019, Fatur Rohim, Riski Pangestu, dan Reza Fadhila yang sudah banyak memberikan bantuan kepada penulis selama masa penelitian di lab.
11. Teman-teman “Mari Penelitian”, Natasya Nathaniela Akbar, Afif Alim Nasution, Febiana Nabila, Fatur Rohim, dan Alyaa Fathia Kesuma. Terima kasih sudah menemani penulis sejak awal perkuliahan, dan juga selama proses perkuliahan di ruang kelas. Terima kasih juga karena sudah banyak membantu serta memberikan saran kepada penulis selama perkuliahan.
12. Teman-teman Kimia 2019, khususnya Machrayana, Dian Rifani Muthia, Bayu Anggara Krisna, Virginia Nuh Reza Amanda, dan Jihan Nabila Yulfira yang sudah menemani dan membantu penulis di masa-masa akhir penulis menyelesaikan skripsi ini. Semoga kalian selalu diberikan kesehatan dan dimudahkan segala urusannya, aamiin.

13. Teman-teman *Sharing Uwu*, Siti Hanawiyah, Desi Talita Ramadani, dan Deanadine Tristi Sirait yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis hingga di titik ini. Terima kasih sudah saling mengasihi dan menguatkan satu sama lain untuk bisa menyelesaikan apa yang harus diselesaikan.
14. Pemilik NPM 2117011053, terima kasih atas doa dan semangatnya hingga penulis bisa melewati Seminar Hasil Penelitian dan Sidang Komprehensif dengan baik.
15. Adik-adik Kimia 2022, khususnya Nabila Putri Ananda dan M. Nashirul Haqq Cayaputra. Terima kasih banyak telah membantu dan menyemangati penulis di masa-masa akhir studi. Semoga urusan kalian selalu dipermudah, aamiin.
16. Adik-adik Ni Luh Research 2022, Anas, Utari, Desti, Aura, Trisna, Aknas, dan Amel. Terima kasih banyak sudah mendukung dan menyemangati penulis melewati fase akhir perkuliahan. Semoga urusan kalian selalu dipermudah, aamiin.
17. Keluargaku Kimia Kelas B 2019 yang telah banyak membantu dan membersamai penulis sejak awal perkuliahan di ruang kelas. Semoga urusan kalian selalu dipermudah Allah, aamiin.
18. Teman-teman *peer group* Kimia Analitik 2019.
19. Keluarga Besar Kimia Angkatan 2019.
20. Almamater tercinta, Universitas Lampung.
21. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih atas bantuannya hingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dengan baik.

Bandar Lampung, 2 Maret 2026  
Penulis

Sulfiany Nuralifah

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Kitin .....	4
2.2 Kitosan.....	5
2.3 Nanopartikel .....	6
2.4 Kurkumin.....	7
2.5 Enkapsulasi .....	8
2.6 Spektrofotometer UV-Vis.....	9
2.7 <i>Scanning Electrone Microscope</i> (SEM) .....	11
2.8 Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) .....	11
2.9 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	12
2.10 <i>Staphylococcus aureus</i> .....	13

<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	15
3.1 Waktu dan Tempat.....	15
3.2 Alat dan Bahan .....	15
3.2.1 Alat .....	15
3.2.2 Bahan.....	16
3.3 Metode Penelitian .....	16
3.3.1 Preparasi Serbuk Kulit Udang.....	16
3.3.2 Isolasi Kitin dari Kulit Udang .....	16
3.3.3 Deasetilasi Kitin Menjadi Kitosan.....	17
3.3.4 Sintesis Nanopartikel Kitosan .....	17
3.3.5 Enkapsulasi Nanopartikel Kitosan-Kurkumin (NpK-Cur).....	18
3.3.6 Efisiensi Penjerapan Kurkumin dalam Nanopartikel Kitosan.....	18
3.3.7 Uji Aktivitas Antibakteri .....	18
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	21
4.1 Preparasi Serbuk Kulit Udang .....	21
4.2 Isolasi Kitin.....	22
4.2.1 Deproteinasi.....	22
4.2.2 Demineralisasi .....	23
4.3 Deasetilasi Kitin Menjadi Kitosan.....	24
4.4 Sintesis Nanopartikel Kitosan.....	28
4.5 Enkapsulasi Nanopartikel Kitosan-Kurkumin (NpK-Cur).....	32
4.6 Efisiensi Enkapsulasi .....	35
4.7 Uji Aktivitas Antibakteri .....	36
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	40
5.1 Kesimpulan.....	40
5.2 Saran .....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	41
<b>LAMPIRAN</b> .....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perbandingan Data Serapan Kitosan .....	27
2. Perhitungan Derajat Deasetilasi Kitosan.....	28
3. Perhitungan Nilai Efisiensi Enkapsulasi .....	36
4. Pengukuran Zona Hambat Nanokitosan, Kurkumin, dan NpK-Cur .....	39

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Kimia Kitin .....	4
2. Struktur Kimia Kitosan .....	6
3. Skema Nanopartikel Polimer .....	7
4. Struktur Kimia Kurkumin .....	8
5. Enkapsulasi Menggunakan Gelasi Ionik.....	9
6. Skema Kerja Spektrofotometer UV-Vis .....	11
7. Skema Kerja Spektrofotometer FTIR .....	12
8. Koloni Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> .....	14
9. Skema Prosedur Penelitian.....	20
10. Serbuk Kulit Udang .....	21
11. Reaksi Pada Tahap Deproteinasi.....	22
12. Serbuk Kulit Udang Bebas Protein .....	23
13. Serbuk Kitin Hasil Isolasi .....	24
14. Mekanisme Reaksi Deasetilasi Kitin .....	25
15. Serbuk Kitosan Hasil Isolasi .....	26
16. Spektrum FTIR Kitosan Hasil Isolasi .....	26
18. Reaksi Protonasi Kitosan .....	29
18. Nanopartikel Kitosan .....	30
19. Reaksi Taut Silang Kitosan dengan NaTPP.....	30
20. Distribusi Ukuran Nanopartikel .....	31
21. Spektrum absorbansi UV-Vis Kurkumin .....	33
22. Hasil Enkapsulasi Kurkumin dalam Kitosan (NpK-Cur) .....	34
23. NpK-Cur Hasil <i>freeze-dry</i> .....	34
24. Mikrograf NpK-Cur (a) Perbesaran 10000 (b) Perbesaran 3000 .....	35
25. Diameter Zona Hambat Nanokitosan, Kurkumin, dan NpK-Cur .....	37

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara beriklim tropis yang dilalui oleh garis khatulistiwa memiliki potensi sumber daya alam di bidang pertanian berupa melimpahnya tanaman berkhasiat obat. Salah satu tanaman berkhasiat obat yang sering digunakan di masyarakat adalah kunyit. Kunyit banyak dibudidayakan karena kemampuannya dalam mengobati berbagai penyakit seperti ruam pada kulit, hipertensi, hiperkolesterolemia, arthritis, diabetes, hingga kanker. Senyawa-senyawa yang memiliki efek farmakokimia pada kunyit diantaranya kurkumin, minyak atsiri, flavonoid, tanin, alkaloid, dan saponin (Muadifah *et al.*, 2019). Kunyit juga terbukti mengandung bahan-bahan yang berfungsi sebagai antibakteri, salah satunya pada bagian rimpang yang mengandung senyawa kurkumin (Soegiantoro *et al.*, 2021).

Pada serbuk rimpang kunyit, kurkumin termasuk ke dalam golongan diarylheptanoid dengan kandungan sebesar 3-15%. Kurkumin diketahui memiliki beberapa aktivitas farmakologis seperti antidiabetes, antiinflamasi, antikanker, antioksidan, antijamur, dan antibakteri. Walaupun kurkumin memiliki efek farmakologis yang baik, tetapi senyawa ini juga diketahui memiliki kelemahan berupa sifatnya yang tidak stabil dan bioavailabilitasnya yang rendah (Hettiarachchi *et al.*, 2021).

Bioavailabilitas kurkumin yang rendah disebabkan karena kelarutannya yang rendah di dalam air, tidak stabil secara kimia, serta sifat farmakokinetiknya yang rendah. Sementara itu, ketidakstabilan kurkumin disebabkan karena adanya gugus aktif metilen (-CH<sub>2</sub>-) yang diapit oleh kedua gugus keton. Ketidakstabilan kurkumin dapat meningkat apabila berada pada kondisi basa dan lingkungan yang berair. Kondisi tersebut menyebabkan kurkumin mudah mengalami hidrolisis serta terdegradasi menjadi vanillin, asam ferulat, dan feruloymetana.

Bioavailabilitas dan stabilitas yang buruk dapat mempengaruhi fungsi klinis kurkumin pada penggunaan oral (Anisa *et al.*, 2022). Oleh karena itu, beberapa strategi telah dikembangkan untuk meningkatkan kestabilan kurkumin seperti modifikasi teknik penghantaran berupa nanopartikel, liposom, nanopartikel lipid padat, kompleks inklusi, dan polimer misel.

Penggunaan teknologi nanopartikel diketahui mampu meningkatkan bioavailabilitas dan efisiensi pengantaran senyawa obat, serta meningkatkan aktivitas antibakteri (Yetisgin *et al.*, 2020). Salah satu material yang sedang dikembangkan pemanfaatannya dalam bidang nanoteknologi adalah kitosan. Kitosan memiliki sifat khas dibandingkan dengan polisakarida lainnya, yaitu bersifat polielektrolit kationik. Sifat ini berhubungan dengan adanya gugus amino dan hidroksil yang terikat. Kedua gugus tersebut menyebabkan kitosan memiliki reaktivitas tinggi (Nair *et al.*, 2019).

Penggunaan nanopartikel kitosan diketahui menunjukkan aktivitas antibakteri yang efektif terhadap *E.coli*, *S.choleraesuis*, *S.typhimium*, dan *S.aureus* dengan nilai MIC (*Minimum Inhibitory Concentration*) berkisar 0,001 sampai 0,16 g.ml<sup>-1</sup>. Saat ini, kitosan juga telah disetujui oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan Amerika Serikat (FDA) dengan status GRAS (*Generally Recognized as Safe by FDA*) (Yan *et al.*, 2021). Partikel nano yang disintesis dari kitosan memiliki sifat mukoadesif. Sifat tersebut memungkinkan partikel nano melekat pada membran mukus sehingga waktu pelepasan atau penyerapan obat yang dienkapsul berlangsung lebih lama (Silva *et al.*, 2017). Oleh karena itu, nanopartikel kitosan dipilih sebagai bahan enkapsulasi kurkumin dan hasil yang diperoleh akan diuji sebagai antibakteri pada *Staphylococcus aureus*.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini berfokus pada penentuan efisiensi enkapsulasi kurkumin serta pengukuran efektivitas nanopartikel kitosan-kurkumin (NpK-Cur) secara kualitatif sebagai antibakteri pada *Staphylococcus aureus*. Nanopartikel kitosan yang disintesis melibatkan reaksi *crosslinking* antara kitosan dengan Natrium Tripolifosfat (NaTPP), dimana kitosan yang digunakan diperoleh dari serbuk kitin hasil isolasi kulit udang yang selanjutnya mengalami proses deasetilasi. Kurkumin yang digunakan merupakan kurkumin standar (Merck), serta bakteri *Staphylococcus aureus* dibiakkan dan dikultur dari isolatnya.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menentukan efisiensi enkapsulasi kurkumin dalam nanopartikel kitosan (NpK-Cur).
2. Menentukan efektivitas hasil enkapsulasi kurkumin dalam nanopartikel kitosan (NpK-Cur) sebagai antibakteri pada *Staphylococcus aureus*.

## **1.3 Manfaat Penelitian**

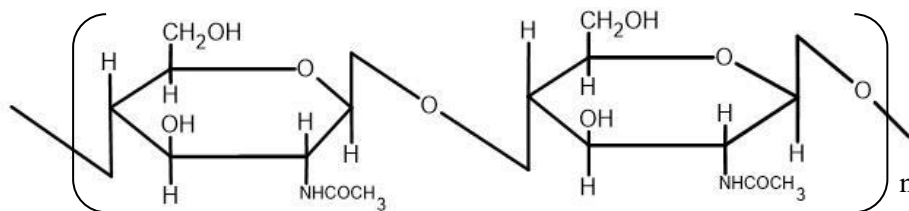
Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu mendapatkan informasi mengenai nilai efisiensi enkapsulasi kurkumin dengan penyalut kitosan (NpK-Cur) serta efektivitasnya sebagai antibakteri pada *Staphylococcus aureus*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kitin

Kitin merupakan biopolimer kedua yang tersedia melimpah di bumi setelah selulosa yang dihasilkan oleh krustasea, moluska, serangga, dan beberapa jenis jamur. Kitin terbentuk dari unit-unit N-asetil-D-glukosamin. Sumber alami utama kitin berasal dari kulit udang dan kulit kepiting yang merupakan produk samping melimpah dari industri pengolahan makanan. Limbah kulit udang sendiri mengandung tiga komponen utama yaitu protein, kalsium karbonat, dan kitin (Setiati dkk., 2021).

Kandungan kitin yang terdapat di dalam limbah kulit udang sebesar 20%-50% berat keringnya. Kitin memiliki nilai ekonomi yang tinggi karena keberadaannya dapat dimanfaatkan di bidang biologi industri dan biomedis. Sifat kitin yang tidak beracun dan mudah terdegradasi menjadi dasar pengoptimalan penggunaan kitin di berbagai bidang. Pada kulit udang, kitin berperan sebagai mukopolisakarida yang terikat dengan garam organik yaitu kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), protein, lipid, dan pigmen (Abidin *et al.*, 2020). Oleh karena itu, kitin yang diisolasi dari kulit udang mengalami proses deproteinasi dan demineralisasi. Struktur dari kitin ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Kimia Kitin

## 2.2 Kitosan

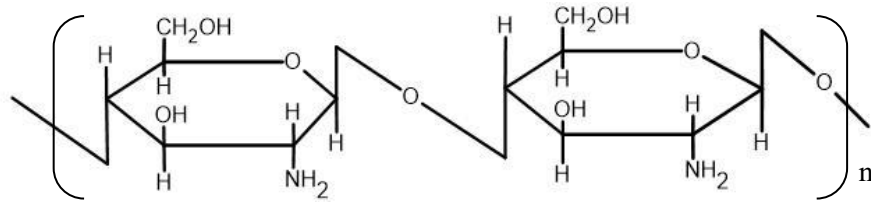
Kitosan merupakan polisakarida turunan kitin dengan struktur ( $\beta$ -(1-4)-2-amina-2-deoksi-D-glukosa) yang termasuk ke dalam golongan polimer kationik dan dapat dihasilkan melalui proses penghilangan gugus asetil ( $-\text{COCH}_3$ ) menjadi gugus amina ( $-\text{NH}_2$ ) menggunakan larutan alkali. Kitosan lebih larut dibandingkan dengan kitin karena adanya gugus amina pada C-2. Kitosan bersifat tidak larut dalam air, tetapi larut dalam beberapa pelarut asam seperti asam asetat, asam sitrat, asam format, dan asam laktat (Li *et al.*, 2020).

Kitosan memiliki derajat deasetilasi yang menyatakan banyaknya jumlah gugus amina dalam rantai molekul yang berpengaruh terhadap aktivitas biologis kitosan. Derajat deasetilasi kitosan juga mempengaruhi kelarutan, kristalinitas, viskositas, dan tegangan permukaan kitosan (Li *et al.*, 2020). Kitosan diketahui memiliki aktivitas antimikroba terhadap beberapa organisme target seperti bakteri dan jamur. Penelitian sebelumnya (Yan *et al.*, 2021) melaporkan bahwa mekanisme utama aktivitas antibakteri dan antijamur pada kitosan sebagai berikut:

1. Mencegah permeabilitas sel terhadap bahan utama karena adanya interaksi elektrostatik antara kitosan yang bermuatan positif dengan gugus yang bermuatan negatif pada permukaan sel.
2. Pengikatan kitosan pada DNA sel melalui gugus amina terprotonasi yang menyebabkan penghambatan sintesis RNA mikroba.

Mekanismenya aktivitas antibakteri dan antijamur pada kitosan dapat berupa salah satunya atau kombinasi dari keduanya.

Penggunaan kitosan sebagai bahan penyalut memiliki keunggulan berupa tidak beracun, biokompatibel (tidak menyebabkan penolakan dari sistem imun), dan memiliki daya tahan tinggi terhadap aktivitas antimikroba dan antijamur (Pakizeh *et al.*, 2021). Struktur dari kitosan ditunjukkan pada Gambar 2.

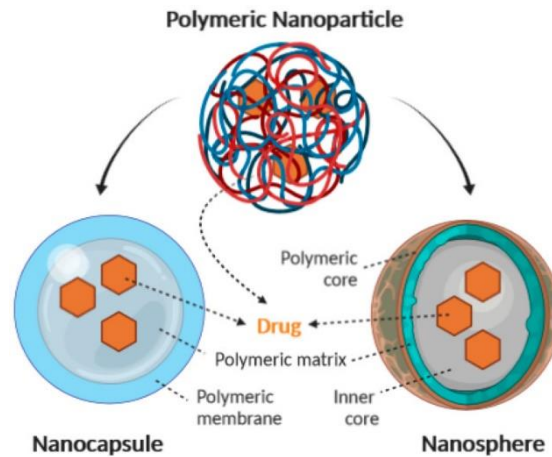


Gambar 2. Struktur Kimia Kitosan

### 2.3 Nanopartikel

Nanopartikel pada umumnya didefinisikan sebagai material berukuran 1-100 nm. Ukurannya yang kecil serta kemampuannya untuk dimodifikasi pada bagian permukaan membuat material ini banyak diaplikasikan di berbagai bidang. Berdasarkan jenis material penyusunnya, nanopartikel diklasifikasikan ke dalam tiga kategori yaitu nanopartikel organik, anorganik, dan nanopartikel berbasis karbon. Contoh nanopartikel organik yaitu liposom, nanopartikel polimer, dan nanopartikel berbasis dasar karbohidrat. Adapun contoh dari nanopartikel anorganik yaitu nanopartikel silika, nanopartikel titanium oksida, dan nanopartikel emas. Sementara itu, contoh nanopartikel berbasis karbon diantaranya nanopartikel fulleren, grafena, dan nanopartikel karbon hitam (Eker *et al.*, 2024).

Dalam bidang farmasi, teknologi nanopartikel digunakan sebagai sistem penghantaran obat dengan cara memerangkap atau mengenkapsulasi molekul obat ke dalam polimer. Nanopartikel tersebut dikenal dengan istilah nanopartikel polimer. Nanopartikel polimer memiliki ukuran dengan rentang 1 hingga 1000 nm yang dapat digunakan untuk menjerap senyawa aktif di dalam matriks polimer. Nanopartikel polimer mengacu pada istilah nanokapsul dan nanosfer yang dibedakan berdasarkan morfologinya. Nanokapsul merupakan sistem reservoir yang terdiri dari inti cair yang dikelilingi oleh cangkang polimer yang bertugas mengontrol pelepasan bahan obat dari inti, sedangkan nanosfer didasarkan pada jaringan polimer kontinu sebagai suatu sistem yang mendispersi senyawa obat ke dalam matriks (Zielińska *et al.*, 2020).



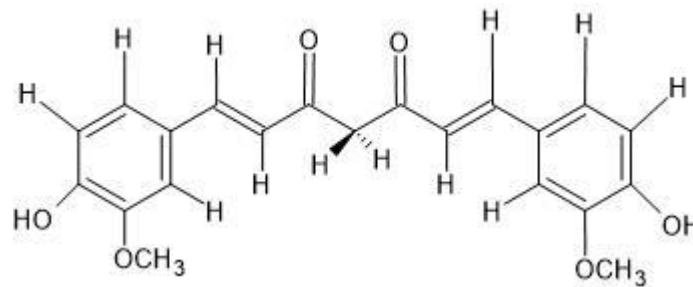
Gambar 3. Skema Nanopartikel Polimer (Zielińska *et al.*, 2020)

Polimer yang digunakan untuk membentuk nanopartikel dapat berupa polimer sintetik atau alami. Salah satu polimer yang dapat digunakan dalam formulasi nanopartikel adalah kitosan. Menurut (Yusefi *et al.*, 2021) nanopartikel kitosan umumnya disintesis menggunakan metode gelasi ionik. Prinsip pembentukan nanopartikel dengan metode gelasi ionik berupa interaksi elektrostatis antara gugus amina pada kitosan yang bermuatan positif dengan polianion NaTPP yang bermuatan negatif membentuk struktur intramolekul tiga dimensi.

## 2.4 Kurkumin

Kurkumin adalah senyawa turunan dimer asam ferulat yang terdiri dari dua cincin o-metoksifenol yang dihubungkan oleh rantai heptadienadion. Kurkumin memiliki rumus kimia  $C_{21}H_{20}O_6$  dengan berat molekul 368,38 g/mol. Kurkumin memiliki pigmen alami berwarna kuning oranye yang banyak ditemukan pada rimpang kunyit (*Curcuma longa*). Kurkumin (1,7-bis(4-hidroksi-3-metoksifenil)-1,6-heptadiena-3,5-dion) diketahui menunjukkan aktivitas antioksidan, antibakteri, antijamur, antivirus, antimikroba, antikanker, antidepresan, dan neuroprotektif. Kurkumin juga mampu menghambat pertumbuhan beberapa bakteri, termasuk *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* (Adamczak *et al.*, 2020).

Meskipun begitu, kurkumin diketahui juga memiliki kekurangan berupa sifatnya yang tidak larut di dalam air, tidak stabil, menunjukkan bioavailabilitas yang rendah, absorpsi yang buruk, serta cepat tereliminasi oleh tubuh. Beberapa pelarut organik seperti etanol, metanol, aseton, dan dimetil sulfoksida digunakan untuk melarutkan kurkumin karena kurkumin tidak larut di dalam air (Trigogutierrez *et al.*, 2021). Struktur dari kurkumin ditunjukkan pada Gambar 4.

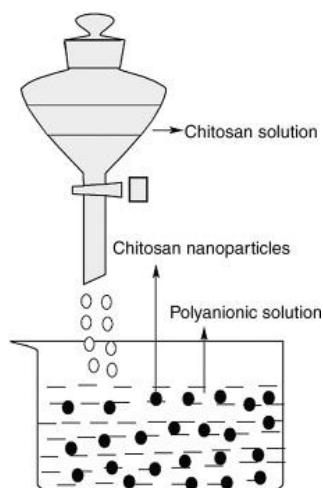


Gambar 4. Struktur Kimia Kurkumin

## 2.5 Enkapsulasi

Enkapsulasi didefinisikan sebagai metode pengemasan atau pelapisan bahan aktif baik dalam bentuk padat, cair, maupun gas dalam suatu matriks. Enkapsulasi digunakan untuk melindungi dan mengontrol pelepasan bahan aktif untuk meminimalisasi efek samping yang dapat terjadi pada kondisi tertentu (Akpo *et al.*, 2024). Beberapa metode enkapsulasi yang menggunakan nanopartikel kitosan diantaranya *molecular self-assembly*, desolvasi, koaservasi kompleks, liofilisasi, *nanospray drying*, nanoemulsi, dan gelasi ionik (Santo *et al.*, 2021).

Enkapsulasi menggunakan metode gelasi ionik memiliki beberapa keunggulan diantaranya tidak memerlukan suhu tinggi, sangat cocok untuk senyawa yang tidak stabil, tidak memerlukan pelarut organik, serta mampu menjerap senyawa bioaktif dengan kecepatan tinggi (Santo *et al.*, 2021). *Crosslinker* polianion yang paling banyak digunakan pada gelasi ionik adalah natrium tripolifosfat. Natrium tripolifosfat dipilih sebagai agen *crosslinker* dikarenakan sifatnya yang relatif aman dan multivalen (Silva *et al.*, 2025). Skema enkapsulasi menggunakan metode gelasi ionik ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Enkapsulasi Menggunakan Gelasi Ionik (Silva *et al.*, 2025).

## 2.6 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan metode analisis yang menggunakan panjang gelombang UV (180-380 nm) dan *visible* (380-780 nm) sebagai daerah serapan untuk mendeteksi senyawa yang memiliki gugus kromofor dan auksokrom. Kromofor adalah molekul atau bagian molekul yang mengabsorpsi sinar dengan kuat di daerah UV-Vis misalnya heksana, aseton, asetilen, benzena, karbonil, karbondioksida, karbonmonoksida, dan gas nitrogen. Auksokrom adalah gugus fungsi yang mengandung pasangan elektron bebas dan terikat secara kovalen tunggal pada kromofor sehingga mampu meningkatkan intensitas dan/atau menggeser panjang gelombang serapan cahaya dalam spektrum UV-Vis. Contoh gugus auksokrom, misalnya gugus hidroksil (-OH), amina (-NH<sub>2</sub>), halida, dan alkoksi (-OR) (Suhartati, 2017).

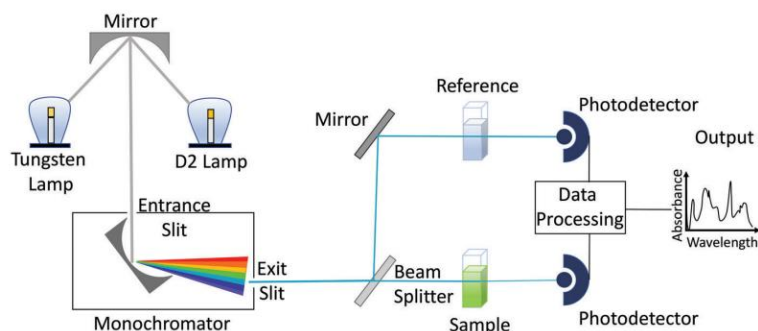
Terdapat dua jenis spektrofotometer UV-Vis yaitu spektrofotometer UV-Vis berkas tunggal (*single beam*) dan berkas rangkap (*double beam*). Pada spektrofotometer UV-Vis *single beam*, cahaya hanya melewati satu arah sehingga nilai yang diperoleh hanya nilai absorbansi dari larutan yang dimasukkan. Sementara pada spektrofotometer UV-Vis *double beam*, pengukuran dapat dilakukan secara bersamaan antara kuvet yang berisi larutan sampel dengan kuvet yang berisi larutan blanko. Spektrofotometer UV-Vis dapat digunakan untuk

penentuan sampel yang berupa larutan, gas, atau uap. Pada umumnya sampel harus diubah menjadi suatu larutan yang jernih. Terdapat beberapa persyaratan untuk pelarut yang dipakai pada sampel yang berupa larutan diantaranya:

1. Harus melarutkan sampel dengan sempurna.
2. Pelarut yang dipakai tidak mengandung ikatan rangkap terkonjugasi pada struktur molekulnya dan tidak berwarna (tidak boleh mengabsorpsi sinar yang dipakai oleh sampel).
3. Tidak terjadi interaksi dengan molekul senyawa yang dianalisis.
4. Kemurniannya harus tinggi (Suhartati, 2017).

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis didasarkan pada Hukum Lambert-Beer yaitu seberkas sinar dilewatkan oleh suatu larutan pada panjang gelombang tertentu sehingga sinar tersebut sebagian ada yang diteruskan dan sebagian lainnya diserap oleh larutan. Besarnya absorbansi yang dihasilkan berbanding lurus dengan konsentrasi zat penyerap dan jarak yang ditempuh sinar dalam larutan. Spektrofotometer UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometer UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif (Rocha *et al.*, 2018).

Secara umum sistem spektrofotometer UV-Vis terdiri atas sumber radiasi, monokromator, kuvet, detektor, dan *display*. Sumber radiasi berfungsi menghasilkan cahaya atau energi elektromagnetik yang diperlukan dalam proses analisis. Monokromator berfungsi memecah cahaya polikromatis menjadi monokromatis yang kemudian digunakan sesuai dengan kebutuhan panjang gelombang yang diinginkan. Kuvet berfungsi sebagai tempat untuk menampung larutan sampel yang akan dianalisis. Detektor berfungsi mengubah energi cahaya yang ditransmisikan oleh sampel menjadi sinyal listrik. Sinyal ini kemudian dikonversi menjadi data absorbansi oleh sistem pengolah data. *Display* pada spektrofotometer UV-Vis berfungsi menampilkan hasil pengolahan data dalam bentuk angka atau grafik seperti nilai absorbansi, transmitansi, panjang gelombang, dan konsentrasi (Yudono, 2017). Skema kerja spektrofotometer UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema Kerja Spektrofotometer UV-Vis (Rocha *et al.*, 2018)

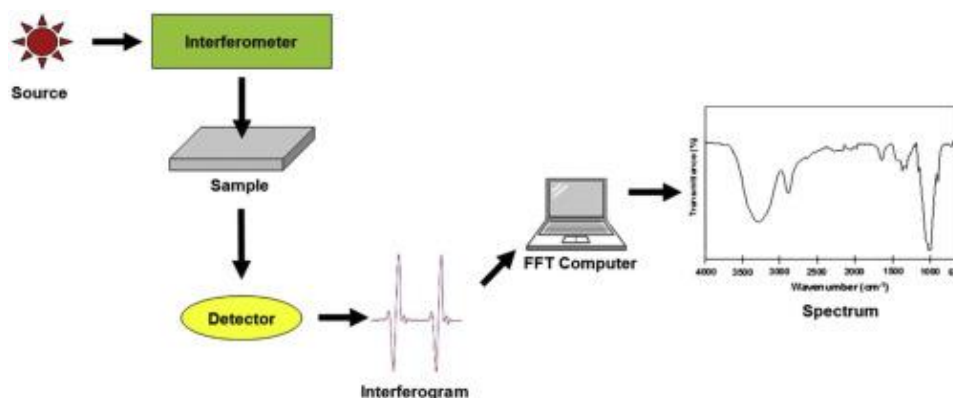
## 2.7 Scanning Electron Microscope (SEM)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang menggambarkan morfologi spesimen dengan cara pemindaian menggunakan elektron berenergi tinggi. Prinsip kerja SEM berupa identifikasi bentuk morfologi dan topografi sampel menggunakan sinar elektron yang selanjutnya diubah menjadi gambar. Pada SEM, gambar hasil susunan dan ukuran pori dapat digunakan untuk menentukan sifat mekanik material (Reys *et al.*, 2017).

## 2.8 Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

*Fourier Transformed Infrared* (FTIR) merupakan salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa, dan menganalisis campuran dari suatu sampel tanpa merusak sampel (Subamia dkk., 2023). Daerah inframerah pada spektrum gelombang elektromagnetik dimulai dari panjang gelombang  $14000\text{ cm}^{-1}$  hingga  $10^{-1}$ . Berdasarkan panjang gelombang tersebut, daerah inframerah dibagi menjadi tiga daerah, yaitu IR dekat ( $14000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ ) yang peka terhadap vibrasi *overtone*, IR sedang ( $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ ) berkaitan dengan transisi energi vibrasi dari molekul yang memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut, dan IR jauh ( $400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$ ) untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa anorganik (Nugroho dkk., 2024).

Prinsip kerja dari FTIR yaitu mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap senyawa tersebut. Pola absorbansi yang diserap oleh tiap-tiap senyawa berbeda-beda, sehingga senyawa-senyawa dapat dibedakan dan dikuantifikasikan. FTIR secara umum bekerja dengan mengubah cahaya *infrared* polikromatik menjadi beberapa berkas cahaya yang membentuk sinyal interferogram. Sinyal tersebut dilewatkan pada sampel dan ditangkap oleh detektor yang terhubung ke komputer sehingga dihasilkan gambar spektrum sampel yang diuji. Spektrum tersebut menunjukkan hubungan antara intensitas serapan sampel dan bilangan gelombang (Subamia dkk., 2023). Skema kerja Spektrofotometer FTIR ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema Kerja Spektrofotometer FTIR (Subamia dkk., 2023)

## 2.9 Particle Size Analyzer (PSA)

*Particle Size Analyzer* (PSA) merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel berukuran nanometer. Prinsip pengukuran pada PSA didasarkan pada *dynamic light scattering* (DLS) yang memanfaatkan hamburan sinar inframerah. Cahaya yang dibiaskan pada sudut  $173^\circ$  akan ditangkap oleh detektor untuk menghasilkan zeta potensial. Cahaya yang dihamburkan pada  $90^\circ$  akan ditangkap oleh detektor untuk menghasilkan diameter, berat molekul, dan distribusi ukuran partikel (Yusuf dkk., 2020).

PSA dapat diaplikasikan pada material padat, suspensi, emulsi, dan aerosol. Pengukuran menggunakan PSA diketahui lebih akurat dibandingkan dengan alat-

alat lain seperti XRD dan SEM. Hal ini dikarenakan partikel didispersikan ke dalam media sehingga ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari partikel tunggal. Hasil pengukuran PSA juga tersedia dalam bentuk distribusi sehingga dapat diketahui kondisi keseluruhan sampel (Yunida dkk., 2021)

## 2.10 *Staphylococcus aureus*

*Staphylococcus aureus* merupakan bakteri gram positif yang memiliki bentuk kokus dengan diameter 0,7-1,2  $\mu\text{m}$ . *Staphylococcus aureus* terlihat bergerombol secara tidak teratur menyerupai buah anggur jika diamati menggunakan mikroskop. Bakteri ini tidak membentuk spora dan tidak aktif bergerak.

*Staphylococcus aureus* merupakan bakteri yang bersifat anaerob fakultatif, artinya bakteri ini bisa tumbuh baik dengan adanya oksigen (aerob) maupun tanpa oksigen (anaerob), meskipun pertumbuhannya lebih cepat dalam kondisi aerobik.

*Staphylococcus aureus* dapat tumbuh pada suhu 15 hingga 45°C dengan suhu optimum 35°C (Pitaloka dkk., 2025).

Klasifikasi bakteri *Staphylococcus aureus* sebagai berikut:

Kingdom : *Bacteria*

Filum : *Firmicutes*

Kelas : *Bacilli*

Ordo : *Bacillales*

Famili : *Staphylococcaceae*

Genus : *Staphylococcus*

Spesies : *Staphylococcus aureus*

*Staphylococcus aureus* umumnya berada pada kulit, hidung, dan selaput lendir manusia sebagai tempat kolonisasi dibandingkan infeksi. Bakteri ini dapat menjadi bakteri patogen yang menyebabkan infeksi apabila masuk ke jaringan bawah kulit lalu merusak leukosit dan sel inang lainnya sebagai akibat dari sekresi sitotoksin. Infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Staphylococcus aureus* bisa berupa bisul nanah (abses) dan impetigo. Proses infeksi dapat terjadi melalui udara, debu, limbah, air, makanan, dan peralatan makan (Salim dkk., 2023).

*Staphylococcus aureus* memiliki antigen, enzim, dan toksin yang berperan sebagai faktor virulensi dan patogenisitas pada saat proses infeksi. Struktur antigen yang diproduksi oleh *Staphylococcus aureus* diantaranya adalah peptidoglikan, asam teikoat, dan protein A (Nikolic dan Mudgil, 2023). Lapisan peptidoglikan berjumlah 60% dari berat kering dinding sel dan merupakan komponen utama dari dinding sel bakteri. Asam teikoat merupakan gliserol atau ribitol fosfat yang berkaitan dengan peptidoglikan dan dapat bersifat antigenik. Protein A adalah protein yang menempel kuat pada dinding sel bakteri dan berfungsi mengikat domain konstan (Fc) dari antibodi IgG inang. *Staphylococcus aureus* dapat menginfeksi melalui pembentukan toksin dan enzim. Beberapa toksin dan enzim yang dihasilkan oleh bakteri ini diantaranya koagulase, katalase, leukosidin, toksin eksoliatif, dan toksin sindroma syok toksik (TSST-1) (Touaitia *et al.*, 2025). Morfologi koloni bakteri *Staphylococcus aureus* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus* (Salim dkk., 2023)

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Februari hingga Oktober 2023 di Laboratorium Kimia Dasar dan Unit Penunjang Akademik Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi (UPA-LTSIT) Universitas Lampung. Karakterisasi FTIR dan SEM dilaksanakan di Unit Penunjang Akademik Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi (UPA-LTSIT). Karakterisasi spektrofotometer UV-Vis dilaksanakan di Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia Universitas Lampung, dan karakterisasi PSA dilaksanakan di Laboratorium Universitas Indonesia.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan yaitu alat-alat gelas (gelas beaker, gelas ukur, labu ukur, pengaduk kaca, erlenmeyer, pipet tetes, corong kaca, corong pisah, kaca arloji, labu leher tiga, cawan petri), spatula, saringan, neraca analitik Wiggens Hauser, *heating magnetic stirrer* Wiggens Hauser HPS 630, jarum ose, mikropipet Volac Smart Gen-Next Pipette (1-100  $\mu\text{L}$ ), mikropipet Volac Smart Gen-Next Pipette (100-1000  $\mu\text{L}$ ), pinset, botol vial, *microtube*, *freeze-dryer* Labfreez Instrument model FD-10-MR, autoklaf Tomy SX-700 *High Pressure Steam Sterilizer*, spektrofotometer UV-Vis Agilent Cary 100, Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR) Agilent Technologies Cary 630, *Particle Size Analyzer* (PSA) Malvern Instruments Ltd., *Scanning Electron Microscope* (SEM) Zeiss EVO 10,

*Laminar Air Flow* (LAF), Inkubator Memmert-Germany/INC-02, dan Oven Memmert UN55.

### **3.2.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan diantaranya yaitu biomaterial limbah kulit udang, kurkumin standar (Merck), metanol, indikator universal, padatan NaOH, HCl pekat, akuades, asam asetat glasial, tween 80, Natrium Tripolifosfat (NaTPP), isolat bakteri uji *Staphylococcus aureus*, media *Mueller Hinton* (MH), media *Tryptic Soy Broth* (TSB), serbuk agar, kertas cakram 5 millimeter, *cottonbud*, kapas, kain kasa, alumunium foil, dan tablet ciprofloxacin HCl.

### **3.3 Metode Penelitian**

Skema prosedur penelitian ini disajikan pada Gambar 9.

#### **3.3.1 Preparasi Serbuk Kulit Udang**

Preparasi serbuk kulit udang mengacu pada (Hisham *et al.*, 2021). Limbah kulit dan ekor udang yang telah dipisahkan dari daging dan kepala udang dicuci dengan air untuk menghilangkan pasir, lumpur, dan kotoran lainnya. Kulit dan ekor udang yang telah bersih dijemur di bawah terik sinar matahari dan dikeringkan di dalam oven. Kulit udang yang telah kering dihaluskan menggunakan blender hingga menjadi serbuk.

#### **3.3.2 Isolasi Kitin dari Kulit Udang**

##### **3.3.2.1 Deproteinasi**

Sebanyak 100 gram serbuk kulit udang dimasukkan ke dalam gelas beaker. Serbuk kulit udang direaksikan dengan NaOH 1 M dengan rasio w/v 1:10 (g/mL). Campuran serbuk kulit udang dan NaOH diaduk menggunakan *heating magnetic stirrer* selama 3 jam pada suhu 80°C. Serbuk kulit udang selanjutnya disaring dan dicuci menggunakan akuades hingga pH netral. Kulit udang yang telah netral dikeringkan di dalam oven pada suhu 70°C (Antonino *et al.*, 2017).

### 3.3.2.2 Demineralisasi

Serbuk kulit udang hasil deproteinasi direaksikan dengan HCl 1 M dengan rasio w/v 1:10 (g/mL). Penambahan HCl 1 M pada kulit udang dilakukan secara bertahap di bawah agitasi 250 rpm pada suhu ruang selama 2 jam. Serbuk kulit udang selanjutnya disaring menggunakan saringan dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Kulit udang yang telah netral dikeringkan di dalam oven pada suhu 70°C. Setelah kering, kitin yang terbentuk didinginkan pada suhu ruang lalu ditimbang (Antonino *et al.*, 2017).

### 3.3.3 Deasetilasi Kitin Menjadi Kitosan

Kitin yang dihasilkan direaksikan dengan NaOH 12,5 M dengan rasio 1:15 (w/v) (g/mL). Kitin dipanaskan dengan suhu 121°C selama 6 jam di bawah agitasi 600 rpm, disaring, dicuci menggunakan akuades hingga pH netral, dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 70°C. Kitosan yang terbentuk selanjutnya dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengidentifikasi adanya gugus amina (-NH<sub>2</sub>) dan untuk menentukan derajat deasetilasinya (Antonino *et al.*, 2017).

### 3.3.4 Sintesis Nanopartikel Kitosan

Nanopartikel kitosan disintesis menggunakan metode gelasi ionik yang mengacu pada (Çakir *et al.*, 2021) dengan sedikit modifikasi. Larutan kitosan dengan konsentrasi 0,1% dibuat dengan cara melarutkan serbuk kitosan di dalam 100 mL larutan asam asetat glasial 1% dan diaduk pada suhu ruang selama 30 menit. Nanopartikel disintesis dengan menambahkan larutan Natrium Tripolifosfat (NaTPP) 0,083% sebanyak 40 mL ke dalam larutan kitosan secara *dropwise* di bawah pengadukan 250 rpm selama 1 jam. Larutan kitosan-NaTPP selanjutnya dimasukkan ke dalam botol untuk dianalisis ukuran partikelnya menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).

### 3.3.5 Enkapsulasi Nanopartikel Kitosan-Kurkumin (NpK-Cur)

Enkapsulasi kurkumin di dalam nanopartikel kitosan merujuk pada (Hasanzade *et al.*, 2025). Sebanyak 10 milligram kurkumin dilarutkan dalam 10 mL metanol sebagai senyawa yang akan dienkapsulasi. Larutan kurkumin dialiri gas nitrogen selama 30 menit dalam keadaan kedap cahaya sebelum proses enkapsulasi. Suspensi nanopartikel yang telah disintesis ditambah pengemulsi tween 80 sebanyak 200  $\mu$ L kemudian *didropwise* ke dalam larutan kurkumin di bawah pengadukan 250 rpm selama 1 jam. Larutan NpK-Cur yang terbentuk sebagian digunakan untuk skrining antibakteri, sebagian lagi dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis untuk penentuan efisiensi enkapsulasi, dan sisanya dikeringkan menggunakan *freeze-dry*. Sampel padat NpK-Cur yang telah kering dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electrone Microscope* (SEM) untuk analisis morfologi.

### 3.3.6 Efisiensi Penjerapan Kurkumin dalam Nanopartikel Kitosan

Uji penjerapan kurkumin dalam matriks nanopartikel kitosan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 421 nm. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan absorbansi kurkumin dengan absorbansi hasil enkapsulasi kurkumin dalam nanokitosan (NpK-Cur) (Hasanzade *et al.*, 2025). Efisiensi penjerapan kurkumin dalam nanopartikel kitosan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$EE (\%) = \frac{(kadar\ kurkumin\ total) - (kadar\ kurkumin\ tak\ terenkapsulasi)}{kadar\ kurkumin\ total} \times 100\% \quad (1)$$

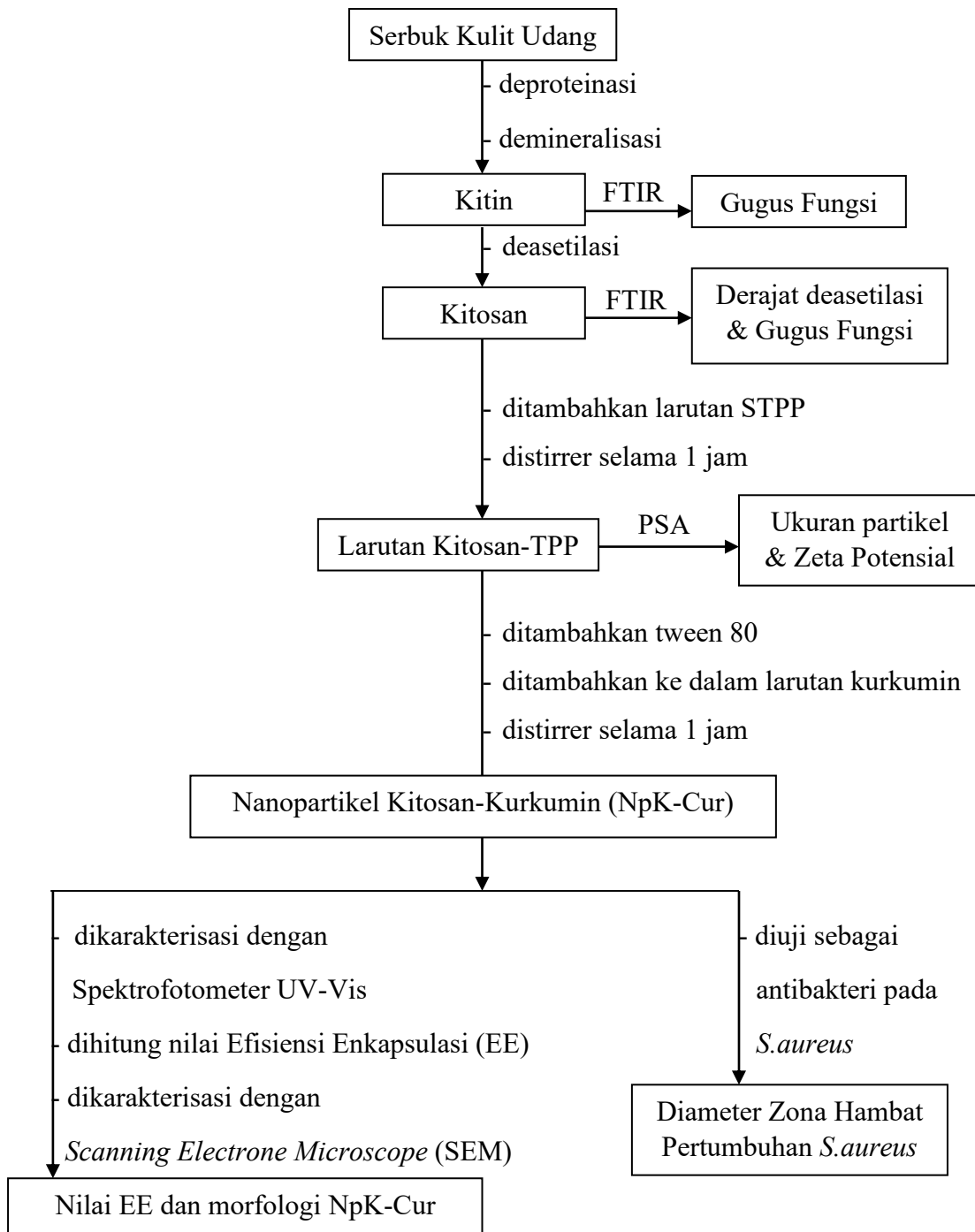
### 3.3.7 Uji Aktivitas Antibakteri

Pada uji aktivitas antibakteri, media uji yang digunakan adalah *Mueller Hinton Agar* (MHA). Isolat bakteri uji yang digunakan dikultivasi dengan cara menggoreskan isolat bakteri *Staphylococcus aureus* pada media agar. Isolat

bakteri yang telah dikultivasi diinkubasi pada suhu 37°C selama 18 jam di dalam inkubator. Inokulum bakteri yang akan digunakan sebagai bakteri uji dibuat dengan mengambil 2 ose isolat hasil kultivasi lalu dicelupkan ke dalam media cair TSB 2%. Inokulum diinkubasi pada suhu 37°C selama 2 jam. Kekeruhan suspensi koloni uji distandarisasi dengan standar 0,5 McFarland (0,08-0.1). Kekeruhan standar 0,5 McFarland yang digunakan sebanding dengan jumlah koloni sel  $1,5 \times 10^8$  CFU/ml (Primadhamanti dkk., 2022).

Metode uji antibakteri yang digunakan yaitu difusi cakram yang mengacu pada (Primadhamanti dkk., 2022). Suspensi bakteri uji diinokulasi pada media agar dengan cara dioles menggunakan *cottonbud*. Pada permukaan media agar masing-masing diletakkan 6 kertas cakram berdiameter 5 mm. Cakram pertama diinjeksi dengan nanokitsan  $0,01 \text{ g.ml}^{-1}$  sebanyak 13  $\mu\text{L}$ . Cakram kedua diinjeksi dengan larutan kurkumin  $0,001 \text{ g.ml}^{-1}$  sebanyak 13  $\mu\text{L}$ . Cakram ketiga diinjeksi dengan sampel nanopartikel kitosan-kurkumin (NpK-Cur)  $0,001 \text{ g.ml}^{-1}$  sebanyak 13  $\mu\text{L}$ . Cakram keempat diinjeksi dengan 13  $\mu\text{L}$  metanol 1% sebagai kontrol negatif. Cakram kelima diinjeksi dengan 13  $\mu\text{L}$  asam asetat glasial 0,01% sebagai kontrol negatif. Cakram keenam diinjeksi dengan 13  $\mu\text{L}$  ciprofloxacin  $0,01 \text{ g.ml}^{-1}$  sebagai kontrol positif. Plat kultur diinkubasi pada suhu 37°C selama 18 jam. Pengujian aktivitas antibakteri dilakukan dalam tiga kali pengulangan.

Hasil uji antibakteri NpK-Cur terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* dibuktikan dengan mengamati zona bening yang terbentuk di sekeliling cakram. Diameter zona bening yang terbentuk diukur menggunakan penggaris sentimeter. Aktivitas antibakteri terbagi menjadi 4 tingkatan, yaitu lemah, sedang, kuat, dan sangat kuat. Aktivitas bakteri dikatakan lemah jika diameter zona hambat  $<5 \text{ mm}$ , kategori sedang jika berada di antara 5-10 mm, kategori kuat di antara 10-20 mm, dan sangat kuat jika  $>20 \text{ mm}$  (Kumowal *et al.*, 2019).



Gambar 9. Skema Prosedur Penelitian

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang diperoleh, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai efisiensi enkapsulasi kurkumin dalam nanopartikel kitosan (NpK-Cur) sebesar 32,80% yang diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Nilai tersebut menunjukkan kurkumin belum terenkapsulasi dengan maksimal di dalam partikel kitosan yang berukuran 184,3 nm.
2. Hasil enkapsulasi kurkumin dalam nanopartikel kitosan (NpK-Cur) memiliki aktivitas antibakteri dengan kategori sedang dengan rata-rata diameter zona hambat sebesar 7 mm.

### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perlunya studi lebih lanjut mengenai komposisi formulasi dan teknik enkapsulasi yang tepat dalam proses enkapsulasi kurkumin dalam nanopartikel kitosan agar diperoleh nilai efisiensi enkapsulasi yang optimal dan morfologi permukaan yang sferis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, N. A. Z., Kormin, F., Abidin, N. A. Z., Anuar, N. A. F. M., and Bakar, M. F. A. (2020). The Potential of Insects as Alternative Sources of Chitin: An Overview on the Chemical Method of Extraction from Various Sources. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(14), 1–25.
- Adamczak, A., Ożarowski, M., and Karpiński, T. M. (2020). Curcumin, A Natural Antimicrobial Agent with Strain-Specific Activity. *Pharmaceuticals*, 13(7), 1–12.
- Akpo, E., Colin, C., and Cambedouzou, J. (2024). Encapsulation of Active Substances in Natural Polymer Coatings. *Materials*, 17(11), 2774.
- Amin, S., Nisa, F. K., Setiawati, Y., dan Fauzan, M. A. A. (2025). Kajian Kimia Medisinal Ciprofloxacin: Mekanisme Kerja, Antibakteri, dan Pola Resistensi Bakteri. *Jurnal Ilmiah Kedokteran Dan Kesehatan*, 4(2), 121–131.
- Anisa, D. N., Utami, G. N., dan Hidayat, D. (2022). Sintesis Senyawa Analog Kurkumin Monoketon dengan Variasi Konsentrasi Katalis KOH. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 7(1), 13.
- Antonino, R. S. C. M. D. Q., Fook, B. R. P. L., Lima, V. A. D. O., Rached, R. I. D. F., Lima, E. P. N., Lima, R. J. D. S., Covas, C. A. P., and Fook, M. V. L. (2017). Preparation and Characterization of Chitosan Obtained From Shells of Shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). *Marine Drugs*, 15(5), 28.
- Aranaz, I., Alcántara, A. R., Civera, M. C., Arias, C., Elorza, B., Heras C. A., and Acosta, N. (2021). Chitosan: An Overview of Its Properties and Applications. *Polymers*, 13(19), 88.
- Beach, M. A., Nayanathara, U., Gao, Y., Zhang, C., Xiong, Y., Wang, Y., and Such, G. K. (2024). Polymeric Nanoparticles for Drug Delivery. *Chemical Reviews*, 124(9), 5505–5616.
- Çakir, M., Törnük, F., and İçyer, N. (2021). Synthesis of Chitosan Nanoparticles with Ionic Gelation Method. *Chem Engineering Technology Journal*, 40(3), 506–513.
- Choiriyah, A. R., Yulianty, E., Mubasyiroh, Setiyanto, H., dan Adi, K. T. (2025). Sintesis dan Pemanfaatan Kitosan Berbasis Limbah Udang. *Journal of Islam, Science and Technology Integration*, 3(1), 297–321.
- Eker, F., Duman, H., Akda, E., & Witkowska, A. M. (2024). A Comprehensive Review of Nanoparticles: From Classification. *Molecules*, 1–83.

- Fadhila, K. N., dan Maharani, D. K. (2022). Preparation and Characterization of Chitosan-ZnO as Hydrophobic Agent in Cotton Fabric. *UNESA Journal of Chemistry*, 11(1), 1408–1416.
- Faustine, D., Setyaningsih, I., dan Hardiningtyas, S. D. (2020). Depolimerisasi Kitosan Menggunakan Sinar Ultraviolet dan Katalis Asam Klorida. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(3), 412–422.
- Gao, M., Tang, H., and Zhu, H. (2024). Advances in Extraction, Utilization, and Development of Chitin/Chitosan and Its Derivatives from Shrimp Shell Waste. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(5), 125.
- Guge, S. R., Lukum, A., & Kunusa, W. R. (2024). Pembuatan Nano Kitosan dengan Menggunakan Metode Gelasi Ionik. *Jambura Journal of Chemistry*, 6(1), 1–8.
- Hapsari, R. B., Pranoto, Y., Murdiati, A., dan Supriyanto, S. (2022). Optimasi Proses Nanopresipitasi pada Nanoenkapsulasi Ekstrak Kasar Daun Kakao (*Theobroma cacao L.*) Menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). *AgriTECH*, 42(1), 75–85.
- Hasanzade, P., Mosayebi, G., Ganji, A., Fahimirad, S., and Ghazavi, A. (2025). Curcumin-loaded Chitosan Nanoparticles: A Promising Approach to Liver Fibrosis Prevention. *BMC Pharmacology & Toxicology*, 26(1), 190.
- Hendri, J., dan Laila, A. (2013). *Kitin Kitosan*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Hettiarachchi, S. S., Dunuweera, S. P., Dunuweera, A. N., and Rajapakse, R. M. G. (2021). Synthesis of Curcumin Nanoparticles from Raw Turmeric Rhizome. *ACS Omega*, 6(12), 8246–8252.
- Hisham, F., Akmal, M. H. M., Ahmad, F. B., and Ahmad, K. (2021). Materials Today : Proceedings Facile Extraction of Chitin and Chitosan from Shrimp Shell. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2369–2373.
- Hoqani, H. A. S. Al, Shaqsi, N. H. K. Al, Hossin, M. A., and Sibani, M. A. Al. (2021). Structural Characterization of Polymeric Chitosan and Mineral from Omani Shrimp Shells. *Water-Energy Nexus*, 4, 199–207.
- Hu, X., Tian, Z., Li, X., Wang, S., Pei, H., Sun, H., and Zhang, Z. (2020). Green, Simple, and Effective Process for the Comprehensive Utilization of Shrimp Shell Waste. *ACS Omega*, 5(30), 19227–19235.
- Kumbhar, S., Khairate, R., Bhatia, M., and Choudhari, P. (2023). Evaluation of Curcumin-loaded Chitosan Nanoparticles for Wound Healing Activity. *ADMET DMPK*, 11(4), 601–613.
- Kumowal, S., Fatimawali, F., dan Jayanto, I. (2019). Uji Aktivitas Antibakteri Nanopartikel Ekstrak Lengkuas Putih (*Alpinia galanga L.*) Terhadap Bakteri *Klebsiella pneumoniae*. *Pharmacon*, 8(4), 781.

- Lamch, Ł. and Szukiewicz, R. (2024). Entrapment of Amphipathic Drugs in Core-Shell Polymeric Nanoparticles under Batch Conditions—The Role of Control and Solubility Parameters. *Langmuir*, 40(40), 21186–21198.
- Li, B., Elango, J., and Wu, W. (2020). Recent Advancement of Molecular Structure and Biomaterial Function of Chitosan from Marine Organisms for Pharmaceutical and Nutraceutical Application. *Applied Sciences*, 10(14), 30–50.
- Lima, K. O., Mauricio, C., Pinilla, B., Elvira, M. L., Carmen, M. G., Montero, P., and Prentice, C. (2021). Characterization, Bioactivity and Application of Chitosan-Based Nanoparticles in a Food Emulsion Model. *Polymers*, 13, 1–16.
- Muadifah, A., Amini, H. W., Amini, H. W., Putri, A. E., Putri, A. E., Latifah, N., dan Latifah, N. (2019). Aktivitas Antibakteri Ekstrak Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica Val*) Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus*. *Jurnal SainHealth*, 3(1), 45.
- Nair, R. S., Morris, A., Billa, N., and Leong, C. O. (2019). An Evaluation of Curcumin-Encapsulated Chitosan Nanoparticles for Transdermal Delivery. *AAPS PharmSciTech*, 20(2), 25-40.
- Nikolic, P., and Mudgil, P. (2023). The Cell Wall, Cell Membrane and Virulence Factors of *Staphylococcus aureus* and Their Role in Antibiotic Resistance. *Microorganisms*, 11(2), 259.
- Novikov, V. Y., Derkach, S. R., Konovalova, I. N., Dolgopyatova, N. V., and Kuchina, Y. A. (2023). Mechanism of Heterogeneous Alkaline Deacetylation of Chitin : A Review. *Polymers*, 15, 1–23.
- Nugroho, I., Putri, N., Adji, J., Nur, S., dan Sekarningrum, N. (2024). Tinjauan Kritis Kemampuan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dalam Analisis dan Karakterisasi Senyawa Obat. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(15), 332–344.
- Pakizeh, M., Moradi, A., and Ghassemi, T. (2021). Chemical Extraction and Modification of Chitin and Chitosan from Shrimp Shells. *European Polymer Journal*, 159(5), 110709.
- Peng, Q., Meng, Z., Ziyang Luo, H. D., Ramaswamy, H. S., and Wang, C. (2023). Effect of Emulsion Particle Size on the Encapsulation Behavior. *Foods*, 12, 116–129.
- Pitaloka, C., Suryaningrum, M., Ardani, H., Krisnanda, A., Sari, I. T., Ningtyas, G. A., Andityas, M., dan Aziz, F. (2025). Identifikasi dan Karakterisasi Resistensi Antibiotik Bakteri *Staphylococcus aureus* Asal Susu Segar Kambing Sapera di Sleman, Yogyakarta. *Jurnal Veteriner*, 26(2), 175–188.

- Primadiamanti, A., Elsyana, V., and Savita, C. R. (2022). Aktivitas Antibakteri Pelepah Pisang Mas (*Musa acuminata Colla*), Pisang Kepok (*Musa x paradisiaca L*) dan Pisang Kluthuk (*Musa balbisiana Colla*) terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Staphylococcus epidermidis*. *Jurnal Ilmu Kedokteran Dan Kesehatan*, 9(1), 539–548.
- Ramesh, T. N., Paul, M., Manikanta, K., and Girish, K. S. (2020). Structure and Morphological Studies of Curcuminoids and Curcuminoid Mixture. *Journal of Crystal Growth*, 547(3), 125812.
- Rasweefali, M. K., Sabu, S., Muhammed Azad, K. S., Raseel Rahman, M. K., Sunooj, K. V., Sasidharan, A., and Anoop, K. K. (2022). Influence of Deproteinization and Demineralization Process Sequences on the Physicochemical and Structural Characteristics of Chitin Isolated from Deep-Sea Mud Shrimp (*Solenocera hextii*). *Advances in Biomarker Sciences and Technology*, 4(11), 12–27.
- Reys, L. L., Silva, S. S., Pirraco, R. P., Marques, A. P., Mano, J. F., Silva, T. H., and Reis, R. L. (2017). Influence of Freezing Temperature and Deacetylation Degree on the Performance of Freeze-Dried Chitosan Scaffolds Towards Cartilage Tissue Engineering. *European Polymer Journal*, 95(5), 232–240.
- Rocha, F. S., Gomes, A. J., Lunardi, C. N., Kaliaguine, S., and Patience, G. S. (2018). Experimental Methods in Chemical Engineering: Ultraviolet Visible Spectroscopy—UV-Vis. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 96(12), 2512–2517.
- Salim, M., Gestiwana, O., and Kamilla, L. (2023). Efektivitas Sediaan Sabun Wajah Cair Ekstrak Daun Katuk (*Sauropus androgynus (L.) Merr.*) Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* Metode Difusi. *Jurnal Laboratorium Khatulistiwa*, 7(1), 85–96.
- Santo, M. C., D' Antoni, C. L., Domínguez Rubio, A. P., Alaimo, A., and Pérez, O. E. (2021). Chitosan-Tripolyphosphate Nanoparticles Designed to Encapsulate Polyphenolic Compounds for Biomedical and Pharmaceutical Applications – A Review. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 142(6), 15–20.
- Setiati, R., Siregar, S., Wahyuningrum, D., dan Rinanti, A. (2021). Synthesis Method of Chitin Become Chitosan Polymer from Shrimp Shells for Enhanced Oil Recovery. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 737(1), 3–9.
- Shapi'i, R. A., Othman, S. H., Naim, M. N., and Basha, R. K. (2019). Effect of Initial Concentration of Chitosan on the Particle Size of Chitosan Nanoparticle. *International Journal of Nanotechnology*, 16(11), 680–691.
- Silva, M. M., Calado, R., Marto, J., Bettencourt, A., Almeida, A. J., and Gonçalves, L. M. D. (2017). Chitosan Nanoparticles as a Mucoadhesive Drug Delivery System for Ocular Administration. *Marine Drugs*, 15(12), 1–16.

- Silva, N. C., Chevigny, C., Domenek, S., Almeida, G., Assis, O. B. G., and Martelli-Tosi, M. (2025). Nanoencapsulation of Active Compounds in Chitosan by Ionic Gelation: Physicochemical, Active Properties and Application in Packaging. *Food Chemistry*, 463(2), 141129.
- Soegiantoro, D. H., Soegiantoro, G. H., Waruwu, I. S., dan Theressia, Y. O. (2021). Pengaruh Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica*, Val.) Terhadap Bakteri Usus Secara In Vitro. *FARMASIS: Jurnal Sains Farmasi*, 2(1), 18–24.
- Sreekumar, S., Goycoolea, F. M., Moerschbacher, B. M., and Rivera-Rodriguez, G. R. (2021). Parameters Influencing The Size of Chitosan-TPP Nano and Microparticles. *Scientific Reports*, 8(1), 4695.
- Subamia, I. D. P., Widiasih, N. N., Sri Wahyuni, I. G. A. N., dan Pratami Kristiyanti, P. L. (2023). Optimasi Kinerja Alat *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Melalui Studi Perbandingan Komposisi dan Ketebalan Sampel-KBr. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 5(2), 58–69.
- Suhartati, T. (2017). *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-VIS dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. AURA. Bandar Lampung.
- Suryani, S., Chaerunisaa, A. Y., Joni, I. M., Ruslin, R., Ramadhan, L. O. A. N., Wardhana, Y. W., dan Sabarwati, S. H. (2022). Production of Low Molecular Weight Chitosan Using a Combination of Weak Acid and Ultrasonication Methods. *Polymers*, 14(16).
- Suryawanshi, B., and Nehete, J. Y. (2021). Qualitative Analysis of Curcumin in Marketed Dosage Form by Using UV Spectroscopy. *International Journal of Pharmaceutical Research and Applications*, 6(3), 845–850.
- Takarina, N. D., Nasrul, A. A., and Nurmarina, A. (2017). Degree of Deacetylation of Chitosan Extracted from White Snapper (*Lates sp.*) Scales Waste. *International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences*, 6(1), 16–19.
- Talitha, Z. A., Fithriyani, D., dan Situmorang, A. J. (2025). Pengaruh Suhu Pengeringan terhadap Karakteristik Fisiko-Kimia Bumbu Penyedap dari Limbah Kepala Udang Vanamei (*Litopenaeus vannamei*). *Communication in Food Science and Technology*, 3(1), 42.
- Teow, S. Y., Liew, K., Ali, S. A., Khoo, A. S. B., and Peh, S. C. (2016). Antibacterial Action of Curcumin Against *Staphylococcus aureus*: A Brief Review. *Journal of Tropical Medicine*, 2(16), 55.
- Touaitia, R., Mairi, A., Ibrahim, N. A., Basher, N. S., Idres, T., and Touati, A. (2025). *Staphylococcus aureus* : A Review of the Pathogenesis and Virulence Mechanisms. 2, 1–37.

- Trigogutierrez, J. K., Vega-chacón, Y., Soares, A. B., and Mima, E. G. de O. (2021). Antimicrobial Activity of Curcumin in Nanoformulations: A Comprehensive Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 30–40.
- Varun, T. K., Senani, S., Jayapal, N., Chikkerur, J., Roy, S., Tekulapally, V. B., Gautam, M., and Kumar, N. (2017). Extraction of Chitosan and its Oligomers from Shrimp Shell Waste, Their Characterization and Antimicrobial Effect. *Veterinary World*, 10(2), 170–175.
- Yan, D., Li, Y., Liu, Y., Li, N., Zhang, X., and Yan, C. (2021). Antimicrobial Properties of Chitosan and Chitosan Derivatives in the Treatment of Enteric Infections. *Molecules*, 26(23), 55–65.
- Yetisgin, A. A., & Sibel, Cetinel; Merve, Zuvini; Ali, Kosar; Ozlem, K. (2020). Therapeutic Nanoparticles and Their Targeted Delivery Applications. *Molecules*, 25(2193), 1–31.
- Yudono, B. (2017). *Spektrometri*. SIMTERI. Palembang.
- Yunida, Y., Kamaluddin, M. T., Theodorus, T., dan Mangunsong, S. (2021). Formulasi dan Karakterisasi Nanopartikel Kafein Hasil Isolasi dari Biji Kopi Robusta. *Jurnal Mandala Pharmacon Indonesia*, 7(1), 47–59.
- Yusefi, M., Kia, P., Nur, S., and Mohamad, A. (2021). Synthesis and Properties of Chitosan Nanoparticles Cross- Linked with Tripolyphosphate. *Journal of Research in Nanoscience and Nanotechnology*, 1(1), 46–52.
- Yusuf, N. A., Aksa, R., dan Juniawan, F. (2020). Optimasi Variasi Konsentrasi Lipid Terhadap Karakteristik Fisik *Solid Lipid Nanoparticle (SLN) Glibenklamid*, 6(2), 163–171.
- Zielińska, A., Carreiró, F., Oliveira, A. M., Neves, A., Pires, B., Venkatesh, D. N., Durazzo, A., Lucarini, M., Eder, P., Silva, A. M., Santini, A., and Souto, E. B. (2020). Polymeric Nanoparticles: Production, Characterization, Toxicology and Ecotoxicology. *Molecules*, 25(16), 87-102.