

**NANOPARTIKEL EKSTRAK BUAH JERUK KINGKIT
(*Triphasia trifolia*) SEBAGAI *EDIBLE COATING* UNTUK
MENINGKATKAN MASA SIMPAN PRODUK HASIL
PERIKANAN**

(Disertasi)

Oleh :

**NOVITA HERDIANA
NPM 2034172001**



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**NANOPARTIKEL EKSTRAK BUAH JERUK KINGKIT
(*Triphasia trifolia*) SEBAGAI *EDIBLE COATING* UNTUK
MENINGKATKAN MASA SIMPAN PRODUK HASIL
PERIKANAN**

**NOVITA HERDIANA
NPM 2034172001**

Disertasi

**Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar
DOKTOR ILMU PERTANIAN**

Pada

**Program Doktor Ilmu Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

NANOPARTIKEL EKSTRAK BUAH JERUK KINGKIT (*Triphasia trifolia*) SEBAGAI *EDIBLE COATING* UNTUK MENINGKATKAN MASA SIMPAN PRODUK HASIL PERIKANAN

Oleh

Novita Herdiana

Buah jeruk kingkit merupakan jenis tanaman etnomedisin, yang diduga mengandung berbagai senyawa komponen bioaktif yang memiliki manfaat bagi kesehatan tubuh dan meningkatkan masa simpan pangan. Penelitian ini bertujuan untuk: pertama, mengidentifikasi karakteristik dari komponen aktif ekstrak buah jeruk kingkit serta nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit (*Triphasia trifolia*) dalam menghambat bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella sp.*; kedua, mendapatkan sifat terbaik dari *edible coating* dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit sebagai pengemas antimikroba; ketiga, menentukan umur simpan produk olahan ikan yang dilapisi dengan *edible coating* dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit terbaik menggunakan metode *Accelerated Shelf Life Test (ASLT)*.

Pada penelitian tahap pertama, dilakukan dalam tiga tahap yang meliputi a) pembuatan ekstrak buah jeruk kingkit, b) pembuatan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit, dan c) pengujian daya hambat nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella sp.* Pengamatan karakterisasi morfologi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit menggunakan metode deskriptif. Sementara itu, pengujian aktivitas antimikroba nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan faktor tunggal dengan 4 taraf, yaitu konsentrasi kitosan dalam pembuatan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit. Konsentrasi yang digunakan adalah 0,25% (A), 0,5% (B), 0,75% (C), dan 1% (D)., masing-masing dengan 4 kali pengulangan. Data yang diperoleh dianalisis secara statistik dengan menggunakan uji Bartlett dan Tuckey lalu dilanjutkan dengan uji ANOVA dan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%.

Penelitian tahap pertama menunjukkan bahwa pada analisis spektrofotometri UV-VIS ditemukan adanya senyawa furanokumarin pada panjang gelombang 250, 257, 263, dan 300 nm. Selain itu, analisis FTIR juga menunjukkan keberadaan gugus O-H (3448,72 cm⁻¹), C≡C (2400 cm⁻¹), C=O (1718 cm⁻¹), dan C=C (1604, 1593, 1489, dan 1430 cm⁻¹, yang merupakan gugus aromatik dari cincin furanokumarin).

Hasil analisis NMR dan GCMS terhadap ekstrak dan isolasi buah jeruk kingkit menunjukkan keberadaan senyawa isopimpinellin ($C_{13}H_{10}O_5$) dengan berat molekul 246 pada puncak ke-8 dengan waktu retensi (RT) 46,285 dan presentase kelimpahan 92,28. Pembentukan nanopartikel pada konsentrasi kitosan sebesar 0,75% menghasilkan morfologi nanopartikel yang seragam, dengan diameter partikel mencapai 365,81 nm dan indeks polidispersitas kurang dari 1, yakni 0,718. Penggunaan konsentrasi kitosan pada pembuatan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit juga mempengaruhi secara signifikan daya hambat terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella sp.* Hasil menunjukkan bahwa nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit dengan konsentrasi kitosan 0,75% (b/v) memberikan efektivitas antimikroba terbaik, dengan zona hambat mencapai 23,57 mm pada bakteri *Salmonella sp* dan 28,56 mm pada bakteri *Staphylococcus aureus*.

Penelitian tahap kedua dimulai dengan pembuatan *edible coating* dengan mencampurkan glukomannan porang, gliserol, dan CMC dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit dalam konsentrasi V0 (0%); V1 (1%); V2 (2%); V3 (3%); V4 (4%); V5 (5%). Metode yang digunakan dalam pembuatan *edible coating* ini adalah RAKL (Rancangan Acak Kelompok Lengkap) dengan faktor tunggal dan 4 kali ulangan. Data yang diperoleh dianalisis secara statistik dengan menggunakan uji Bartlett dan Tuckey lalu dilanjutkan dengan uji ANOVA dan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%. Pengujian SEM dan XRD dilakukan secara deskriptif dengan menggunakan gambar yang dihasilkan.

Hasil Penelitian tahap 2 menunjukkan bahwa konsentrasi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit memiliki pengaruh yang signifikan terhadap viskositas *edible coating*. Viskositas tertinggi terdapat pada V0 (0%) sebesar 230,08 mPa.s, sementara viskositas terendah terjadi pada V5 (5%) dengan nilai 10,90 mPa.s. Penambahan konsentrasi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit sebesar 5% menghasilkan karakteristik terbaik pada *edible coating* dengan viskositas mencapai 10,90 mPa.s. Struktur morfologi *coating* tersebut menunjukkan adanya permukaan pori-pori, retakan, dan granula pati yang samar, dengan pola melebar yang relatif serupa pada sekitar 2θ dengan pembentukan derajat $15-35^\circ$.

Penelitian tahap ketiga ini menggunakan metode deskriptif dengan tiga suhu penyimpanan yang berbeda pada produk perikanan berupa bakso yang dilapisi menggunakan *edible coating* nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit. Perlakuan tersebut meliputi suhu *freezer* -14°C , suhu dingin 7°C , dan suhu ruang, dengan dilakukan pengulangan sebanyak dua kali. Penyimpanan bakso ikan ini dilakukan selama 28 hari. Observasi dilakukan meliputi Angka Lempeng Total (ALT), uji sensori terkait warna, aroma, dan tekstur, dilakukan sekali pada hari ke-0, 7, 14, 21, dan 28. Selain itu, juga dilakukan pengukuran kadar proksimat produk seperti kadar air dan kadar protein bakso ikan. Data hasil pengujian digunakan untuk menghitung umur simpan bakso ikan menggunakan metode ASLT (*Accelerated Shelf Life Testing*) model Arrhenius dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2019.

Hasil penelitian tahap ketiga menunjukkan bahwa, masa simpan optimal bakso ikan dapat dicapai dengan menggunakan konsentrasi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit sebesar 5% dalam pembuatan *edible coating* pada suhu -14°C , dengan perkiraan masa simpan sekitar 69 hari. Pada suhu dingin 7°C , masa

simpannya diperkirakan selama 20 hari, dan pada suhu ruang, masa simpannya diperkirakan selama 6 hari. Penambahan konsentrasi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit yang meningkat dalam pembuatan *edible coating*, serta penggunaan suhu yang lebih rendah, menghasilkan karakteristik sensori yang lebih baik, seperti skor warna sebesar 3,13 (tidak putih), aroma 7,80 (khas ikan), dan tekstur 8,47 (kenyal), dengan nilai kadar air 45,98% dan kadar protein 12,44% sesuai standar SNI 7266:2017.

Kata kunci: Nanopartikel, Jeruk Kingkit, furanokumarin, isopimpinellin, dan *Edible coating*,

ABSTRACT

KINGKIT ORANGE (*Triphasia trifolia*) EXTRACT NANOPARTICLES AS AN EDIBLE COATING TO INCREASE THE SHELF LIFE OF FISHERY PRODUCTS

**By
Novita Herdiana**

The kingkit orange fruit is a type of ethnomedicinal plant suspected to contain various bioactive compound components that are beneficial for bodily health as well as for maintaining food quality. This research aims to: firstly, identify the characteristics and active components of kingkit orange fruit extract and kingkit orange fruit extract nanoparticles (*Triphasia trifolia*) in handling *Staphylococcus aureus* and *Salmonella sp.* bacteria; secondly, evaluate the best properties of *edible coatings* with the addition of kingkit orange fruit extract nanoparticles as antimicrobial packaging; thirdly, determine the shelf life of processed fish products coated with the best kingkit orange fruit extract *edible coating* nanoparticles using the *Accelerated Shelf Life Test* (ASLT) method

The first stage of the research, three phases were conducted, which included a) the extraction of kingkit orange fruit, b) the production of kingkit orange fruit extract nanoparticles, and c) testing the inhibitory power of kingkit orange fruit extract nanoparticles against *Staphylococcus aureus* and *Salmonella sp.* The characterization and morphology observation of kingkit orange fruit extract and nanoparticles were conducted using descriptive methods. Meanwhile, the antimicrobial activity testing of kingkit orange fruit extract nanoparticles was performed using a Completely Randomized Design (CRD) with a single factor with 4 levels was conducted, The factor considered was the concentration of chitosan in the production of kingkit orange fruit extract nanoparticles. The concentrations used were 0.25% (A), 0.5% (B), 0.75% (C), and 1% (D), each with 4 replications. The homogeneity of variances was tested using Bartlett's test, and the additional data were tested using Tukey's test. The data obtained were analyzed statistically using the Bartlett and Tukey test then continued with the ANOVA test and the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% level.

Research in the initial phase indicates that UV-VIS spectrophotometry analysis revealed the presence of furcoumarin compounds at wavelengths of 250, 257, 263, and 300 nm. Furthermore, FTIR analysis also demonstrated the presence of O-H (3448.72 cm^{-1}), $\text{C}\equiv\text{C}$ (2400 cm^{-1}), $\text{C}=\text{O}$ (1718 cm^{-1}), and $\text{C}=\text{C}$ (1604, 1593, 1489, and 1430 cm^{-1} , which are aromatic groups from the furocoumarin ring). NMR and GCMS analysis of the extract and isolation of kingkit orange fruit indicated the presence of isopimpinellin compound ($\text{C}_{13}\text{H}_{10}\text{O}_5$) with a molecular weight of 246 at the 8th peak with a retention time (RT) of 46.285 and an abundance percentage of 92.28. Nanoparticle formation at a chitosan concentration of 0.75% yielded uniform nanoparticle morphology, with a particle diameter reaching 365.81 nm and

a polydispersity index of less than 1, specifically 0.718. The use of chitosan concentration in the production of kingkit orange fruit extract nanoparticles also significantly influenced the inhibitory activity against *Staphylococcus aureus* and *Salmonella sp* bacteria. Results indicated that kingkit orange fruit extract nanoparticles with 0.75% chitosan concentration (w/v) exhibited the best antimicrobial effectiveness, with inhibition zones of 23.57 mm for *Salmonella sp* bacteria and 28.56 mm for *Staphylococcus aureus* bacteria.

The second stage of the research begins with the production of *edible coating* by mixing porang glucomannan, glycerol, and CMC with the addition of kingkit orange fruit extract nanoparticles at concentrations V0 (0%); V1 (1%); V2 (2%); V3 (3%); V4 (4%); V5 (5%). The method employed in the production of this *edible coating* is a Complete Randomized Design (CRD) with a single factor and 4 repetitions. The data obtained were analyzed statistically using the Bartlett and Tuckey test then continued with the ANOVA test and the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% level. SEM and XRD testing is conducted descriptively using the resulting images

In the second stage of the research, it was found that the concentration of kingkit orange fruit extract nanoparticles significantly influenced the viscosity of the *edible coating*. The highest viscosity was observed at V0 (0%) at 230.08 mPa.s, while the lowest viscosity occurred at V5 (5%) with a value of 10.90 mPa.s. The addition of 5% concentration of kingkit orange fruit extract nanoparticles resulted in the best characteristics in the *edible coating* with a viscosity reaching 10.90 mPa.s. The morphological structure of the *coating* showed the presence of surface pores, cracks, and vague starch granules, with a relatively similar widening pattern at around 2θ with the formation of degrees of 15-35°.

The third stage of the research employed a descriptive method with three different storage temperatures for fish product, namely fish ball coated with *edible coating* containing nanoparticle extract of kingkit orange, stored at freezer temperature of -14°C, cold temperature of 7°C, and room temperature of 30°C, with two repetitions. The storage in the third stage of the research used a descriptive method with three different storage temperatures for fish products, specifically fish ball coated with *edible coating* containing nanoparticle extract of kingkit orange. These treatments included *freezer* temperature of -14°C, cold temperature of 7°C, and room temperature, each repeated twice. The storage of the fish balls was conducted for 28 days. Observations were made on Total Plate Count (TPC), sensory tests related to color, aroma, and texture, conducted once every week on days 0, 7, 14, 21, and 28. Additionally, proximate analysis of the products such as water content and protein content of the fish balls were also measured. The data obtained from the tests were used to calculate the shelf life of the fish balls using the *Accelerated Shelf Life Testing* (ASLT) method, Arrhenius model, with Microsoft Excel 2019 software.

The results of the third stage of research indicate that the optimal shelf life of fish ball can be achieved by using a 5% concentration of kingkit orange fruit extract nanoparticles in the production of *edible coating* at a temperature of -14°C, with an estimated shelf life of around 69 days. At a cold temperature of 7°C, the shelf life is estimated to be 20 days, and at room temperature, the shelf life is estimated to be

6 days. Increasing the concentration of kingkit orange fruit extract nanoparticles in the production of *edible coating*, as well as using lower temperatures, result in better sensory characteristics, such as color score of 3.13 (not white), aroma 7.80 (characteristic of fish), and texture 8.47 (chewy), with a moisture content of 45.98% and protein content of 12.44% according to SNI 7266:2017 standards.

Keywords: Nanoparticles, Kingkit Oranges, furanokumarin, isopimpinellin, and *Edible coating*

Judul Desertasi

: NANOPARTIKEL EKSTRAK BUAH
JERUK KINGKIT (*Triphasia trifolia*)
SEBAGAI *EDIBLE COATING* UNTUK
MENINGKATKAN MASA SIMPAN
PRODUK HASIL PERIKANAN

Nama Mahasiswa

: Novita Herdiana

NPM

: 2034172001

Program Studi

: Doktor Ilmu Pertanian

Fakultas

: Pertanian



2. Co-Promotor

[Signature]

Dr. Dewi Sartika, S.T.P., M.Si.
NIP.197012202008122001

[Signature]

Dr.Ir.Subeki,M.Si., M.Sc.
NIP.196804091993031002

3. Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian

[Signature]

Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.
NIP 196412231994031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr.Sri Hidayati, S.T.P., MP.



Anggota : Dr. Dewi Sartika, S.T.P., M.Si.



: Dr.Ir. Subeki, M.Si., M.Sc.



Penguji Non-Pembimbing : Dr. Ir. Suharyono A.S., M.S.

2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP 196411182001122001

3. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. H. Murnadi, M.Si.
NIP 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Disertasi: 23 April 2024

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya di dalam disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

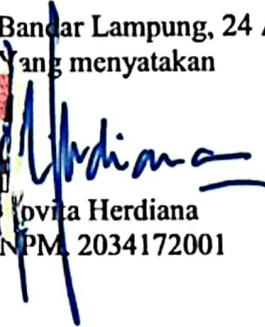
Bandar Lampung, 24 April 2024

Yang menyatakan



METERAN
TEMPEL

A4ALX13422475


Novita Herdiana

NPM. 2034172001

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, Lampung pada tanggal 18 November 1976, merupakan anak kedua dari lima bersaudara, dari bapak almarhum H.R. Syarifuddin Zulkifli Natamenggala, SH (Alm) dan ibu Hj. Hermina Minpaduka, BBA .

Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 2 Rawalaut, Bandar Lampung pada tahun 1989, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 2 Bandar Lampung pada tahun 1992, melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 3 Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 1995

Pada tahun 1995 penulis diterima sebagai mahasiswa baru di Fakultas Perikanan Institut Pertanian Bogor (IPB) melalui jalur Penelusuran Minat dan Kemampuan (PMDK) dan memilih Program Studi Teknologi Hasil Perikanan. Penulis meraih gelar sarjana perikanan pada tahun 1999. Pada Tahun 2001 penulis diangkat sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS), Pada tahun 2008 penulis mendapatkan Beasiswa Pendidikan Pascasarjana (BPPS) (S2) di Institut Pertanian Bogor pada Program Studi Pascapanen dan diselesaikan penulis pada tahun 2010 dengan meraih gelar Magister Sains. Selanjutnya tahun 2020 penulis melanjutkan Pendidikan S3 pada Program Doktor Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung

Karya kecil ini kupersembahkan untuk:

Suamiku tercinta dan tersayang

M. Zaimuddin Akbar, SP., M.Si

Anak-anakku tersayang

Hanifa Putri Zaina

M. Arief Novansyah

Hanna Natasya Andini

SANWANCANA

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan keberkahan, rahmat dan karunia-Nya, penulis mampu menyelesaikan penelitian dan penyusunan disertasi yang berjudul “**Nanopartikel Ektrak Buah Jeruk Kingkit (*Triphasia trifolia*) Sebagai *Edible coating* Untuk Meningkatkan Masa Simpan Produk Hasil Perikanan**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor Ilmu Pertanian di Universitas Lampung. Penyusunan disertasi ini tidak terlepas dari keterlibatan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Senior Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
4. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana
5. Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S., selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian atas motivasi, dukungan dan bantuan selama studi;
6. Prof. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., MP, selaku Promotor yang bersedia membimbing penulis dalam menyelesaikan disertasi ini. Terimakasih atas nasehat, motivasi, bimbingan, pengarahan, masukan dan saran serta bantuan selama penyusunan hingga disertasi ini selesai;
7. Dr. Dewi Sartika, S.T.P., M.Si., selaku Co-Promotor atas bimbingan, motivasi, saran dan masukan terhadap penulis dalam menyelesaikan disertasi ini;
8. Dr. Ir. Subeki, M.Si., M.Sc, selaku Co-Promotor atas bimbingan, motivasi, saran dan masukan dalam menyelesaikan disertasi ini
9. Dr. Ir. Suharyono A.S., M.S., selaku Penguji Internal atas motivasi, saran dan

masukkan hingga terselesaikannya disertasi ini;

10. Dwi Eva Nirma Gustina, SP., M.Si., Ph.D selaku Penguji Eksternal atas saran dan masukkan dalam disertasi ini
11. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Program Doktor Ilmu Pertanian yang telah memberikan ilmu dan wawasan kepada penulis selama kuliah;
12. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si, selaku sekretaris Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, serta teman-teman sejawat di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian yang telah memberikan dukungan dan motivasi terhadap pelaksanaan penelitian dan penyelesaian disertasi;
13. Keluarga tercinta, suamiku, M. Zaimuddin Akbar, SP., M.Si, dan anak-anakku Hanifa Putri Zaina, M. Arief Novansyah, dan Hanna Natasya Andini, yang selalu memberikan semangat, senyuman, dukungan dan kesabaran serta doanya sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi dengan lancar;
14. Keluarga besar penulis mama Hj Hermina, Kakakku (drg. Lenny Herdiany dan Juni Aspan Devi., SP., MM) dan adik2ku (Nova Herdiance, S.Pd, Abdurohman, SE, A. Teddy Herdiansyah, SH., MH; Rahmalani, SE; Edwin Mintarsyah, SH; Feni Safitri, SP) serta seluruh ponakanku yang selalu memberikan doadan dukungan selama penulis menyelesaikan perkuliahan;
15. Mahasiswa-mahasiswi bimbingan skripsi (Eka, Syifa, Siraturahmi, Naura, Nurhidayati, Elin, Sugaluh, Nida, Okta dan Tasya) yang telah bekerja sama dan membantu penulis dalam melaksanakan penelitian dalam penyelesaian disertasi ini;
16. Rekan-rekan S3 angkatan 20 (Pak Duryat, Bu Suci, Bu Euis, Bu Dian dan Bu Elvira)
17. Rekan-rekan yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung dalam penelitian ini, khususnya Bunda Prof Tati Suhartati, S.Si., M.Si., Mb Melia, Mb eka, Mas Joko, Tim Lab Balivet, yang telah mendampingi, membantu, dan memberikan masukan-masukan dalam pelaksanaan penelitian dan penyelesaian disertasi.
18. Serta semua pihak yang telah membantu baik dalam pelaksanaan maupun penulisan disertasi ini.

Penulis sangat menyadari bahwa disertasi ini jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun serta dapat memberikan manfaat bagi penulis pribadi dan bagi para pembaca.

Bandar Lampung, April 2024
Penulis,

Novita Herdiana

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PERSETUJUAN DISERTASI	
HALAMAN PENGESAHAN DISERTASI	
SANWANCANA	
DAFTAR ISI	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	
RINGKASAN	
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Nilai Kebaharuan dan Kedalaman	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Teknologi Nanopartikel	7
2.1.1. Metode Pembuatan Nanopartikel	7
2.1.2. Macam Nanopartikel Pada Bidang Lain	12
2.1.3. Pembuatan Nanopartikel Sistem Polimer	13
2.2. Jeruk Kingkit	17
2.3. Glukomanan	20
2.4. <i>Edible coating</i>	23
2.5. Bakso Ikan	24
2.6. Pendugaan Umur Simpan	27
2.6.1. Ordo Reaksi	29
III. KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS	31
3.1. Kerangka Pemikiran	31
3.2. Hipotesis	33
IV. TAHAPAN DAN RUANG LINGKUP PENELITIAN	34
V. PENELITIAN TAHAP 1	36
“ KARAKTERISASI EKSTRAK BUAH JERUK KINGKIT, DAN ANALISA SEM, PSA SERTA PENGUJIAN ANTIMIKROBA DAYA HAMBAT NANOPARTIKEL EKSTRAK BUAH JERUK KINGKIT”	
5.1. PENDAHULUAN	36
5.1.1. Latar Belakang	36
5.1.2. Tujuan	37
5.2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN	37

	Halaman
5.2.1. Bahan dan Alat Penelitian	37
5.2.2. Metode Penelitian	38
5.2.3. Pelaksanaan Penelitian	38
5.2.3.1 Pembuatan Ekstrak Buah Jeruk Kingkit	38
5.2.3.2 Pembuatan Nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit	41
5.2.3.3 Pengujian Daya Hambat Nanopartikel Ekstrak Buah Jeruk Kingkit Pada B akteri <i>Staphylacoccus aureus</i> dan <i>Salmonella</i> sp	43
5.2.4. Pengamatan	45
5.2.4.1 Karakterisasi Senyawa Murni Ekstrak Buah Jeruk Kingkit	45
5.2.4.2 Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak buah jeruk Kingkit	47
5.2.4.3 Pengujian Daya Hambat Antimikroba Nanopartikel Jeruk Kingkit	47
5.3. HASIL DAN PEMBAHASAN	48
5.3.1. Karakterisasi Senyawa Hasil Isolasi Ekstrak Buah Jeruk kingkit	48
a. Analisis Senyawa Murni Ekstrak Buah Jeruk Kingkit	48
b. Analisis Spektrofotometri UV-VIS	50
c. Spektrofotometri IR	50
d. Spektrofotometri NMR	51
e. Gas Chromatograpy-Mass Spectroscopy (GC/MS)	53
5.3.2. Karakteristik Morfologi Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit	55
a. SEM (Scanning Electron Microscopy)	55
b. PSA (Particle Size Analyzer)	57
5.3.3. Pengaruh Konsentrasi Nanopartikel Ekstrak Buah Jeruk Kingkit Terhadap Daya Hambat Bakteri <i>Staphylacoccus aureus</i> dan <i>Salmonella</i> sp.	60
a. Daya Hambat Nanopartikel Ekstrak Buah Jeruk Kingkit Terhadap Bakteri <i>Staphylacoccus aureus</i> dan <i>Salmonella</i> sp.	64
5.4. KESIMPULAN	66
VI. PENELITIAN TAHAP 2	
“PEMBUATAN DAN KARAKTERISTIK <i>EDIBLE COATING</i> DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL EKSTRAK BUAH JERUK KINGKIT SEBAGAI ANTIMIKROBA”	67
6.1. PENDAHULUAN	67
6.1.1. Latar Belakang	67
6.1.2. Tujuan	68
6.2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN	69
6.2.1. Bahan dan Alat Penelitian	69
6.2.2. Metode Penelitian	69
6.2.3. Pelaksanaan Penelitian	69
1. Pembuatan <i>Edible coating</i> Glukomanan Porang dengan Penambahan Nanopartikel Jeruk kingkit	69

	Halaman
6.2.4. Pengamatan	72
a. Viskositas	72
b. Pengujian Mikrostruktur dengan SEM	72
c. Pengujian dengan Metode XRD	72
6.3. HASIL DAN PEMBAHASAN	73
6.3.1. Viskositas <i>Edible coating</i>	73
6.3.2. Mikrostruktur <i>Edible coating</i> dengan SEM	75
6.3.3. X-Ray Diffraction (XRD) <i>Edible coating</i>	77
6.4. KESIMPULAN	79
VII. PENELITIAN TAHAP 3	
“APLIKASI <i>EDIBLE COATING</i> DENGAN NANOPARTIKEL EKSTRAK JERUK KINGKIT PADA PRODUK PERIKANAN DAN PENDUGAAN UMUR SIMPAN MENGGUNAKAN METODE ASLT”	80
7.1. PENDAHULUAN	80
7.1.1. Latar Belakang	80
7.1.2. Tujuan	81
7.2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN	82
7.2.1. Bahan dan Alat Penelitian	82
7.2.2. Metode Penelitian	82
7.2.3. Pelaksanaan Penelitian	82
7.2.3.1 Pembuatan Bakso Ikan	82
7.2.3.2 Prosedur Penentuan Masa Simpan	83
7.2.4. Pengamatan	84
a. Total Bakteri	85
b. Uji Sensori Bakso Ikan	86
c. Penentuan Umur Simpan Bakso dengan Metode ASLT	88
d. Kadar Air	91
e. Kadar Protein	92
7.3. HASIL DAN PEMBAHASAN	93
7.3.1. Total Bakteri	93
7.3.2. Uji Sensori	96
a. Warna	96
b. Aroma	100
c. Tekstur	103
7.3.3. Penentuan Umur Simpan Bakso Ikan	106
7.3.4. Penentuan Perlakuan Terbaik	112
7.3.5. Uji Proksimat	113

	Halaman
7.4. KESIMPULAN	114
VIII. PEMBAHASAN UMUM	116
IX. KESIMPULAN DAN SARAN UMUM	124
9.1 Kesimpulan	124
9.2 Saran	125
DAFTAR PUSTAKA	126

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kriteria Mutu Sensori Bakso ikan	25
2. SNI Bakso Ikan 7266-2017	26
3. Formulasi Pembuatan Larutan Kitosan	42
4. Formulasi Penggunaan Kitosan : Ekstrak Jeruk Kingkit : Natpp dalam Pembuatan Nanopartikel (100 ml)	42
5. Nilai Geseran Kimia Hasil NMR Senyawa Hasil Isolasi Dari Ekstrak Buah Jeruk Kingkit	52
6. Data Hasil GC/MS Ekstrak Murni Buah Jeruk Kingkit	54
7. Diameter dan Indeks Polidispersitas Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit	57
8. Hasil Pengukuran Diameter Zona Bening Nanopartikel Ekstrak Buah Jeruk Kingkit Terhadap Bakteri <i>Staphylacoccus aureus</i>	60
9. Hasil Pengukuran Diameter Zona Bening Nanopartikel Ekstrak Buah Jeruk Kingkit Terhadap Bakteri <i>Salmonella</i> sp.	61
10. Penentuan Perlakuan Terbaik Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit	65
11. Formulasi <i>edible coating</i> glukomanan porang dengan gliserol dan CMC	70
12. Nilai Viskositas Pada Larutan <i>Edible coating</i> dengan Penambahan Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit	73
13. Struktur morfologi <i>edible coating</i> dengan penambahan nanopartikel buah jeruk kingkit	76
14. Kuisisioner Uji Sensori Bakso Ikan	87
15. Plot Hubungan Parameter Mutu Dengan Suhu Penyimpanan Dan Konsentrasi Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit 0%	107
16. Plot Hubungan Parameter Mutu Dengan Suhu Penyimpanan Dan Konsentrasi Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit 1%	108
17. Plot Hubungan Parameter Mutu Dengan Suhu Penyimpanan Dan Konsentrasi Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit 2%	108
18. Plot Hubungan Parameter Mutu Dengan Suhu Penyimpanan Dan Konsentrasi Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit 3%	109
19. Plot Hubungan Parameter Mutu Dengan Suhu Penyimpanan Dan Konsentrasi Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit 4%	109
20. Plot Hubungan Parameter Mutu Dengan Suhu Penyimpanan Dan	

Tabel	Halaman
Konsentrasi Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit 5%	110
21. Pendugaan Umur Simpan Bakso Ikan Berdasarkan Ordo 1 Pada Suhu -14°C, 7°C, dan suhu ruang	112
22. Penentuan Perlakuan Terbaik Bakso Ikan	113
23. Hasil Analisis Proksimat pada Perlakuan Terbaik	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Morfologi Tanaman Jeruk Kingkit	18
2. Struktur Kimia Glukomanan	21
3. Tahapan Penelitian	35
4. Proses Pembuatan Ekstrak Buah Jeruk Kingkit	39
5. Prosedur Pembuatan Nanopartikel	43
6. Prosedur Pembuatan Media NA	44
7. Diagram Alir Pembiakan Bakteri	45
8. Kromatografi Lapis Tipis Fraksi Aseton Jeruk Kingkit Menggunakan Eluen Etil Asetat:N-Heksana 30%	48
9. Kromatografi Hasil KCV Menggunakan Eluen Etil Asetat : <i>n</i> -Heksana (70%: 30%)	49
10. Kromatogram KLT Hasil KK Fraksi 6	49
11. Kromatogram Hasil KLT	49
12. Spektrum UV-VIS Senyawa Hasil Isolasi	50
13. Spektrum IR Senyawa Hasil Isolasi	51
14. Pola Korelasi Berdasarkan Korelasi HMBC Senyawa Hasil Isolasi	53
15. Kromatogram Pengujian GC-MS Ekstrak Murni Buah Jeruk Kingkit	54
16. Hasil Pengujian SEM Nanopartikel Ekstrak Buah Jeruk Kingkit	56
17. Hasil Pengujian PSA Nanopartikel Ekstrak Buah Jeruk Kingkit	59
18. Diameter Zona Bening Nanopartikel Ekstrak Buah Jeruk Kingkit Terhadap Bakteri <i>Staphylacoccus aureus</i>	64
19. Diameter Zona Bening Nanopartikel Ekstrak Buah Jeruk Kingkit Terhadap Bakteri <i>Salmonella sp</i>	64
20. Diagram Alir Pembuatan <i>Edible coating</i> Glukomanan Porang	71
21. Hasil SEM <i>Edible coating</i> dengan Penambahan Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit	75
22. Hasil XRD <i>Edible coating</i> dengan Penambahan Nanopartikel Buah Jeruk Kingkit	77
23. Diagram Alir Proses Pembuatan Bakso Ikan Ekor Kuning	

Gambar	Halaman
(<i>Caesio cuning</i>)	83
24. Diagram Alir Proses Penyimpanan Bakso Dengan Pelapisan <i>Edible coating</i>	84
25. Grafik Regresi Linear Parameter Mutu Bakso Ikan Pada Kemasan Active Packaging (Ordo Nol)	88
26. Grafik Regresi Linear Parameter Mutu Bakso Ikan Pada Kemasan Active Packaging (Ordo Satu)	89
27. Grafik Hubungan Antara Nilai $1/T$ Dengan $\ln K$ Dalam Persamaan Arrhenius	90
28. Diagram Alir Pendugaan Umur Simpan Bakso Ikan	91
29. Diagram Hubungan Lama Penyimpanan Dengan Skor ALT Bakso Ikan Dengan Penambahan Nanopartikel Jeruk Kingkit	94
30. Diagram Hubungan Lama Penyimpanan Dengan Skor Warna Bakso Ikan Dengan Penambahan Nanopartikel Jeruk Kingkit	98
31. Visualisiasi Bakso Ikan Yang Dilapisi <i>Edible coating</i> Nanopartikel Ekstrak Buah Jeruk Kingkit	99
32. Diagram Hubungan Lama Penyimpanan Dengan Skor Aroma Bakso Ikan Dengan Penambahan Nanopartikel Jeruk Kingkit	101
33. Diagram Hubungan Lama Penyimpanan Dengan Skor Tekstur Bakso Ikan Dengan Penambahan Nanopartikel Jeruk Kingkit	104

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan serta eksploitasi teknologi nano telah meluas ke berbagai sektor industri, termasuk manufaktur makanan, pertanian, kosmetik, dan konstruksi. Perkembangan nano-teknologi terjadi karena adanya beberapa kelebihan, seperti karakteristik unik dari partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan yang lebih besar, dan kemampuannya yang fleksibel dalam berintegrasi dengan teknologi lainnya, sehingga memungkinkannya untuk digunakan dalam berbagai bidang. Teknologi nano sering kali dikembangkan sebagai alat untuk menghantarkan substansi aktif dalam produk pangan atau farmasi dengan tujuan mengatur pelepasan agen aktif, meningkatkan solubilitas, dan memperbaiki biodisponibilitas di dalam organisme. (Palupi dkk., 2020). Salah satu teknologi-nano yang dapat dimanfaatkan dalam industri pangan yaitu nanopartikel.

Penggunaan nanopartikel dalam proses pengolahan pangan adalah metode yang efisien untuk mengintegrasikan senyawa bioaktif ke dalam bahan pangan. Palupi dkk (2020) dalam penelitiannya menerangkan bahwa penggunaan sistem nanopartikel dalam pangan dapat mengoptimalkan sifat bahan baku pangan yang digunakan. Penggunaan nanopartikel dalam produk pangan dapat meningkatkan karakteristik fisikokimia dan fungsionalnya, sehingga dapat digunakan sebagai komponen dalam bahan komposit yang dapat terurai secara alami, salah satunya dapat meningkatkan aktivitas antimikroba. Pembuatan nanopartikel menggunakan metode gelasi ionik, dimana pada metode ini yang berperan untuk menentukan ukuran partikel dalam bentuk nano adalah penggunaan kitosan dan NaTPP. Jeruk kingkit dikenal sebagai salah satu tanaman yang sering dimanfaatkan dalam praktik etnomedisin. Sejumlah penelitian menyatakan bahwa tanaman ini memiliki sifat anti mikroba dengan aktivitas melawan beragam mikroorganisme seperti *Aegle maemelos*. Aktivitas anti bakteri pada tanaman ini dilakukan dengan ekstraksi heksana, diklorometana dan etanol yang berasal dari daun dan batang, dengan nilai

zona hambat $22\pm 1,68$ mm dan $18\pm 1,07$ mm. Hasil zona hambat tersebut menunjukkan anti bakteri dari ekstrak daun dan batang mampu menghambat pertumbuhan bakteri tersebut Theanphong and Mingvanish (2018). Selain itu, aktivitas anti bakteri dari tanaman ini menunjukkan kemampuan yang baik untuk melawan bakteri gram positif dan negatif.

Theanphong and Mingvanish (2018), juga menjelaskan bahwa ekstraksi minyak atsiri dari daun jeruk kingkit mentah menggunakan heksana, methanol, dan air. Menunjukkan kegiatan antimikroba yang efektif terhadap *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, dan *Proteus vulgaris*. Kemungkinan penghambatan tersebut disebabkan oleh keberadaan flavonoid, tanin, terpenoid, dan alkaloid yang diyakini memiliki sifat antibakteri dan terdapat dalam ekstrak daun serta batang tanaman jeruk kingkit. Buah jeruk kingkit diduga memiliki aktivitas antimikroba seperti pada batang dan daunnya. Aktivitas antimikroba pada jeruk kingkit ini dapat dijadikan salah satu alternatif dalam menjaga kualitas suatu produk pangan.

Umumnya, bahan pangan memiliki sifat yang sensitif dan cenderung mengalami penurunan kualitas dengan cepat. Salah satunya yaitu produk perikanan yang sangat rentan terhadap kontaminasi mikroorganisme, baik mikroorganisme pembusuk maupun patogen. Mikroorganisme tersebut dapat menurunkan umur simpan produk dan bersifat toksik, hal ini tentunya akan berbahaya bagi tubuh. Salah satu cara yang bisa diambil untuk mencegah kontaminasi mikroorganisme adalah dengan memberikan perlindungan melalui penggunaan kemasan yang memiliki sifat antimikroba pada produk, yang dikenal sebagai *edible coating*

Edible coating memiliki kemampuan untuk ditempatkan dan dibentuk langsung ke permukaan material makanan, yang bertujuan untuk memberikan hambatan yang spesifik terhadap perpindahan massa. Studi mengenai penggunaan *edible coating* pada produk pangan telah menjadi subjek penelitian yang luas dan terbukti mampu memperpanjang masa simpan produk serta meningkatkan kualitasnya. Bahan baku utama yang dapat digunakan dalam pembuatan *edible coating* untuk produk pangan

melibatkan polisakarida, lipid, serta campuran atau gabungan dari keduanya. Menurut Rebelo *et al.*, (2017) Beberapa jenis polisakarida yang dapat menjadi bahan dasar dalam pembuatan material biodegradable dapat diambil dari berbagai sumber, termasuk tumbuhan, hewan, bakteri, dan khamir.

Sejumlah polisakarida lain yang bisa digunakan dalam pembuatan *edible coating* bisa ditemukan pada pati, glukomanan, karagenan, agar, pektin, selulosa, dan alginat yang berasal dari tumbuhan. Salah satu potensi pengembangan yang dapat dieksplorasi adalah umbi porang (*Amorphophallus oncophyllus*), yang tersedia dalam jumlah yang cukup melimpah namun belum dioptimalkan pemanfaatannya Menurut Suryati, dkk (2022), kandungan glukomanan yang tinggi dalam tepung porang, berkisar antara 50,84 - 70,70%, menjadikannya potensial sebagai bahan *edible coating* karena memiliki kemampuan perekatan yang kuat. Glukomanan, sebagai salah satu jenis polisakarida yang tersusun dari D-glukosa dan D-mannosa dengan pengikatan glikosida β -1,4, merupakan sumber serat larut yang penting dan dapat menjadi komponen utama dalam pembuatan *edible coating*. Penggunaan teknik pelapisan makanan yang menggunakan *edible coating* dapat mengurangi kerugian berat, mengurangi kontaminasi, dan memperpanjang masa simpan produk.

Salah satu penerapan yang dapat diimplementasikan dalam memberikan lapisan makanan yang dapat dikonsumsi pada bakso ikan adalah melalui penggunaan *edible coating*. Bakso ikan merujuk kepada produk hasil pengolahan ikan yang diminati oleh berbagai kalangan, tidak hanya karena teksturnya yang kenyal dan rasanya yang lezat, tetapi juga karena ukurannya yang kecil, memudahkan dalam mengonsumsinya. Bakso yang terbuat dari ikan rentan mengalami kerusakan karena mengandung asam lemak tak jenuh yang menyebabkan pembentukan senyawa radikal bebas, yang pada akhirnya menghasilkan aroma tidak sedap. Selain itu, bakso ikan juga memiliki jangka waktu penyimpanan yang singkat, hanya bertahan selama satu hari pada suhu ruangan. Salah satu metode yang digunakan untuk memperpanjang masa simpan bakso adalah dengan menerapkan lapisan

pelindung yang dapat dimakan (*edible coating*) agar bakso terhindar dari kerusakan yang mungkin terjadi.

Berdasarkan latar belakang tersebut komponen senyawa alami pada buah jeruk kingkit dapat digunakan sebagai antimikroba yang dapat diaplikasikan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan *edible coating*. Selain itu, pemanfaatan ekstrak buah jeruk kingkit dalam bentuk nanopartikel memiliki keunggulan, antara lain tidak memerlukan energi tambahan dan memiliki permukaan yang luas, sehingga membuatnya lebih efisien dalam melakukan penetrasi bahan aktif. Hal ini dapat memperpanjang masa simpan produk yang dilapisi dengan *edible coating*. Oleh karena itu diperlukan penelitian untuk menentukan konsentrasi optimal nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit sebagai bahan aktif dalam pembuatan *edible coating* sebagai pelapis antimikroba.

1.2. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah karakteristik ekstrak buah jeruk kingkit dan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit yang dihasilkan sebagai anti mikroba, dan bagaimana kemampuan daya hambatnya terhadap pertumbuhan mikroorganisme *Staphylacoccus aureus* dan *Salmonella* sp.?
2. Bagaimanakah karakteristik *edible coating* glukomanan porang yang ditambahkan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit sebagai pelapis antimikroba?
3. Berapakah umur simpan produk olahan ikan menggunakan *edible coating* dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit terbaik dengan metode *Accelerated Shelf Life Test* (ASLT)?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui karakteristik komponen aktif dari ekstrak buah jeruk kingkit (*Triphasia trifolia*);

2. Mengetahui pengaruh konsentrasi kitosan terhadap karakteristik nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit (*Triphasia trifolia*) terhadap morfologi dan kemampuannya menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylacoccus aureus* dan *Salmonella* sp
3. Mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit terhadap karakteristik *edible coating*
4. Mengetahui umur simpan produk olahan ikan yang dilapisi dengan *edible coating* dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit terbaik dengan metode *Accelerated Shelf Life Test (ASLT)*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini adalah :

1. Menambah pengetahuan mengenai karakteristik dan manfaat dari ekstrak buah jeruk kingkit sebagai antimikroba herbal;
2. Menambah pengetahuan mengenai manfaat penggunaan teknik nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit sebagai antimikroba herbal bagi produk pangan;
3. Menambah pengetahuan dengan teknik pelapisan produk menggunakan *edible coating* dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit dapat memperpanjang dan mempertahankan mutu produk olahan hasil perikanan salah satunya bakso ikan.

1.5. Nilai Kebaruan dan Kedalaman

Penelitian mengenai jeruk kingkit hanya terfokus pada pemanfaatan daun dan batangnya saja. Buah jeruk kingkit memiliki sifat sebagai antimikroba yang saat ini belum pernah dilakukan penelitian. Karakteristik anti-mikroba yang dimiliki oleh ekstrak buah jeruk kingkit berpotensi untuk mencegah bakteri patogen mengkontaminasi berbagai jenis makanan. Pemanfaatan sifat antimikroba ekstrak buah jeruk kingkit dalam mengatur perkembangan mikroba pada produk makanan dapat meningkatkan daya tahan dan kualitas makanan.

Sifat antimikroba pada buah jeruk kingkit ini dapat diaplikasikan pada produk pangan dalam bentuk nanopartikel. Pemanfaatan teknik nanopartikel pada buah jeruk kingkit saat ini belum pernah dilakukan penelitian. Penggunaan nanopartikel ini bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik, mekanis dan biologi dari komponen aktif buah jeruk kingkit yang dihasilkan. Selain itu, metode ini bisa mempermudah penetrasi zat aktif ke dalam bahan, yang kemudian dapat memperpanjang masa simpannya. Oleh karena itu, dalam konteks penelitian ini, dikembangkanlah bahan biodegradable dengan menerapkan teknik pelapisan di seluruh bagian produk pangan menggunakan *edible coating* dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit sebagai agen antimikroba.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan hanya terfokus pada pembuatan *edible coating* dengan beberapa jenis polisakarida dan plasticizer. Selain itu, penelitian terkait pengembangan biodegradable masih menggunakan beberapa polimer alami dan sintetis. Polimer alami ini, salah satunya dapat ditemukan pada buah porang. Glukomanan porang dapat membentuk lapisan film dan berperan sebagai *biocompatibility* yang baik. *Edible coating* dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit terbaik hasil dari penelitian ini akan digunakan untuk meningkatkan masa simpan produk olahan hasil perikanan dengan menggunakan metode *accelerated shelf life test* (ASLT). Penelitian yang telah dilakukan terkait dengan nanopartikel, *edible coating*, tepung porang, dan jeruk kingkit, dapat dilihat pada Lampiran 1, 2 dan 3.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teknologi Nano Partikel

Nano teknologi merupakan cabang ilmu yang memfokuskan pada partikel-partikel dengan ukuran antara 1 hingga 1000 nanometer. Salah satu keuntungan dari nano teknologi adalah adanya peningkatan kelarutan dan luas permukaan partikel, yang secara efektif menghasilkan dosis yang lebih rendah yang diperlukan untuk pengobatan, serta memungkinkan penggunaan obat bertarget yang lebih efisien. (Jain *et al.*, 2013). Penggunaan aplikasi nanopartikel atau nanokristalin meliputi penguatan, pengisian polimer sintetis plastik, penambahan pada bahan pangan, integrasi dalam komposit biodegradable, dan sebagai carier. Partikel nano memiliki luas permukaan sangat besar sehingga membuat partikel nano lebih aktif (Ayumi dkk., 2018). Nanopartikel yang mengandalkan polimer telah diidentifikasi sebagai komponen yang bermanfaat dalam berbagai sistem penghantar obat. Penggunaan nanopartikel polimer memungkinkan peningkatan dalam bioavailabilitas obat, pengaturan pelepasan obat secara terkendali, serta penguatan proses melarutkan obat dalam sistem penghantaran obat sistematis.

2.1.1. Metode Pembuatan Nanopartikel

Sintesis nanopartikel merupakan proses yang dapat dilakukan dalam berbagai fase antara lain yaitu padat, cair, dan gas. Proses sintesis tersebut juga dapat terjadi melalui mekanisme fisik maupun kimia. Dalam konteks fisik, sintesis dilakukan tanpa terjadinya interaksi kimia, melainkan hanya transformasi material besar menjadi partikel ukuran nano. Ekstrak nano yang dihasilkan merupakan suspensi koloid padat dengan ukuran partikel yang berada dalam rentang 1 hingga 1000 nanometer, yang mengandung material makromolekul. Partikel tersebut dapat dimanfaatkan dalam konteks medis sebagai pengantar obat yang mengandung senyawa aktif yang telah larut, terperangkap, dan terenkapsulasi. Material yang umum digunakan dalam hal ini adalah kitosan dan NaTPP, yang memiliki peran

penting dalam proses pelepasan senyawa aktif (Ningsih dkk., 2017). Dalam konteks sintesis kimia, proses tersebut melibatkan serangkaian reaksi kimia yang mengubah sejumlah materi awal menjadi materi lain dalam ukuran nanometer, sebagaimana dijelaskan oleh Fahmi (2019). Salah satu pendekatan yang sering kali digunakan dalam sintesis nanopartikel adalah metode top down dan bottom up.

a. Metode Top-Down

Metode top down adalah salah satu pendekatan yang diterapkan dalam sintesis nanopartikel, dimana bahan yang memiliki dimensi makro diuraikan menjadi partikel dengan skala nanometer. Pendekatan ini secara spesifik menekankan proses pemecahan fisik material tanpa kadang-kadang disebut sebagai pendekatan fisik karena memerlukan reaksi kimia pada prekursor (Fahmi, 2019). Beberapa metode top down antara lain yaitu :

1. Litografi (*Nanolitografi*) adalah suatu teknik sintesis nanopartikel yang melibatkan pembentukan pola pada skala ukuran yang sangat kecil, mulai dari 1 nanometer hingga puluhan milimeter. Proses tersebut melibatkan beberapa teknik, termasuk fotolitografi, litografi elektron bundar, dan litografi ion fokus.
2. Sistem Grinding (*Ball Mill*) merupakan teknik yang memanfaatkan media grinding yang terbuat dari wolfram karbida atau baja. Fungsinya terutama berkaitan dengan proses pemulusan atau penghancuran bahan dengan menggunakan bola penumbuk yang terdapat di dalam tabung berputar secara horizontal.
3. Mekanokimia, menggunakan gelombang ultrasonik yang disalurkan ke dalam medium cair untuk menginduksi pembentukan gelembung kavitas, yang pada akhirnya mampu menghasilkan partikel dengan ukuran nanometer. Pendekatan ini merupakan integrasi fenomena mekanik dan kimia yang terkait dengan pengolahan padatan secara mekanik.
4. Metode Paduan Mekanik merupakan pendekatan yang mengacu pada pembentukan nanokomposit melalui pencampuran logam atau oksida logam sebagai pengganti material komposit yang terkandung. Tahapan proses dimulai dengan menggiling menggunakan penumbuk bola untuk menghancurkan bahan

paduan menjadi bubuk halus, kemudian memanaskannya di bawah titik leleh logam dan memisahkannya untuk mendapatkan produk jadi.

b. Metode Bottom-Up

Metode bottom-up merupakan nanopartikel sintetis yang dibuat dengan menggabungkan kelompok komponen yang sangat kecil. Metode ini memanfaatkan rangkaian reaksi kimia yang dilakukan pada prekursor untuk menghasilkan material lain yang berukuran (Fahmi, 2019). Beberapa jenis metode bottom-up antara lain yaitu :

1. Proses deposisi uap kimia melibatkan pemanfaatan prekursor gas yang mengalami transformasi kimia sehingga terbentuk lapisan padat pada substrat yang sedang dipanaskan. Substrat bertindak sebagai media penerima yang menerima campuran prekursor gas yang cenderung berinteraksi atau terurai ketika mencapai menghasilkan endapan yang diinginkan pada permukaan substrat. Produk samping sering kali dihasilkan dalam proses ini, namun produk tersebut dapat dihilangkan oleh gas yang mengalir melalui ruang reaksi. Proses ini memerlukan suhu tinggi agar reaksi kimia dapat terjadi, yang berarti harus digunakan sumber panas yang substansial
2. Dekomposisi termal, atau termolisis, merujuk pada fenomena dekomposisi kimia yang dipicu oleh kenaikan suhu. Proses ini berlangsung pada suhu dekomposisi substrat, yaitu titik suhu di mana substrat mengalami dekomposisi kimia.
3. Deposisi uap fisik merupakan suatu teknik deposisi yang melibatkan bahan dalam bentuk padatan atau cairan yang mendingin dengan cepat setelah menguap untuk menghasilkan nanopartikel yang dibutuhkan. Bahan bertekanan uap rendah dan titik leleh tinggi dapat digunakan dengan teknik ini.
4. Reduksi kimia merupakan teknik yang melibatkan reaksi pengurangan ion untuk membentuk padatan dengan bilangan oksidasi nol. Proses ini menggunakan peralatan yang relatif sederhana dan berlangsung dengan kecepatan tinggi, namun mampu menghasilkan sejumlah nanopartikel yang signifikan.

5. Metode reduksi tidak langsung adalah suatu pendekatan yang tidak menggunakan senyawa kimia pereduksi secara langsung, sehingga dapat mengurangi risiko pencemaran tambahan pada nanopartikel. Pendekatan ini mencakup berbagai teknik seperti gelombang mikro, plasma cair, gammaradiolisis, gelombang ultrasonik, dan fotoreduksi.
6. *Spray drying* merupakan teknik yang digunakan dalam industri untuk menciptakan partikel bubuk dengan dimensi dan kadar air yang telah ditetapkan dari zat cair yang, dengan bantuan gas panas, mengering dengan cepat. Teknik ini dapat digunakan pada material yang rentan terhadap perubahan suhu.
7. *Spray pyrolysis* adalah suatu proses yang melibatkan penguraian larutan menjadi partikel padat melalui atomisasi dan pemanasan tetesan. Partikel nanopadat yang dihasilkan memiliki dimensi dan kelembapan yang terdefinisi secara spesifik. Proses ini terdiri dari empat tahapan utama, secara khusus, prekursor diubah menjadi oksida, tetesan terbentuk dari larutan asli, penguapan mengurangi ukuran tetesan, dan partikel padat terbentuk. Atomisasi cair dan atomisasi ultrasonik adalah dua teknik yang tersedia untuk produksi tetesan. Partikel yang dihasilkan oleh atomisasi cair memiliki distribusi ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan partikel yang dihasilkan oleh atomisasi ultrasonik yang memiliki distribusi ukuran lebih kecil meskipun jumlahnya lebih sedikit.
8. *Sintesis solvothermal*, Pada sintesis solvothermal, metode yang digunakan melibatkan penggunaan pelarut non-air yang dipanaskan pada suhu melebihi titik didihnya. Hal ini menyebabkan Perbaikan solubilitas materi padat dan percepatan laju reaksi merupakan tujuan utama dalam pengembangan proses sintesis nanopartikel. Proses tersebut umumnya dilakukan dalam sistem yang hermetis, memungkinkan pembentukan nanopartikel dengan dimensi, distribusi morfologi, dan struktur kristalin yang dapat dikendalikan. Sifat-sifat khas dari dapat mengontrol nanopartikel akhir dengan bermain-main dengan variabel eksperimental termasuk suhu, waktu reaksi, pelarut, surfaktan, dan prekursor.
9. Metode fluida superkritik secara prinsip melibatkan materi yang berada pada kondisi suhu dan tekanan yang melebihi titik kritisnya. Karakteristik dari jenis fluida ini mencakup sifat campuran antara gas dan cairan, yang

memungkinkannya untuk berdifusi melalui substrat padat seperti gas, sambil memiliki kapasitas pelarutan seperti cairan. Fluida superkritik memiliki kemampuan untuk bertindak sebagai pelarut dengan daya larut yang signifikan. Sebagai contoh, CO₂ adalah salah satu contoh fluida superkritik yang diperoleh dengan meningkatkan suhu dan tekanan di atas titik didihnya. Di sekitar titik kritis, bahkan perubahan kecil pada suhu atau tekanan dapat mengakibatkan perubahan yang substansial pada sifat-sifat fluida, seperti densitas dan viskositas..

10. Metode sol-gel merupakan suatu pendekatan yang dimulai dengan proses sintesis koloid yang melibatkan reaksi disperse dan hidrolisis. Pendekatan ini sering digunakan dalam pembuatan material nanokristalin. Proses disperse melibatkan pembuatan suspensi padatan dalam fase cair (sol) dengan menggunakan larutan oksida atau hidroksida yang memiliki pH yang sesuai. Hal ini memungkinkan partikel untuk tetap tersebar dalam suspensi. Di sisi lain, hidrolisis melibatkan penambahan larutan alkoksida ke dalam air, menghasilkan oksida dalam bentuk koloid. Gel terbentuk dari sol melalui proses dehidrasi atau polimerisasi, menghasilkan padatan yang sedikit kaku dan menyimpan cairan atau pelarut di dalamnya. Setelah itu, gel dipanaskan dengan cara kalsinasi sehingga menghasilkan oksida setelah dekomposisi alkoksida. Metode Sol-Gel memungkinkan pengendalian yang teliti terhadap ukuran partikel dan struktur material
11. Metode kopresipitasi, sebagai pendekatan awal, juga merupakan strategi yang signifikan dalam proses sintesis nanopartikel. Dalam proses ini, ion positif dari suatu larutan diendapkan bersama-sama. Berbagai senyawa seperti hidroksida, sulfat, karbonat, dan oksalat digunakan sebagai agen pengendap, dengan prinsip dasar pengendapan senyawa secara bersamaan ketika mencapai titik jenuh. Kopresipitasi memungkinkan pembentukan nanopartikel berukuran terkontrol pada suhu rendah. Bagian yang diinginkan terdapat dalam senyawa prekursor yang dibuat melalui pencampuran tingkat atom dalam teknik prekursor dari senyawa tersebut ada dalam stoikiometri yang sesuai.

12. Kimia Koloid telah memfasilitasi pembuatan beragam semikonduktor, isolator, magnet, dan banyak logam mulia serta nanopartikel lainnya dalam keadaan koloid dengan ukuran berkisar antara 3 hingga 50 nm. Perlakuan khusus diperlukan untuk mencegah aglomerasi yang dapat menyebabkan peningkatan ukuran partikel. Ini dapat dicapai melalui deaktivasi dengan menambahkan bahan penghambat aktivasi, yang melindungi permukaan nanopartikel dari aglomerasi.

2.1.2. Macam Nanopartikel Pada Bidang Lain

Bidang farmasi membagi nanopartikel menjadi dua kategori utama, yakni nanokristal dan nanocarrier.

1. Nanokristal

yaitu Penggabungan beberapa molekul yang membentuk struktur kristal dalam senyawa obat murni, yang dilakukan dengan menggunakan surfaktan dalam proses penyalurannya, merupakan karakteristik khas dari nano kristal. Stabilitas nano kristal tidak bergantung pada jumlah surfaktan yang besar karena adanya gaya elektrostatik, yang pada gilirannya mengurangi risiko keracunan oleh bahan tambahan.

2. Nanocarrier

adalah suatu sistem pembawa yang beroperasi dalam skala nanometer yang terdiri dari :

a) *Nanotube* merupakan formasi atom yang tersusun dalam bentuk tabung dengan ukuran nanometer yang menunjukkan saluran dalam dan pola struktur yang menyerupai konfigurasi karbon. Penggunaan nanotube tunggal dalam konteks genomik dilakukan sebagai sarana untuk mengirimkan obat karena memiliki bentuk yang mirip dengan asam nukleat. Di sisi lain, nanotube dengan dua lapisan dindingnya dimanfaatkan sebagai vektor dalam transformasi sel bakteri dan elektroporasi sel.

b) Nanoliposom

adalah konsentrat vesikel berstruktur lapis ganda yang memuat larutan intraseluler, dikelilingi oleh membran lipid ganda yang terbentuk dari fosfolipid alami, seperti yang umumnya ditemukan dalam literatur ilmiah.

c) Nanopartikel lipid padat

Pembawa koloid yang terbentuk dari lipid, memiliki dimensi antara 20 hingga 100 nanometer, dan tersebar dalam media air atau larutan surfaktan, menampung inti hidrofob padat yang dilapisi oleh lapisan fosfolipid tunggal. Inti padat ini memuat senyawa obat yang terdispersi dalam matriks lemak padat yang memiliki kelarutan yang tinggi.

d) Misel

Molekul amfipatik adalah sebuah ansambel yang tersusun dari partikel-partikel molekul yang memiliki sifat amfifilik, di mana bagian nonpolar terdapat di dalamnya sementara bagian polar terletak di permukaan yang terpapar air.

2.1.3. Pembuatan Nanopartikel Sistem Polimer

Pembentukan nanopartikel dalam kerangka sistem polimer melibatkan penerapan dua teknik umum yang sering digunakan dalam konteks praktis, yaitu proses polimerisasi monomer sintesis dan dispersi polimer

1) Polimerisasi Monomer Sintesis

Nanopartikel tercipta melalui penciptaan reaksi polimerisasi dari monomer dengan maksud untuk menghasilkan polimer sebagai medium pengangkut. Pendekatan ini melibatkan penyebaran monomer yang tak larut dalam air ke dalam medium air, kemudian dilanjutkan dengan pencetus reaksi melalui inisiator kimia, pengaturan pH yang berbeda, serta penggunaan stabilizer sebagai penyetel dalam proses reaksi tersebut.

2) Dispersi Polimer

Pembentukan nanopartikel dengan menggunakan polimer mengikuti prinsip presipitasi, yang secara substansial melibatkan penciptaan emulsi antara fase organik yang memuat polimer yang dapat larut dan air. Proses ini kemudian diikuti

dengan penghilangan fase organik untuk membentuk partikel. Metode ini dapat dibagi menjadi beberapa jenis, sesuai dengan pendekatan yang digunakan dalam prosesnya yaitu :

a) Metode Penguapan Pelarut

Polimer yang larut dalam pelarut organik, seperti etil asetat, yang bertindak sebagai medium pelarut untuk zat-zat obat yang bersifat hidrofobik, dicampurkan dengan larutan obat. Langkah berikutnya melibatkan emulsifikasi campuran larutan obat dan polimer dalam larutan yang mengandung surfaktan untuk membuat emulsi minyak dalam air (o/w). Pelarut organik dikeluarkan dari emulsi setelah distabilkan melalui metode pengadukan magnetis yang terus menerus diperas atau diputar. Jenis dan konsentrasi zat penstabil yang digunakan, kecepatan pengadukan homogenizer, dan konsentrasi polimer semuanya mempengaruhi ukuran partikel dalam emulsi ini dalam larutan. (Mohanraj and Chen, 2013).

b) Emulsifikasi Spontan

Sebuah metode yang merupakan variasi dari teknik penguapan pelarut telah diterapkan dalam penelitian ini. Minyak diproduksi dengan menggabungkan pelarut yang larut dalam air dengan sejumlah kecil pelarut organik yang tidak larut dalam air. Proses difusi spontan pelarut menghasilkan turbulensi pada antarmuka dua fase, yang pada akhirnya mengarah pada pembentukan partikel-partikel kecil. Perhatikan hal ini: ukuran partikel yang tercipta berbanding lurus dengan konsentrasi air yang mungkin terlarut dalam pelarut. (Mohanraj and Chen, 2013).

c) Gelasi Ionik

Melalui penggunaan pasangan ion multivalen dan polielektrolit, interaksi silang difasilitasi dalam lingkungan eksperimental. Gelasi ionik diterapkan, dan kemudian polielektrolit lawan terlibat dalam kompleksasi polielektrolit muatan telah terbukti sebagai pendekatan yang efektif dalam meningkatkan kekuatan mekanis partikel yang terbentuk, sebagaimana dicatat oleh Park and Yeo (2014). Dalam konteks ini, kitosan, sebagai polimer kationik, mampu berinteraksi dalam kombinasi dengan

anion multivalen seperti tripolifosfat. Dengan menggunakan prosedur gelasi ionik, tetesan cairan yang tersebar dalam fase minyak atau organik dikeraskan untuk menghasilkan mikropartikel. Langkah ini memerlukan penggabungan dua fase cair: satu dengan anion multivalen dan yang lainnya dengan kitosan.

d) Spray Drying

Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi nanopartikel yang dihasilkan dari proses pembuatan menggunakan pelarut organik sebagai medium penyebar obat di dalam polimer, yang kemudian disemprotkan melalui alat spray dry. Langkah-langkah ini memungkinkan partikel-partikel padat berukuran nanometer terbentuk setelah pelarut menguap selama proses penyemprotan melalui aliran udara panas.

Karakterisasi nanopartikel diperlukan dalam konteks pemahaman mekanis perilaku nanopartikel, yang esensial untuk mengestimasi kinerja, merancang formulasi, serta mengatasi kendala-kendala dalam proses pembuatan nanopartikel. Karakterisasi ini dapat dilaksanakan melalui beberapa metode seperti :

1. Sifat Organoleptik

Sifat organoleptik dilakukan untuk mengevaluasi morfologi nanopartikel yang mungkin mempengaruhi karakteristik pelepasan senyawa aktifnya, pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan kemampuan penyesuaian perbesaran. Analisis kejernihan secara visual diterapkan untuk menentukan morfologi dan dimensi nanocarrier. Mengingat partikel-partikel berukuran nanometer tidak dapat diamati secara langsung melalui pengamatan visual tanpa menggunakan alat bantu, suspensi akan tampak transparan dan tidak berwarna selama proses observasi (Perdana, 2015).

2. Ukuran dan Distribusi Ukuran Nanopartikel

Indeks Polidispersitas (IP) adalah parameter yang menggambarkan sifat distribusi nanopartikel yang mencerminkan tingkat keseragaman nanopartikel yang terbentuk. Semakin rendah nilai indeks polidispersitas, semakin seragam nanopartikel yang dihasilkan (Flareyanti dan Rahmat, 2019). Rentang nilai IP

biasanya berkisar antara 0 hingga 1. Nilai IP antara 0,1 hingga 0,7 menandakan nanopartikel yang memiliki tingkat keseragaman yang baik, dikenal sebagai monodispersi, Nilai IP yang melebihi 0,7 mengindikasikan adanya penyebaran ukuran partikel yang lebih besar, yang sering kali merujuk pada polidispersi yang rendah (Fitri *et al.*, 2021). Pengukuran atribut dimensi dan sebaran nanopartikel dapat dilaksanakan melalui penggunaan perangkat Analisis Ukuran Partikel (PSA) yang mengoperasikan dirinya berdasarkan prinsip Spektroskopi Korelasi Foton dan Penyebaran Cahaya Elektroforetik.

3. Morfologi Nanopartikel

Penelitian tentang pengaruh bentuk dan keadaan permukaan nanopartikel terhadap sifat pelepasan obat merupakan aspek penting dalam bidang farmasi. Metode-metode analisis seperti Pendeteksian Mikroskopis dengan menggunakan mikroskop elektron pemindaian, mikroskop elektron transmisi (TEM), dan Mikroskop Atom Daya digunakan untuk menentukan morfologi nanopartikel tersebut.

4. Potensial Zeta

Potensial zeta digunakan untuk mengevaluasi atribut muatan permukaan dari nanopartikel yang terkait dengan fenomena interaksi elektrostatik di antara mereka. Interaksi elektrostatik ini memiliki peran yang signifikan dalam mengatur kecenderungan agregasi dan repulsion antara partikel-partikel tersebut. Potensial zeta merujuk pada muatan permukaan partikel yang tersebar di dalam medium pendispersi. Biasanya, nilai potensial zeta harus melebihi nilai potensial medium pendispersi untuk menghambat terjadinya agregasi. Nanopartikel yang memiliki nilai potensial zeta di bawah -30 mV atau di atas +30 mV umumnya menunjukkan stabilitas yang lebih tinggi. Sistem dispersi yang memiliki nilai potensial zeta yang rendah memiliki kecenderungan yang lebih tinggi untuk mengalami agregasi karena gaya Van der Waals yang mempengaruhi interaksi antarpartikel. (Nanocomposix, 2012).

5. Persen Transmittan (%T)

Persentase transmitansi (%T) merupakan parameter yang digunakan dalam penilaian kuantitatif terhadap kejernihan larutan atau sistem dispersi. Ketika nilai persentase transmitansi meningkat, hal tersebut mengindikasikan bahwa ukuran partikel dalam sistem semakin mengecil. Dalam konteks visual, keberadaan dispersi nanopartikel tidak terdeteksi secara langsung oleh mata manusia, sehingga menyebabkan sistem tampak bening dan transparan. (Perdana, 2015). Dimensi kecil dari partikel tersebut mengakibatkan peningkatan dalam gerak brown, yang secara efektif mempercepat proses gerakan partikel. Percepatan gerak brown tersebut menghambat terjadinya sedimentasi dan pada gilirannya menjaga kejernihan larutan.

2.2. Jeruk Kingkit

Sekitar 30.000 populasi tumbuhan obat dari total 40.000 jenis yang tersebar di seluruh dunia, namun hanya sekitar lebih dari 1000 jenis yang telah dimanfaatkan secara efektif. Salah satu contohnya adalah jeruk kingkit yang memiliki nama ilmiah *Triphasia trifoliata* DC. Tanaman ini sering ditemukan di Bangka dan sering dipelihara sebagai bonsai karena mampu beradaptasi dengan baik dalam pot. Di Asia Tenggara, daun jeruk kingkit digunakan secara luas untuk mengobati kolik, diare, dan masalah kulit karena memiliki sifat antimikroba. Nama tanaman ini bervariasi di berbagai daerah. Di Inggris, tanaman ini dikenal sebagai Limeberry, sementara di Thailand disebut limonsito dan di Indonesia dikenal sebagai jeruk kingkit (Hardisto dan Tjandra, 2019).

Jeruk kingkit adalah varietas tumbuhan semak atau pohon kecil yang memiliki ketinggian batang kurang dari 5 cm, berbentuk tegak silindris, dan memiliki duri pada permukaan batangnya. Daun jeruk kingkit adalah jenis daun majemuk. Buahnya berbentuk bulat dengan kulit berwarna merah, permukaan yang halus, dan kulit yang tipis. Meskipun manfaat dari jeruk kingkit belum banyak diketahui oleh masyarakat, diperkirakan tumbuhan ini mengandung beragam senyawa metabolit sekunder yang berpotensi dalam bidang pengobatan penyakit. Aktivitas biologis dari jeruk kingkit juga masih kurang dipahami secara luas oleh masyarakat. Salah satu aktivitas biologis yang diduga dimiliki oleh tanaman ini adalah sebagai

antioksidan. Antioksidan memegang peranan krusial dalam sistem fisiologis manusia dengan melawan efek negatif radikal bebas atau mencegah potensial kerusakan yang dapat disebabkan oleh radikal bebas (Hardisto dan Tjandra, 2019).

Tanaman jeruk kingkit terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Morfologi tanaman jeruk kingkit
Sumber : Zufahmi dan Nurlaila (2018)

Klasifikasi jeruk kingkit adalah sebagai berikut

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i>
Ordo	: <i>Sapindales</i>
Famili	: <i>Rutaceae</i>
Genus	: <i>Triphasia</i>
Spesies	: <i>Triphasia trifolia</i>

Tanaman jeruk kingkit tumbuh sebagai semak berdaun hijau dengan ketinggian mencapai 3 meter dan memiliki tiga helai daun berpasangan, bunga putih kecil, dan buah berwarna merah bulat. Bagian tanaman jeruk kingkit mengandung senyawa aromatik, dan buahnya memiliki aroma lemon yang khas. Asal-usul tanaman ini berasal dari Asia dan Malaysia. Buah yang belum matang dilaporkan mengandung α dan β karoten serta cryptoxanthin, yang kemudian dapat hilang selama proses pematangan buah. Hasil ekstraksi minyak atsiri sangat bervariasi tergantung pada bagian tanaman yang diekstraksi, dengan hasil maksimum yang diperoleh dari buah mencapai sekitar 0,92%, diikuti oleh daun (0,20%) dan batang (0,03%). Semua minyak yang dianalisis memiliki kandungan yang kaya akan sabin (daun: 31,1%, batang: 21,1%, buah: 23,9%) dan senyawa pinen (daun: 40,8%, batang: 36,2%,

buah: 32,4%). Di samping itu, minyak dari buah juga mengandung sekitar 19,6% terpen sebagai konstituen utama (Zoghbi dan Andrade, 2020).

Tanaman ini sering dimanfaatkan dalam bidang etnomedisin, terutama untuk mengatasi berbagai masalah kesehatan seperti batuk, diare, disentri, infeksi parasit, dan gangguan pada sistem pernapasan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tanaman ini memiliki sifat antimikroba yang efektif dalam melawan berbagai jenis mikroorganisme, termasuk *Aegle marmelos*. Ekstrak dari daun dan batang tanaman ini, baik menggunakan pelarut heksana, diklorometana, maupun etanol, telah terbukti memiliki aktivitas antibakteri. Misalnya, ekstrak etanol kasar dari daun menunjukkan zona hambat sebesar $25 \pm 1,36$ mm terhadap *M. luteus*. Ekstrak diklorometana dari daun dan batang juga menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan terhadap *M. luteus*, dengan resistensi sebesar $22 \pm 1,68$ mm dan $18 \pm 1,07$ mm. Temuan ini mengindikasikan bahwa ekstrak dari daun dan batang tanaman ini mampu menghambat pertumbuhan bakteri tersebut. Selain itu, aktivitas antibakteri dari tanaman ini menunjukkan kemampuan untuk melawan bakteri gram positif maupun negatif. Penggunaan pelarut heksana, metanol, dan air dalam ekstraksi minyak atsiri mentah secara signifikan memperlihatkan aktivitas antimikroba yang efektif terhadap sejumlah bakteri tertentu seperti *B. subtilis*, *S. aureus*, *E. coli*, dan *P. vulgaris*. Adanya senyawa-senyawa antibakteri seperti flavonoid, tannin, terpenoid, dan alkaloid yang terdapat dalam ekstrak daun dan batang jeruk kingkit diperkirakan menjadi penyebab utama dari aktivitas antimikroba tersebut (Theanphong dan Mingvanish, 2018). Selain itu, hasil penelitian lain menunjukkan bahwa ekstrak metanol dari daun *Triphasia trifoliata* (Jeruk Kingkit) mengandung tiga jenis kumarin, yaitu isomeranzin, umbelliferone, dan triphasiol (Silva *et al.*, 2012).

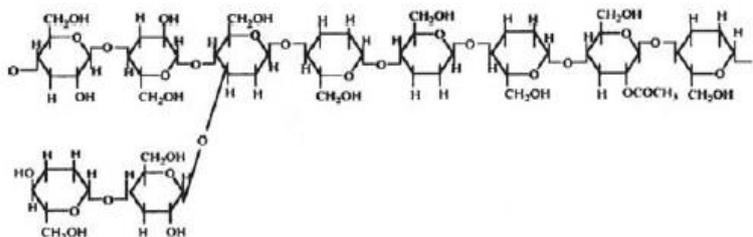
Jeruk kingkit, yang dikenal dengan nama ilmiah *Triphasia trifolia*, mengandung kumarin yang bisa dimanfaatkan untuk mengobati gangguan paru-paru tertentu dan telah terbukti efektif dalam meredakan nyeri pada usus. Menurut Dondon *et al.* (2006), temuan dari analisis menunjukkan bahwa senyawa 3 dalam jeruk kingkit mengandung kumarin yang ditunjukkan oleh pola pita IR yang khas. Selain itu, pergeseran C dan isomerisasi serta pembentukan hidrat merenzin menunjukkan

adanya substitusi gugus metoksi, menyerupai 2 turunan kumarin dan moiety metoksi kumarin, serta pada ion m/z menunjukkan kumarin yang hanya memiliki satu gugus metoksi, serta terdapat pemutusan pada posisi 8 setelah gugus metil terikat. Turunan dari kumarin tersebut, seperti isopimpinellin, heraclonol, byakangelicin, mexotin, dan meranzin hidrat, memiliki potensi sebagai alternatif obat alami untuk berbagai kondisi

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Silva dkk (2012), daun jeruk kingkit mengandung kumarin, limosin, alkaloid, dan karoten. Senyawa fenolik yang diekstraksi dari buah jeruk kingkit, khususnya hidroksifenol, memiliki potensi sebagai agen pencegah virus, meskipun efeknya belum signifikan secara statistik, namun tingkat sitotoksitasnya dapat diamati. Oleh karena itu perlu penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan penggunaan senyawa ini sebagai agen antivirus.

2.3. Glukomanan

Glukomanan, yang juga dikenal sebagai manan, adalah suatu polisakarida yang terbentuk dari urutan galaktosa, glukosa, dan manosa yang terikat secara kimiawi. Partikelnya memiliki dimensi yang 10-20 kali lebih besar daripada pati. Jenis polisakarida ini dapat diklasifikasikan menjadi dua subgrup, yaitu galaktomanan dan glukomanan. Galaktomanan terdiri dari polimer D-galaktosa dan D-mannosa yang terhubung melalui ikatan α -1,4 glikosida, sedangkan glukomanan terdiri dari unit D-glukosa dan D-mannosa. Struktur polimer mannan terbentuk melalui penggabungan ikatan α -1,4 glikosida dan α -1,6 glikosida. Proporsi komposisi dalam satu molekul glukomanan adalah sekitar 33% D-glukosa dan 67% D-mannosa (dalam perbandingan 1:1,6), dengan rentang berat molekul antara 200.000 hingga 2.000.000 dalton, bergantung pada variasi tanaman porang, proses pengolahan yang digunakan, dan periode penyimpanannya (Keithley dan Swanson, 2013). Struktur kimia glukomanan tersaji dalam Gambar 2.



Gambar 2. Struktur kimia glukomanan
Sumber : Okimasu dan Kishida (1982)

Menurut Mulyono (2014), glukomanan memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Glukomanan, yang kapasitas pembengkakannya berkisar antara 138% hingga 200%, dan membentuk massa kental bila dilarutkan dalam air. Jika dilarutkan dalam air dingin, glukomanan membentuk zat kental, tidak seperti pati dan selulosa. Namun, ketika massa glukomanan dipanaskan menjadi gel, ia tidak dapat larut kembali dalam air. Larutan glukomanan menunjukkan sifat yang adhesif dan dapat diendapkan melalui rekristalisasi dengan etanol. Kristal yang terbentuk menyerupai kristal glukomannan yang ada dalam umbi. Ketika glukomanan dicampur dengan larutan alkali (Na, Ka), kristal baru atau massa gel yang tidak larut dalam air akan terbentuk, bahkan pada suhu 100⁰C. Selain itu, glukomannan dapat diregenerasi menjadi mannose dan glukosa melalui metilasi atau hidrolisis asetolasi.
2. Larutan glukomanan yang memiliki konsentrasi 1% menunjukkan karakteristik plastisitas dengan viskositas mencapai 35.000 cps, sehingga merupakan pilihan yang sesuai untuk digunakan sebagai agen pengental. Viskositas larutan ini melebihi bahan pengental alami lainnya
3. Glukomanan mampu menghasilkan sebuah gel ketika dicampur dengan air kapur. Larutan glukomanan yang padat memiliki kemampuan untuk membentuk gel yang khas dan memiliki daya tahan yang tinggi, bahkan ketika dipanaskan hingga mencapai suhu 85⁰C dalam suasana yang sedikit basa dengan pH berkisar antara 9 hingga 10. Gel yang dihasilkan memiliki stabilitas yang tinggi dan tidak dapat terbalikkan, bahkan saat dipanaskan kembali pada suhu antara 100 hingga 200⁰C. Karakteristik ini membuat glukomanan menjadi bahan yang sesuai untuk digunakan dalam berbagai produknya antara lain kue, mie, kue kering, roti, sosis,

dan bakso yang baik untuk program pengendalian berat badan. Namun kualitas glukomanan yang dapat dibalik juga menjadikannya alternatif gelatin yang bagus, pembuat permen lembut, pembuat selai, pembuat yogurt, pembuat puding, pembuat es krim, dan banyak lagi ketika dipanaskan bersamaan dengan xanthan gum atau karagenan pada pH 5, yang menunjukkan adanya sinergi yang efektif.

4. Kekuatan ikatan dalam air sangat kuat, tetapi dapat kehilangan sifat tersebut ketika terjadi penambahan asam asetat.
5. Dapat mengalami proses pengendapan ketika bereaksi dengan etanol, di mana kristal yang terbentuk memiliki kemampuan larut kembali ketika terpapar oleh larutan asam klorida yang encer. Struktur kristal yang dihasilkan mirip dengan kristal glukomanan yang ada dalam umbi. Namun, jika bahan tersebut diaduk dengan larutan alkali, kristal baru akan terbentuk dalam bentuk massa gel yang tidak dapat larut dalam air atau asam encer.
6. Tingkat toleransi terhadap kadar garam yang tinggi
7. Dapat menghasilkan lapisan tipis transparan dengan menambahkan NaOH atau gliserin, sehingga menghasilkan film yang tidak dapat dilewati oleh air

Berdasarkan sifat-sifat yang disebutkan, glukomanan dapat digunakan dalam beragam sektor industri pangan dan dapat pula dimanfaatkan sebagai bahan plastik yang dapat mengalami degradasi alami, baik dalam bentuk lapisan maupun film pelindung. Menurut Supriyanto (2013), glukomanan memiliki manfaat tambahan dalam konteks industri farmasi, di mana larutan glukomanan dipergunakan sebagai agen pengikat dalam proses pembuatan tablet. Proses formulasi tablet, diperlukan bahan pengisi yang mampu memfasilitasi pemecahan tablet di dalam lambung. Umumnya, pati atau agar-agar yang memiliki kemampuan mengembang dalam air sering digunakan untuk tujuan ini. Namun, glukomanan memiliki kapasitas mengembang yang lebih besar, mencapai hingga 200% dibandingkan dengan pati, penggunaan glukomanan dalam pembuatan tablet dapat menghasilkan tablet yang lebih baik. Pada sektor tekstil dan kertas, glukomanan digunakan untuk berbagai tujuan seperti cetakan, penguatan serat, lapisan pelindung, dan ketahanan terhadap air. Adanya kemiripan sifat glukomanan dengan selulosa memperbolehkannya

diaplikasikan sebagai alternatif selulosa dalam beragam sektor industri seperti dalam selenoid, isolasi listrik, produksi film, peralatan toilet, dan produk kosmetik. Kemampuan glukomanan yang sangat efisien dalam menyerap air juga dapat dieksploitasi dalam industri penyerapan (Kurniawan *et al.*, 2016).

2.4. *Edible coating*

Edible coating adalah suatu lapisan tipis zat yang langsung ditempelkan pada permukaan suatu produk pangan dengan cara dicelupkan, disemprotkan, atau dilapisi dengan tujuan mengawetkan dan meningkatkan nilai tambah produk tersebut. Tujuan utama dari penggunaan lapisan makanan yang dapat dimakan adalah untuk melindungi produk makanan dari berbagai kerusakan, seperti yang disebabkan oleh faktor mekanis, fisik, kimia, dan aktivitas mikrobiologis. Lapisan makanan ini tidak hanya bertujuan untuk melindungi, tetapi juga untuk menciptakan kondisi atmosfer pasif yang dapat mempengaruhi berbagai produk segar dan perubahan bahan pangan olahan minimal, termasuk warna, kekakuan, kualitas sensorik, sifat antioksidan, dan kemampuan untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme dan komponen volatil akibat proses anaerobik. Penelitian telah membuktikan bahwa penggunaan lapisan makanan yang dapat dimakan dapat memperpanjang masa simpan produk dan meningkatkan kualitasnya. Lapisan ini biasanya berupa lapisan tipis dan merata yang terbuat dari bahan yang aman untuk dikonsumsi, yang dapat diterapkan langsung pada permukaan komponen makanan (disebut sebagai lapisan) atau diposisikan (disebut sebagai film) di antara komponen makanan. Bahan tambahan makanan seperti pengawet, yang meningkatkan kualitas produk dan umur simpan, dibawa oleh lapisan yang dapat dimakan, yang juga berfungsi sebagai penghalang perpindahan massa komponen termasuk kelembapan, oksigen, lemak, dan senyawa terlarut. Umumnya, lapisan yang dapat dimakan ini diterapkan secara langsung ke produk yang akan dilapisi, terutama digunakan untuk melapisi barang-barang seperti daging yang dibekukan, makanan semi-basah, produk yang dikonveksionari, ayam yang dibekukan, hasil laut, sosis, buah-buahan, dan obat-obatan, terutama sebagai lapisan kapsul.

Komponen yang digunakan untuk membuat lapisan yang dapat dimakan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama, yaitu lipid, hidrokoloid, dan komposit campuran keduanya. Lipid meliputi lilin, gliserol, dan asam lemak, sedangkan hidrokoloid meliputi protein, turunan selulosa, alginat, pektin, pati, dan polisakarida lainnya.

Penambahan senyawa antimikroba pada kemasan dapat mengubah kondisi dalam makanan untuk memperpanjang waktu penyimpanan, menjaga keamanan, dan karakteristik sensori sambil tetap mempertahankan kualitas produk makanan yang dikemas. Penggunaan antioksidan (pembungkus antioksidan) atau antibakteri (pembungkus antimikroba) dalam pembuatan kemasan makanan adalah salah satu teknologi pembungkusan aktif yang umum digunakan saat ini. Teknologi pembungkusan antioksidan didasarkan pada penambahan antioksidan ke dalam film atau lapisan pembungkus untuk menjaga kualitas produk makanan yang rentan terhadap oksidasi lipid. Sementara itu, teknologi pembungkusan antimikroba bergantung pada penambahan zat aktif yang memiliki aktivitas antibakteri untuk melindungi makanan dari kontaminasi lingkungan (Riyandari, 2020).

Manfaat dari produk yang diberi pelapisan edible antara lain adalah :

1. Mengurangi ketersediaan air di permukaan bahan, sehingga menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang dapat merusaknya karena tertutup oleh *edible coating* .
2. Meningkatkan struktur permukaan bahan sehingga terlihat mengkilap,
3. Mengurangi terjadinya dehidrasi, sehingga susut bobot dapat dicegah
4. Menghambat kontak bahan dengan oksigen untuk mencegah oksidasi atau ketengikan,
5. Mempertahankan sifat asli produk seperti rasa.

Selain itu, penggunaan glukomanan sebagai bahan pembuat *edible coating* dengan memanfaatkan sifat larut dan pembentukan lapisan yang tembus pandang sehingga meningkatkan penampilan produk.

2.5. Bakso Ikan

Yang dimaksud dengan bakso ikan adalah sejenis hasil olahan perikanan yang mengandung paling sedikit 40% daging ikan atau potongan surimi, tepung terigu, dan bahan tambahan sesuai kebutuhan. Setelah itu, campuran tersebut menjalani proses pembentukan dan pemasakan (SNI, 2017). Bakso ikan merupakan hidangan yang dihasilkan dengan mencampur daging ikan yang sudah dihaluskan dengan rempah-rempah, tepung, serta bahan tambahan lainnya, lalu melalui proses penggilingan daging, membuat adonan, mencetaknya, dan memasaknya. Dari segi nutrisi, bakso merupakan sumber vitamin A, mineral, dan protein hewani yang sangat baik (Muttaqin *et al.*, 2016).

Kriteria standar untuk bakso ikan telah diatur dalam ketentuan mutu yang tercantum dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 7266:2017. Bakso tersebut diinginkan memiliki struktur yang halus, bebas dari lubang, dan higienis. Warna bakso dapat bervariasi tergantung pada jenis ikan yang dipakai. Selain itu, rasa utama dari daging ikan dipengaruhi oleh jenis ikan yang digunakan. Aroma juga akan bervariasi tergantung pada jenis ikan yang dipilih, termasuk aroma khas dari ikan segar yang direbus dan aroma kuat dari bumbu. Struktur bakso harus solid, padat, dan elastis, tanpa mengandung sisik, tulang, atau duri. Umumnya, bakso dibentuk menjadi bulatan dengan tangan atau dengan memanfaatkan mesin produksi bakso, bakso kemudian dimasak dengan air mendidih sebelum disajikan. Mutu bakso ditentukan oleh banyaknya tambahan tapioka atau sereal lain dalam adonan; semakin banyak tambahan tersebut, semakin menurun kualitasnya. Adapun kriteria mutu dan Standar Nasional Indonesia (SNI 7266-2017) bakso ikan disajikan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Kriteria mutu sensori bakso ikan

Parameter	Bakso Ikan
Penampakan	Bentuknya bulat, ukurannya konsisten, jernih dan mempesona, tidak menjemukan.
Warna	benar-benar putih, tanpa warna lain.
Rasa	Tergantung pada jenis ikan yang digunakan, ikan memiliki rasa yang enak, lezat, dan mendominasi.

Aroma	Jenis ikan yang digunakan akan menentukan seberapa mendominasi aroma khas ikan yang baru dimasak, dan kuatnya aroma rempah.
Tekstur	Tidak lembek, tidak encer, tidak rapuh, padat, elastis, tidak kasar atau menggumpal, bebas serat daging, duri, atau tulang.

Sumber : BSN (SNI 7266-2017)

Tabel 2. SNI bakso ikan 7266-2017

Parameter Uji	Satuan	Persyaratan
a. Sensori		
Bau	-	Normal, spesifik produk
Rasa	-	Gurih, spesifik produk,
Tekstur		padat, kompak, agak kenyal
b. Kimia	-	
Kadar Air	%	Maksimal 70
Kadar Abu	%	Maksimal 2,5
Kadar Protein	%	Minimal 7
Histamin	mg/kg	Maksimal 100
c. Cemarkan Mikrobial		
ALT	koloni/g	10 ⁵
<i>Escherichia coli</i>	APM/g	<3
<i>Salmonella</i>	per 25 g	Negatif
<i>Staphylococcus aureus</i>	koloni/9	10 ²
<i>Vibrio cholera</i> ***	per 25 g	Negatif
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	per 25 g	<3
d. Cemarkan Logam		
Merkuri (Hg)	mg/kg	Maksimal 0,5
Timbal (Pb)	mg/kg	Maksimal 0,3
Kadmium (Cd)	mg/kg	Maksimal 0,1
Arsen (As)	mg/kg	Maksimal 1
Timah (Sn)	mg/kg	Maksimal 40
e. Cemarkan Fisik		
Filth	potongan	0

Sumber : BSN (SNI 7266-2017)

2.6. Pendugaan Umur Simpan

Umur simpan, atau sering disebut sebagai masa simpan, merujuk pada jangka waktu di mana suatu produk dapat mempertahankan kualitasnya dari saat disimpan hingga saat didistribusikan kepada konsumen. Evaluasi perubahan kualitas selama penyimpanan digunakan untuk menentukan masa simpan ini. Menurut Kusnandar dan rekan (2013), penting bagi kemasan produk untuk mencantumkan tanggal kedaluwarsa sesuai dengan peraturan yang diatur dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang pangan dan Peraturan Pemerintah Nomor 69 Tahun 1999 tentang label dan iklan pangan. Peraturan tersebut mewajibkan Setiap sektor industri makanan harus menampilkan tanggal kadaluwarsa pada kemasan produknya. Oleh karena itu, mengestimasi umur simpan produk baru menjadi esensial untuk mengetahui kapan tepatnya produk tersebut akan kadaluwarsa. Proses penyimpanan sebuah produk dari kondisi awal yang berkualitas menyebut proses ini sebagai degradasi. Proses degradasi pangan dimulai segera setelah dibuat dan bersentuhan dengan udara, oksigen, cahaya, uap air, atau fluktuasi suhu. Variabel lingkungan selama penyimpanan berdampak pada laju degradasi ini. Faktor-faktor ini mungkin bersifat intrinsik atau ekstrinsik, dan dapat menyebabkan berbagai respons pada produk, termasuk reaksi kimia, enzimatik, dan lain-lain. (Arpah, 2001). Penentuan masa simpan bisa dilakukan dengan dua pendekatan, yakni metode *Extended Storage Studies* (ESS) secara konvensional dan metode akselerasi kondisi penyimpanan (ASS atau ASLT).

Metode *Extended Storage Studies* (ESS) adalah Sistem yang digunakan untuk menetapkan umur simpan secara konvensional memerlukan waktu yang cukup lama karena melibatkan proses menyimpan berbagai produk dalam kondisi sehari-hari yang normal sambil terus memonitor penurunan kualitasnya hingga mencapai titik kadaluwarsa. Metode *Accelerated Shelf Life Test* (ASLT) dengan model Arrhenius, Metode ini merupakan suatu teknik dalam memperkirakan masa pakai suatu produk dengan memanfaatkan peningkatan suhu untuk mempercepat proses reaksi yang mengakibatkan kerusakan pada produk. Metode ASLT model Arrhenius umumnya digunakan untuk beragam jenis produk pangan, terutama pada

produk yang mengalami penurunan mutu akibat proses degradasi kimia (Arpah, 2001).

Estimasi masa simpan dengan menggunakan metode persamaan Arrhenius seringkali sesuai diterapkan pada produk – produk yang rentan terhadap kerusakan karena berbagai reaksi seperti oksidasi, denaturasi protein, Maillard, dll. Reaksi kimia yang bergantung pada suhu seringkali berlangsung lebih cepat, dan hubungan antara variasi karakteristik kualitas produk dan suhu penyimpanan dapat dipahami menggunakan persamaan Arrhenius. Saat menyimpan produk pada suhu tinggi, persamaan ini dapat digunakan untuk memperkirakan seberapa cepat produk tersebut akan terdegradasi. Fluktuasi suhu terjadi pada saat pengujian umur simpan yang menggunakan model Arrhenius. Laju reaksi berbagai zat kimia juga akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu penyimpanan (Arpah, 2001).

Perubahan Suhu memiliki peran penting dalam memengaruhi mutu pangan, dimana semakin tinggi suhu penyimpanan, aktivitas reaksi kimia pada berbagai senyawa akan meningkat secara signifikan. Karena itu, dalam memprediksi tingkat perubahan kualitas makanan selama proses penyimpanan, penting untuk secara konsisten mempertimbangkan faktor suhu. Menurut Model Arrhenius, meningkatkan suhu penyimpanan secara ekstrim dapat mempercepat proses kerusakan pada produk (Arpah, 2001). Rumus untuk menghitung kecepatan penurunan mutu menggunakan persamaan Arrhenius adalah :

$$k = k_0 e^{-E/RT}$$

Keterangan :

k = konstanta penurunan mutu produk

k_0 = konstanta (tidak tergantung pada suhu)

E = energi aktivasi

T = suhu mutlak ($^{\circ}\text{C} + 273$)

R = konstanta gas 1,986 kal/mol

Penerapan dari rumus tersebut, diperoleh nilai k. Nilai k ini kemudian digunakan untuk memperkirakan masa simpan produk dengan menggunakan persamaan orde 0 dan orde 1. Penentuan jangka waktu penyimpanan bakso yang telah dikemas menggunakan teknologi active packaging dilakukan melalui proses pendekatan

akselerasi Arrhenius melalui aplikasi Microsoft Excel 2010. Setelah itu, rumus yang diterapkan sesuai dengan model yang telah dipilih dijalankan ke dalam kode pemrograman. Program tersebut pada dasarnya terdiri dari lima bagian utama, yakni: 1) Memilih jenis produk, 2) Mengumpulkan data produk, 3) Menghitung kadar air, 4) Menghitung kemiringan kurva adsorpsi isothermal, dan 5) Menetapkan masa simpan (Kusnandar dkk., 2013).

2.6.1. Ordo reaksi

Orde reaksi menggambarkan seberapa besar pengaruh konsentrasi zat reaktan terhadap laju reaksi. Penentuan orde reaksi tidak bisa disimpulkan dari persamaan reaksi saja, tetapi harus melalui eksperimen (Kusnandar dkk., 2013). Untuk mengetahui umur simpan, nilai yang dihitung dimasukkan ke dalam persamaan reaksi orde nol atau orde satu. Perubahan kecepatan degradasi bahan bervariasi untuk setiap parameter. Jika laju kerusakan konstan atau linier maka mengikuti orde reaksi nol, tetapi jika tidak konstan melainkan mengikuti pola logaritmik atau eksponensial, maka mengikuti orde reaksi satu.

Orde untuk mencari angka nol, buatlah grafik dengan tingkat kerusakan pada sumbu Y dan lama penyimpanan pada sumbu X. Menggunakan diagram batang dengan nilai \ln tingkat kerusakan sebagai sumbu Y dan lama penyimpanan sebagai kualitas melalui orde pertama dan orde nol, diikuti dengan regresi linier, dapat digunakan untuk mengidentifikasi orde pertama. Arpah (2001) menyatakan bahwa orde reaksi yang memiliki nilai R^2 yang lebih tinggi akan digunakan untuk menentukan umur simpan suatu produk.

Menurut Kusnandar dkk (2013) menyatakan bahwa dalam menentukan umur simpan suatu produk, penting untuk memilih parameter mutu yang paling sensitif terhadap perubahan selama penyimpanan, yang biasanya ditunjukkan oleh nilai koefisien k atau koefisien korelasi (R^2) yang tinggi. Informasi ini mengindikasikan bahwa estimasi umur simpan bakso ikan yang menggunakan kemasan aktif dapat dilakukan komputasi R^2 memberikan hasil yang lebih unggul dibandingkan model mana pun saat menggunakan model respons nol dan satu. Model reaksi nol dan satu sering digunakan untuk menggambarkan penurunan kualitas pangan. Model

respons nol menunjukkan penurunan kualitas yang terus-menerus. Contoh kerusakan pangan yang sesuai dengan model reaksi nol meliputi oksidasi lipid, proses pencoklatan non-enzimatik (ditemukan pada biji-bijian kering dan produk susu kering), dan degradasi enzimatik (ditemukan pada buah dan sayuran segar serta makanan beku tertentu).(seperti peningkatan ketengikan pada makanan ringan, makanan kering, dan makanan beku).

Menurut Arpah (2001), degradasi kualitas dalam reaksi nol merupakan penurunan kualitas yang konsisten. Penurunan kecepatan tersebut berlangsung secara stabil pada suhu yang tetap. Sebaliknya, jenis kerusakan pada komponen makanan berikut terlibat dalam reaksi tingkat pertama: (1) proses oksidasi (misalnya dalam minyak salad dan sayuran kering); (2) pertumbuhan mikroba (misalnya pada ikan dan daging, dan kematiannya akibat panas); (3) pembentukan rasa mikroba; (4) kerusakan vitamin pada makanan kaleng dan kering; dan (5) penurunan kualitas protein (pada pangan kering). Selain itu, pada suhu tetap, perlambatannya benar-benar stabil. Saatnya menggunakan persamaan untuk memperkirakan umur panjang produk sebagai berikut .:

$$t = (A_t - A_0)/k$$

atau

$$t = (\ln A_0 / \ln A_t) / k$$

Keterangan:

- t = prediksi umur simpan (hari)
- A₀ = kadar air awal (%)
- A_t = kadar air kritis (%)
- k = konstanta penurunan mutu (% per hari)

III. KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

3.1. Kerangka Pemikiran

Jeruk kingkit adalah salah satu jenis buah yang memiliki kandungan senyawa antimikroba. Menurut Theanphong dan Mingvanish (2018), dalam penelitian mereka disebutkan bahwa bagian batang dan daun jeruk kingkit memiliki efek antibakteri terhadap *B. substilis*, *S. aureus*, *E. coli*, dan *P. vulgaris* dengan diameter zona hambat yang berbeda yaitu $25\pm 1,36$ mm; $26\pm 1,8$ mm; $24\pm 1,21$ mm; dan $22\pm 1,68$ mm. Aktivitas penghambatan ini disebabkan oleh adanya flavonoid, tannin, terpenoid, dan alkaloid yang terdapat dalam ekstrak daun dan batang jeruk kingkit. Selain itu, dari hasil skrining fitokimia oleh Silva dkk (2012), ditemukan senyawa turunan kumarin seperti isopimpinellin, heraclonel, byakangelicin, mexotin, dan meranzin hidrat pada kandungan jeruk kingkit. Tidak hanya itu, jeruk kingkit juga mengandung senyawa limosin, alkaloid, dan karoten yang memiliki potensi sebagai agen antimikroba.

Theanphong dan Mingvanish (2018) juga menjelaskan bahwa penggunaan larutan heksana untuk mengambil ekstrak kasar dari daun dan batang jeruk kingkit menunjukkan aktivitas antibakteri yang efektif terhadap berbagai jenis bakteri yang diuji. Selanjutnya, ekstrak kasar dari daun dan batang jeruk kingkit menggunakan dichlorometane dan etanol menunjukkan kemampuan menghambat pertumbuhan bakteri *B. Subtilis* dan *M. Luteus* yang merupakan bakteri gram positif. Ekstrak kasar dari batang jeruk kingkit dengan menggunakan etanol menunjukkan aktivitas antimikroba yang paling tinggi. Penelitian lain oleh Dondon *et al.*, (2016) menemukan bahwa pada analisis FTIR, batang dan daun jeruk kingkit menunjukkan karakteristik kumarin. Hal ini disebabkan oleh perubahan posisi atom C melalui isomerisasi dan menghasilkan meranzin hidrat yang menunjukkan adanya substitusi gugus metoksi turunan kumarin serta bagian metoksimokumarin. Senyawa-senyawa tersebut memiliki potensi sebagai agen antimikroba.

Konsentrasi senyawa antimikroba dalam jeruk kingkit juga bisa diperoleh dari minyak esensialnya. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Zoghbi dkk. (2020), minyak esensial paling melimpah ditemukan pada buah dengan kadar sebesar 0,92%, diikuti oleh daun sebesar 0,20%, dan batang 0,03%. Minyak tersebut mengandung kandungan yang kaya akan sabiene (daun: 31,1%, batang: 21,1%, buah: 23,9%) dan β -pinene (daun: 40,8%, batang: 36,2%, buah: 32,4%). Buah jeruk kingkit juga mengandung γ -terpinene sebanyak 19,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa buah jeruk kingkit mampu menghasilkan senyawa antimikroba dengan konsentrasi yang lebih tinggi daripada daun dan batangnya.

Buah jeruk kingkit yang digunakan sebagai *edible coating* dapat diubah menjadi nanopartikel. Pengecilan ukuran partikel akan meningkatkan area permukaan, sehingga mempercepat dekomposisi partikel dan meningkatkan manfaat senyawa aktif pada jeruk kecil. Bhattacharya dan Ghosh (2013) menciptakan sistem berbasis lipid yang menggabungkan ekstrak teh hijau dan ginseng (*Panax ginseng* CA Meyer) (Araliaceae) dalam berbagai formulasi untuk meningkatkan penyerapan komponen aktif. Yu dkk. (2014) menghasilkan nanopartikel menggunakan *Radix salvia miltiorrhiza* Bunge (Lamiaceae), dan mencatat peningkatan yang signifikan dalam bioavailabilitas ekstrak. Sinico dkk. (2013) mengembangkan liposom dengan *Artemisia arborescens* L. (Asteraceae) dan menemukan bahwa sistem ini mendukung penetrasi komponen aktif tanaman ini melalui penghalang virus sitoplasma. Rajendran, dkk. (2013) menghasilkan nanopartikel menggunakan ekstrak metanol *Ocimum sanctum* L. (Lamiaceae) dan melaporkan bahwa ekstrak yang ternanokan menunjukkan aktivitas antimikroba yang lebih baik daripada ekstrak biasa. Pada proses pembuatan, *edible coating* dapat dibuat dengan memanfaatkan glukomanan porang sebagai bahan dasarnya. Glukomanan ini memiliki kemampuan untuk membentuk kristal, struktur serat-serat halus dan membentuk gel yang elastis, sehingga berpotensi sebagai bahan dasar dalam pembuatan *edible coating*.

Berdasarkan hal tersebut pemanfaatan ekstrak nanopartikel buah jeruk kingkit dan glukomanan porang dalam pembuatan *edible coating* diduga mampu berperan untuk memperpanjang masa simpan produk salah satunya bakso ikan.

3.2. Hipotesis

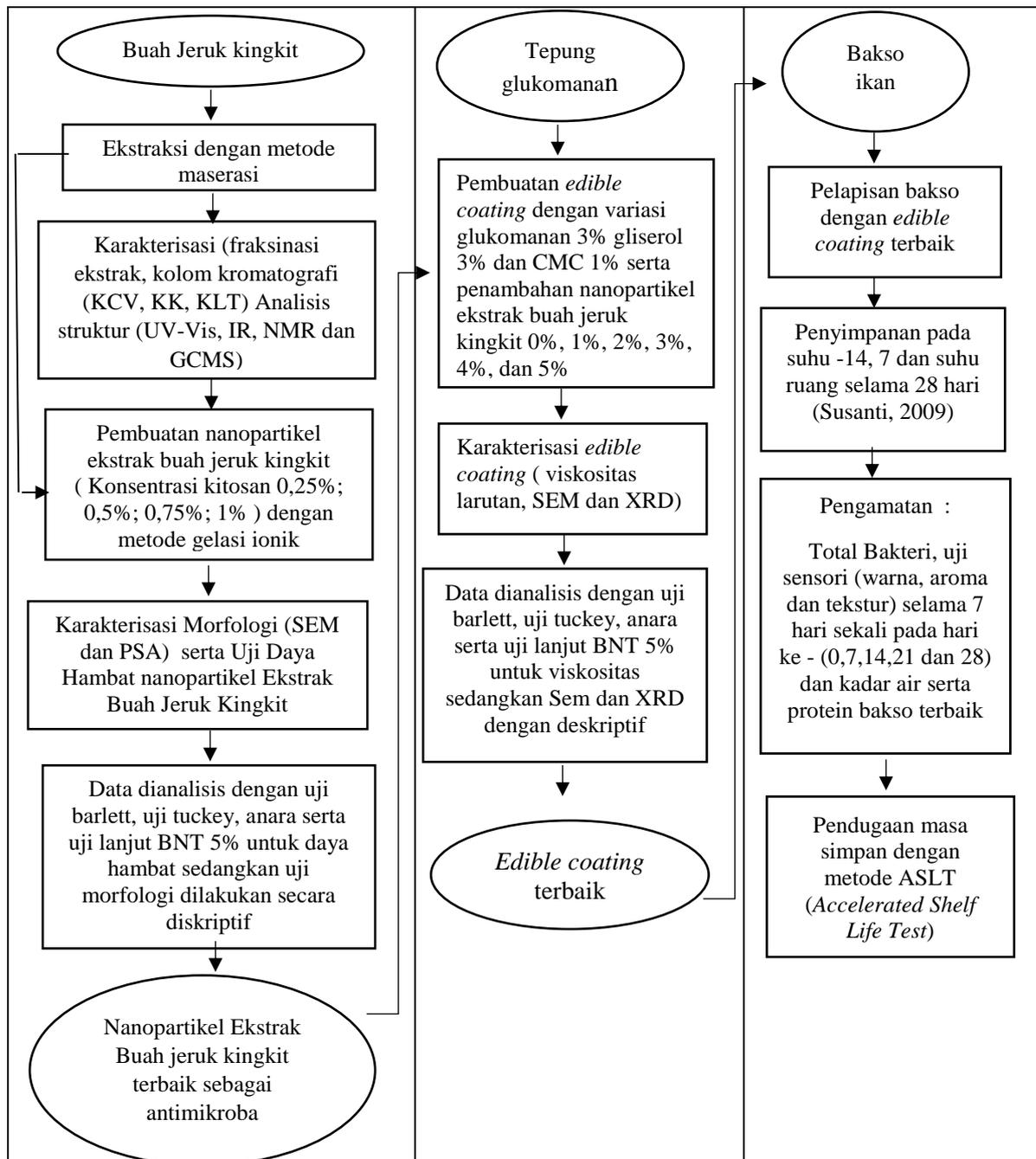
Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah :

1. Terdapat komponen senyawa aktif pada ekstrak buah Jeruk kingkit
2. Terdapat pengaruh konsentrasi kitosan terhadap karakteristik nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit terhadap morfologi dan daya hambat terhadap bakteri *Staphylacoccus aureus* dan *Salmonella* sp
3. Terdapat formulasi *edible coating* terbaik dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit
4. Terdapat pengaruh penggunaan *edible coating* nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit sebagai bahan pelapis atau pengemas dengan meningkatkan masa simpan produk hasil perikanan.

IV. TAHAPAN DAN RUANG LINGKUP PENELITIAN

Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3

Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
1. Karakterisasi Ekstrak Buah Jeruk Kingkit dan morfologi serta Daya Hambat Nanopartikel Ekstrak buah jeruk Kingkit Terhadap <i>S. aureus</i> dan <i>Salmonella</i> sp. sebagai Anti Mikroba	karakterisasi <i>Edible coating</i> dengan Penambahan Nanopartikel Ekstrak Buah Jeruk Kingkit Sebagai Antimikroba	Aplikasi <i>edible coating</i> dengan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit pada produk perikanan



Gambar 3. Tahapan Penelitian

VIII. PEMBAHASAN UMUM

Buah jeruk kingkit merupakan salah satu jenis tumbuhan etnomedisin yang diperkirakan mengandung sejumlah besar senyawa komponen bioaktif yang bermanfaat baik bagi tubuh maupun dalam menjaga kualitas mutu suatu pangan. Namun demikian, pengembangan mengenai manfaat buah jeruk kingkit salah satunya sebagai agen antimikroba masih tergolong sempit. Hal ini didasari oleh pengembangannya yang cenderung belum diketahui oleh masyarakat luas. Pengembangan mengenai manfaat buah jeruk kingkit sebagai agen antimikroba dapat dilakukan dengan cara menganalisis kandungan senyawa bioaktif dan efektifitasnya melalui beberapa metode.

Berdasarkan hasil analisis GC-MS yang dilakukan pada penelitian tahap pertama, hasil isolasi ekstrak buah jeruk kingkit didapatkan senyawa yang termasuk kedalam golongan kumarin berupa *7H-Furo[3,2-g][1]benzopyran-7-one,4,9-dimethoxy* ($C_{13}H_{10}O_5$ / Isopimpinelin) dengan berat molekul 246 dengan waktu resistensi 46,285 dan presentasi kelimpahan 92,28%. Hal ini sesuai dengan hasil analisis menggunakan metode spektrofotometri UV-VIS bahwa pada spektrum UV menunjukkan penyerapan maksimal pada 250, 257, 263 dan 300 nm, yang konsisten dengan adanya furanokumarin. Selain itu, pengamatan menggunakan spektrofotometri IR menunjukkan adanya puncak absorpsi pada bilangan gelombang 1604, 1593, 1489, dan 1430 cm^{-1} , yang mengindikasikan keberadaan gugus aromatik pada cincin furanokumarin. Berdasarkan hasil analisis NMR terhadap hasil ekstrak dan isolasi buah jeruk kingkit menunjukkan adanya senyawa isopimpinelin. Berdasarkan pengujian terhadap kandungan senyawa ekstrak buah jeruk kingkit, didapatkan hasil bahwa buah jeruk kingkit dapat digunakan sebagai agen antimikroba.

Pemanfaatan senyawa ini dapat ditingkatkan efektifitasnya melalui pengecilan ukuran partikel melalui sistem pembentukan nano dengan metode gelasi ionik. Metode ini menggunakan empat jenis formulasi nanopartikel dengan konsentrasi kitosan yang berbeda yaitu A(0,25%); B(0,5%); C(0,75%); dan D(1%) dan konsentrasi tripolifosfat tetap, yaitu 0,01%. Berdasarkan hasil pengujian SEM, partikel yang terbentuk selama proses pembuatan nanopartikel terjadi secara sempurna pada penggunaan konsentrasi kitosan 0,75%. Konsentrasi ini menghasilkan morfologi nanopartikel dalam bentuk bulat tidak sempurna yang memiliki ukuran cukup seragam. Penggunaan konsentrasi kitosan 0,25%; 0,5%; dan 1% belum menghasilkan partikel molekul yang sempurna secara morfologi. Hal ini menggambarkan bahwa penggunaan konsentrasi kitosan yang lebih dan kurang dari batas ambang pemakaian tidak dapat membentuk struktur nanopartikel dengan sempurna. Menurut Deshmuk *et al.* (2022) penggunaan kitosan yang berlebih dapat mengakibatkan terbentuknya ikatan silang yang cenderung tidak kokoh dan tidak beraturan. Hal ini dikarenakan interaksi muatan positif pada kitosan bersama dengan metabolit sekunder terhadap ion negatif terhalang.

Ukuran partikel yang dihasilkan selain menggunakan metode SEM juga menggunakan metode Particle Size Analyzer (PSA). Berdasarkan hasil pengujian tersebut diketahui bahwa diameter ukuran partikel dari keempat jenis formulasi hanya terdapat dua jenis yang terindikasi, yaitu penggunaan kitosan 0,75% dan 0,5% dengan nilai diameter ukuran partikel 365,81nm dan 943,0 nm. Namun, dari kedua formulasi yang terindikasi, penggunaan kitosan 0,50% dan 0,75% yang masuk rentang ukuran nanopartikel, yaitu 10-1000 nm. Sesuai dengan temuan Gagliardi *et al* (2023) yang menunjukkan bahwa penerapan metode gelasi ionik dalam pembuatan nanopartikel dengan menggunakan kitosan-NaTPP mampu menghasilkan ukuran partikel dengan rentang 200-500nm. Pernyataan tersebut juga sejalan dengan penemuan Pichla *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa peningkatan penggunaan kitosan cenderung yang lebih kecil.

Indeks polidispersitas (PI) digunakan untuk menyatakan distribusi ukuran partikel. Hasil dari indeks polidispersitas penggunaan kitosan pada konsentrasi 0,75% dan

0,5% menunjukkan nilai PI masing – masing sebesar 0,718 dan 0,758. Nilai PI <1, mengindikasikan bahwa ukuran partikel cenderung homogen. Abere *et al.* (2022) menyatakan, ketika nilai Indeks Pendispers (PI) <1 mengindikasikan pendispersian antar ikatan polimer sempit dan merata, sedangkan nilai PI >1 mengindikasikan bahwa pendispersian molekul cenderung lebar dan tidak merata.

Nilai PI pada hasil pengujian PSA dapat mengindikasikan besar kecilnya pendispersian ukuran partikel. Nilai PI yang semakin tinggi mengindikasikan bahwa formulasi pembentuk nanopartikel cenderung tidak merata dan tidak stabil (Paulraj, *et al.*, 2017). Hal ini dapat terjadi akibat partikel yang terbentuk cenderung heterogen, sehingga formulasi pembentuk nanopartikel mengalami flokulasi dan kaolesense (Karimirad, *et al.*, 2019).

Nanopartikel yang mengandung konsentrasi kitosan sebesar 0,75% cenderung memiliki ukuran partikel yang homogen dibandingkan dengan penggunaan konsentrasi kitosan sebesar 0,5%. Homogenitas distribusi partikel ini berkaitan dengan keseimbangan muatan polimer kation dan anion pada formula pembentuk nanopartikel. Kitosan yang memiliki polimer kation akan bergerak kearah NaTPP yang mengandung polimer anion, sedangkan gugus hidroksil pada senyawa metabolit sekunder buah jeruk kingkit akan terhubung bersama dengan kitosan, sehingga NaTPP akan membentuk ikatan silang antar partikel satu dengan partikel lainnya dalam bentuk yang homogen. Hal ini menggambarkan bahwa penggunaan konsentrasi kitosan yang tepat dalam pembentukan nanopartikel dapat mencegah antar partikel mengalami aglomerasi (Divya, *et al.*, 2019).

Sampel yang telah dilakukan pengecilan ukuran, selain dilakukan pengamatan struktur morfologi melalui pengujian SEM dan PSA, juga dilakukan pengamatan efektifitas terhadap *Staphylacoccus aureus* dan *Salmonella* sp. Analisis sidik ragam dan uji lanjut BNT yang dilakukan terhadap data pengukuran daya hambat dalam setiap perlakuan menunjukkan perbedaan yang signifikan. Aktivitas antibakteri cenderung mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi kitosan dalam pembuatan nanopartikel. Namun, penggunaan konsentrasi kitosan 1% cenderung mengalami penurunan efektifitas.

Penurunan efektifitas ini diduga dapat terjadi dikarenakan pada konsentrasi tersebut suspensi ekstrak nanopartikel cenderung mengalami peningkatan, sehingga laju alir dan difusi senyawa metabolit sekunder tidak sempurna. Berdasarkan penemuan Das *et al* (2018) yang menyatakan viskositas fluida yang semakin tinggi maka besar gaya yang diperlukan akan semakin tinggi, yang dapat mempengaruhi permeabilitas suspensi terhadap bakteri. Selain itu, penurunan efektifitas diduga mengalami penurunan akibat ikatan silang yang terbentuk cenderung tidak sempurna dan tidak beraturan. Konsentrasi kitosan yang berlebihan bisa menghambat interaksi antara muatan positif pada kitosan dan metabolit sekunder terhadap ion negatif di membran sel mikroorganisme (Fiore *et al.* 2022).

Diameter zona hambat terbesar diperoleh pada perlakuan kitosan 0,75% terhadap bakteri *Staphylacoccus aureus* maupun *Salmonella*, yang menghasilkan diameter zona hambat sebesar 28,56 mm dan 23,57mm. Sedangkan diameter zona hambat terkecil diperoleh pada perlakuan kitosan 1% yang menghasilkan diameter zona hambat sebesar 23,35mm dan 17,28mm. Menurut Surjowardojo dkk (2015), jika diameter zona hambat mencapai ≤ 5 mm, itu menunjukkan bahwa kekuatan hambat terhadap bakteri dianggap rendah. Sementara itu, jika diameter zona hambat berada di antara 6-10 mm, itu dianggap sedang; jika antara 11-20 mm, dianggap tinggi; dan jika ≥ 21 mm, dianggap sangat tinggi. Berdasarkan pernyataan tersebut disimpulkan bahwa nanopartikel dari ekstrak buah jeruk kingkit efektif dalam mengatasi bakteri *Staphylacoccus aureus* dan *Salmonella sp.*

Berdasarkan penemuan tersebut dapat diidentifikasi bahwa penggunaan konsentrasi kitosan 0,75% merupakan perlakuan yang memiliki efektifitas terbaik, yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan dalam proses pembuatan *edible coating*. Tujuan pembuatan *edible coating* pada penelitian ini adalah untuk melihat efektifitas nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit dalam mempertahankan mutu produk hasil perikanan berupa bakso ikan, dengan pengamatan berupa viskositas dan morfologi *edible coating* melalui metode SEM dan XRD.

Penelitian pada tahap ini menggunakan konsentrasi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit yaitu V0(0%); V1(1%); V2(2%); V(3%); V4(4%); dan V5(5%). Berdasarkan hasil uji lanjut menggunakan uji BNT taraf 5% pada seluruh perlakuan memiliki hasil yang berbeda nyata. Viskositas tertinggi yaitu pada V0 sebesar 230,08mPa.s, sedangkan viskositas terendah yaitu pada V5 sebesar 10,90mPa.s. Selanjutnya, seiring dengan penambahan jumlah konsentrasi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit maka nilai viskositas formula *edible coating* cenderung menurun. Hal ini diduga dapat terjadi karena nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit dapat mengurangi ikatan hidrogen pada *edible coating*. Ikatan hidrogen internal pada ikatan intermolekul yang mengalami penurunan dapat melunakkan struktur edible yang berpengaruh terhadap viskositas Marchiore *et al*, 2017).

Viskositas yang cenderung mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi nanopartikel juga diduga akibat adanya penurunan kohesi dan ketahanan mekanik dalam bentuk gelatinisasi rantai polimer penyusun *edible coating*. Menurut Wardana *et al* (2018) proses pemanasan akan mengakibatkan pembengkakan granula pati dari glukomanan porang, kemudian kelarutan pati akan mengalami peningkatan seiring dilakukannya pengadukan. Namun, dengan adanya penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit maka molekul yang terdapat didalamnya akan mengalami proses dispersi yang menyebabkan konfigurasi pada pati menurun. Hal ini akan mempengaruhi keeluasaan molekul polimer dalam bergerak yang berakibat gaya intermolekul antar rantai menurun, sehingga daya tarik antar partikel cenderung tidak kuat yang diikuti dengan penurunan viskositas *edible coating*.

Nilai viskositas ini berkaitan dengan hasil uji morfologi *edible coating* dengan penambahan konsentrasi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit secara bertingkat menghasilkan permukaan yang cenderung semakin halus dan rata. *Edible coating* yang terbentuk seiring dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit memiliki permukaan pori-pori, retakan, dan granula pati yang semakin samar. Permukaan *edible coating* yang semakin halus menggambarkan bahwa molekul pati bersama dengan nanopartikel buah jeruk kingkit mengalami proses

pendispersian dengan baik (Kumar, *et al.*, 2018). Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit terhadap *edible coating* menghasilkan respon yang positif.

Selain itu, berdasarkan hasil uji XRD *edible coating* dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit bersifat lebih amorf dibandingkan dengan tanpa penambahan. Struktur amorf yang terbentuk pada *edible coating* tanpa atau dengan penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit diduga dapat terjadi akibat tingginya gugus OH⁻ yang tersubstitusi, sehingga ikatan antar molekul mengalami pelemahan. Lemahnya ikatan antar molekul, akan membuat pergerakan molekul semakin bebas dan tidak beraturan, sehingga struktur yang terbentuk cenderung meluas dan terdispersi (Kumar *et al.*, 2018). Fasa amorf menunjukkan tingkat kelarutan yang lebih tinggi daripada bentuk kristal (Gohargani, *et al.*, 2020). Hal ini mengindikasikan bahwa *edible coating* tanpa penambahan nanopartikel memiliki kelarutan yang lebih tinggi. Kelarutan yang lebih tinggi dari padatan amorf ini terjadi karena molekul memiliki energi dan mobilitas yang lebih tinggi daripada yang terdapat pada kristal. Meskipun demikian, keberadaan energi yang tinggi dan mobilitas molekul yang lebih tinggi juga menyebabkan fasa amorf menjadi tidak stabil secara fisik (Jie, *et al.*, 2017). Berdasarkan hal tersebut, *edible coating* dengan penambahan nanopartikel buah jeruk kingkit dinilai lebih stabil dibandingkan dengan tanpa penambahan.

Edible coating dengan penambahan nanopartikel buah jeruk kingkit selanjutnya dilakukan pengaplikasian terhadap bakso ikan untuk melihat efektifitas terhadap umur simpannya dengan lama penyimpanan (0, 7, 14, 21, 28 hari) dan variasi suhu (-14°C, 7°C, 30°C). Selain itu, bakso ikan yang telah dilapisi *edible coating* juga juga diuji secara sensori dan total bakteri untuk mendukung pendugaan umur simpannya. Berdasarkan hasil penelitian total bakteri, aroma, dan tekstur dipengaruhi oleh penggunaan konsentrasi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit. Penggunaan konsentrasi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit yang semakin tinggi, dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Hal ini diindikasikan

dengan terbentuknya nilai total bakteri yang rendah serta skor aroma dan tekstur yang tinggi.

Selain itu berdasarkan hasil pengujian, penggunaan suhu selama penyimpanan juga berpengaruh terhadap tekstur bakso ikan. Suhu beku (-14°C) cenderung menghasilkan skor total bakteri yang rendah dan tekstur serta aroma bakso ikan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan suhu *chiller* (7°C) dan suhu ruang (30°C). Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada suhu beku mobilitas air terhambat yang diikuti dengan menurunnya aktivitas air (A_w) melalui proses perubahan wujud dari fase cair ke fase padat. Aktivitas air yang cenderung mengalami penurunan akan mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroorganisme menuju fase logaritmik. Penggunaan suhu ruang tidak dapat menghambat laju mobilitas air, sehingga pertumbuhan bakteri dalam mencapai fase logaritmik jauh lebih cepat yang mempengaruhi jumlah total bakteri, aroma dan tekstur yang dihasilkan.

Sedangkan, pada pengamatan warna penambahan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit mengalami penurunan indeks keputihan. Hal ini diduga dikarenakan adanya kandungan senyawa karotenoid pada buah jeruk kingkit. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Thenaphong and Mingvanish (2018) buah jeruk kingkit matang mengandung senyawa semi α -karoten, semi β -karoten, β -karoten dan triphasiazantin yang merupakan golongan senyawa karotenoid. Kandungan senyawa ini menghasilkan pigmen alami dengan kisaran warna kuning-merah yang berperan positif terhadap warna bakso ikan yang dihasilkan.

Pada tahap selanjutnya dari pengujian sensori, dilakukan estimasi masa simpan menggunakan pendekatan ASLT Arrhenius dengan memanfaatkan perangkat lunak Microsoft Excel 2019. Penilaian umur simpan ini dilakukan dengan menghitung umur simpan berdasarkan parameter utama yang memiliki koefisien determinasi (R^2) terbesar (Ihsan dkk., 2017). Berdasarkan hasil perhitungan penggunaan konsentrasi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit sebesar 5% pada seluruh suhu penyimpanan menghasilkan umur simpan yang lebih lama dibandingkan

penggunaan konsentrasi lainnya yaitu 69 hari (-14°C); 20 hari (7°C); dan 6 hari (suhu ruang). Berdasarkan hasil penelitian membuktikan bahwa, penggunaan nanopartikel buah jeruk kingkit sebagai matriks *edible coating* mampu mempertahankan mutu bakso ikan dengan cara berperan sebagai agen antimikroba.

IX. KESIMPULAN DAN SARAN UMUM

9.1. Kesimpulan Umum

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah :

1. Analisis spektrofotometri UV-VIS menunjukkan adanya senyawa furkumarin pada panjang gelombang 250,257,263 dan 300 nm, analisa FTIR menunjukkan adanya gugus O-H ($3448,72\text{ cm}^{-1}$), $\text{C}\equiv\text{C}$ (2400 cm^{-1}), $\text{C}=\text{O}$ (1718 cm^{-1}), $\text{C}=\text{C}$ ($1604, 1593, 1489, \text{ dan } 1430\text{ cm}^{-1}$), gugus aromatik dari cincin furanokumarin) NMR dan GCMS terhadap hasil ekstrak dan isolasi buah jeruk kingkit menunjukkan adanya senyawa isopimpinellin ($\text{C}_{13}\text{H}_{10}\text{O}_5$) dengan berat molekul 246 pada peak ke 8 dengan waktu retensi (RT) 46,285 dan presentase kelimpahan (%) 92,28. Konsentrasi kitosan sebesar 0,75 % membentuk morfologi nanopartikel yang seragam dengan diameter partikel 365,81nm dan indeks polidispersitas kurang dari 1 yaitu 0,718;
2. Konsentrasi kitosan pada pembuatan nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit berpengaruh nyata terhadap daya hambat bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella sp.* Nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit dengan penggunaan konsentrasi kitosan 0,75% (b/v) menghasilkan efektivitas antimikroba terbaik dengan terbentuknya nilai zona hambat sebesar 23,57 mm pada bakteri *Salmonella sp* dan 28,56 mm pada bakteri *Staphylococcus aureus*.
3. *Edible coating* dengan penambahan konsentrasi nanopartikel ekstrak buah jeruk kingkit sebesar 5% menghasilkan karakteristik *edible coating* terbaik yang memiliki nilai viskositas sebesar 10,90 mPa.S dan struktur morfologi dengan permukaan pori-pori, retakan, dan granula pati yang samar dan amorf;
4. Umur simpan bakso ikan terbaik diperoleh pada penggunaan konsentrasi nanopartikel 5% dalam pembuatan *edible coating* menggunakan suhu -14°C dengan dugaan masa simpan selama 69 hari, suhu 7°C dengan masa simpan 20 hari dan suhu ruang dengan masa simpan 6 hari, dengan karakteristik sensori

yang dihasilkan yaitu skor warna 3,13 (tidak putih), aroma 7,80 (Khas ikan) dan tekstur 8,47 (kenyal) dengan nilai kadar air 45,98% dan kadar protein 12,44% dan telah sesuai SNI 7266:2017.

9.2. Saran Umum

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini yaitu perlu dilakukan penelitian berkaitan dengan karakteristik nanopartikel senyawa murni dari ekstrak buah jeruk kingkit, bioaktivitas dan aplikasinya pada produk pangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abere, D. V., Ojo, S. A., Paredes-Epinosa, M. B., and Hakami. A. 2022. Derivation of composites of chitosan-nanoparticles from crustaceans source for nanomedicine: a mini review. *Biomed. Eng. Adv.* 21(1): 431-442.
- Anggraeni, D. A., S. B. Widjanarko, D. W, dan Ningtyas. 2014. Proporsi tepung porang (*Amorphophallus muelleri Blume*): tepung maizena terhadap karakteristik sosis ayam. *Jurnal Pangan dan Agroindustri.* 2(3):214-223.
- Anggraini, W., Nisa, C. S., Ramadhani, D. A. R., dan Ma'arif, Z. A. B. 2019. Aktivitas antibakteri ekstrak etanol 96% buah blewah (*Cucumis melo L. var. cantalupensis*) terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*. *Pharmaceutical Journal of Indonesia.* 5(1): 61-66.
- Anggarini, D., Hidayat, N dan Mulyadi, F. A. 2016. Pemanfaatan pati ganyong sebagai bahan baku *edible coating* dan aplikasinya pada penyimpanan buah apel anna (*Malus sylvestris*) (kajian konsentrasi pati ganyong dan gliserol). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri.* 5(1) : 1-8.
- Afriani, Y. 2019. Sintesis Pati Sukun Nanokristalin Terasetilasi dengan Menggunakan Asam Asetat. Pogram Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam [Thesis]. Universitas Sumatera Utara. 102 Hlm.
- Agustinisari, I., Purwani, Y. E., Harimurti, N dan Yuliani, S. 2014. Aktivitas antimikroba nanopartikel minyak biji pala. *Journal Pascapanen.* 1(1): 1-8.
- Arpah, M. 2001. *Buku dan Monograf Penentuan Kadaluarsa Produk Pangan.* Program Studi Ilmu Pangan Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor. Deskripsi Fisik. xii, 151 hlm.; illus.: 28 cm.
- Arvind kaur, Sharma, S., Singh, M., Kaushik, and Kutlehria, A. 2018. Formulation and evaluation of nanopartikelon gel of amphotericin B for treatment of skin Infections. *International Journal of Novel Trends in Pharmaceutical Science.* 9(7): 99-102.
- Arifiani, S., Atmaka, W dan Raharjo, S. 2018. Karakterisasi dan uji stabilitas digestif nanopartikel beta karoten yang dibuat dengan metode emulsifikasi spontan. *Agritech.* 38(1): 30-38.
- Asiah, N., Cempaka, L., dan David, W. 2018. *Panduan Praktis: Pendugaan Umur Simpan Produk Pangan.* In UB Press. Jakarta.

- Aulton, M. E. 2012. The science of dosage form design, 2nd ed. Churchill Livingstone. Spain. *Pharmaceutics*. 9(2): 188-195.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2015. *Official Methods of Analysis*. Benjamin Franklin Station. Washington. 666 hlm.
- Ayumi, D., Sumaiyah, dan Masfria. 2018. Pembuatan dan karakterisasi nanopartikel ekstrak etanol daun ekor naga (*Rhaphidophora pinnata* Schott) menggunakan metode gelasi ionik. *Tropical Medicine (TM) Conference series*. 1(1): 029-033.
- Bhattacharya, S., and Ghosh, A. K. 2013. Phytosomes: the emerging technology for enhancement of bioavailability of botanicals and nutraceuticals. *Int J Aesthetic Antiaging Med*. 2(1): 87–91.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. SNI 7266-2017. *Syarat Mutu Bakso*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Baswal, A. K., Dhaliwal, H. S., Singh, Z., Mahajan, B. V. C., Kalia, A., and Gill, K. S. 2020. Influence of carboxy methylcellulose, chitosan and beeswax coatings on cold storage life and quality of kinnow mandarin fruit. *Sci. Hortic*. 260(2): 108887-10898.
- Chan, A. P. N. 2016. Konjact Part I. Cultivation to commercialization of components. *J. Food Eng*. 106(1): 245–252.
- Chanpha, P., and Tajmir-Riahi, H. A. 2017. Encapsulation of testosterone by chitosan nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*. 98(2): 535-541
- Chen, H. L., Cheng, H. C., Wu, W. T., Liu, Y. J. and Liu, S. Y. 2013. Supplementation of konjac glucomannan into a low-fiber chinese diet promoted bowel movement and improved colonic ecology in constipation adults : a placebo-controlled diet-controlled trial. *Agritech*. 2(3): 112-122.
- Chen G, Wei M, Chen J, Huang J, and Dufresne A. 2013. Stimulus reinforcing and toughening new nanocomposites of waterborne polyurethane ulled with low loading level of starch nanocrystals. *Polymer*. 49(7): 1860-1870.
- Chrismanuel, A., Pramono, Y. B., dan Setiani, B. E. 2012. Efek pemanfaatan karagenan sebagai *edible coating* terhadap pH, total mikroba dan H₂S pada bakso selama penyimpanan 16 jam. *Animal Agriculture Journal*, 1(2):286–292.
- Das, S., Kalita, M. C., and Shukla, S. 2018. Rapid biosynthesis of silver nanoparticles using leaf extract of *Brassica oleracea* Var. *Gongylodes* and their antimicrobial activity against bacteria. *World J. Pharm. Pharm. Sci*. 7(1): 1135–1145.

- Dash, K. K., Ali, N. A., Das, D., and Mohanta, D. 2019. Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible films with nanotitania inclusions for food packaging applications. *Int. J. Biol. Macromol.* 139(2): 449–458.
- Deshmukh, P. R., Dipti. B., Dipti. R., and Somashkhar. K. 2022. Chitosan nanoparticles: current aspects. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences.* 21(3): 1-13.
- Delviani, Y., Susi. L., Shanti. D. L., dan Sherly. R. 2021. Kajian mutu dan daya simpan dendeng udang putih (*Penaeus merguensis*) selama pengemasan dan penyimpanan suhu ruang. *Agrointek.* 15(2): 608-616.
- Dini, B. M., Luh, P. T. D., dan Ketut, I. S. 2020. Pengaruh perbandingan ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) dengan sayur gonda (*Sphenoclea zeylanica Gaertner*) terhadap karakteristik bakso. *Jurnal Itepa.* 9(4):426-437.
- Divya, K., Smith, V. S., Nair, J., and Jisha, M. S. 2019. Optimization of chitosan nanoparticle synthesis and its potential application as germination elicitor of *Oryza sativa L.* *International Journal of Biological Macromolecules.* 124(2): 1053- 1059.
- Drais, H. K., and Ahmed, A. H. 2015. Formulation and characterization of carvedilol nanopartikel oral liquid dosage form. *Int J Pharm Pharm Sci.* 7(12): 209-216.
- Dondon, R., Bourgeois, P., and Forgues, F. S. 2006. A new bicoumarin from the leaves and stems of *Triphasia trifolia*. *Fitoterapia.* 77(1): 129-133.
- Egra, S., Mardhiana, Rofin, M., Adiwena, M., Jannah, N., Kuspradini, H., dan Mitsunaga, T. 2019. Aktivitas antimikroba ekstrak bakau (*Rhizophora mucronata*) dalam menghambat pertumbuhan *Ralstonia solanacearum* penyebab penyakit layu. *Jurnal Hortikultura.* 12(1): 26-31.
- Elkomy, M., Ali, A., Eid, H. 2022. Chitosan on the surface of nanoparticles for enhanced drug delivery: a comprehensive review. *J. Control. Release.* 351(2): 923–940.
- Erlina, M dan Muhtadi. 2021. Uji aktivitas antibakteri ekstrak umbi porang (*Amorphophallus muelleri Blume*), suweg (*Amorphophallus paeoniifolius*), Iles-Iles (*Amorphophallus oncophyllus*) dan walur (*Amorphophallus campanulatus*) terhadap *Pseudomonas aeruginosa*. *The 13 th University Research Colloquium 2021 Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Muhammadiyah Klaten.* 1(1): 623-631

- Ernawati, S., Nurul, M., dan Shasmita, I. 2016. Uji daya hambat terhadap pertumbuhan bakteri uji *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* ekstrak etanol daun mangrove *Rhizophora mucronata* dan efek antidiabetiknya pada mencit yang diinduksi aloksan. *Jurnal Bionature*. 17(1): 1-6
- Fahmi, M. Z. 2019. Nanoteknologi dalam Perspektif Kesehatan. Surabaya: Airlangga University Press. 64 Hlm.
- Fiore, V., Badagliacco, D., Sanfilippo, C., Pirrone, R., Siengchin, S., Rangappa, S.M., and Botta, L. 2022. Lemongrass plant as potential sources of reinforcement for biocomposites: a preliminary experimental comparison between leaf and culm fibers. *J. Polym. Environ.* 30: 4726–4737.
- Falah, K., Suryati, dan Sylvia, N. 2021. Pemanfaatan tepung glukomanan dari pati umbi porang (*Amorphophallus muelleri blume*) sebagai bahan dasar pembuatan edible film. *Chemical Engineering Journal*, 1(3):50-62.
- Gagliardi, M., Sara. C., Chiara, D. C., Giulia. D. G., Alessandra. D., Laura. B., Marco. C., and Ilaria. T. 2023. Crosslinked chitosan nanoparticles with muco-adhesive potential for intranasal delivery applications. *International Journal of Molecular Sciences*. 24(7): 1-13
- Gohargani, M., Lashkari, H., and Shirazinejad, A. 2020. Study on biodegradable chitosan-whey protein-based film containing bionanocomposite TiO₂ and zataria multiflora essential oil. *J. Food Qual.* 3(1): 123-131.
- Gull, A., Bhat, N., Wani, S. M., Masoodi, F. A., Amin, T., and Ganai, S. A. 2021. Shelf life extension of apricot fruit by application of nanochitosan emulsion coatings containing pomegranate peel extract. *Food Chem.* 349: 129149.
- Hardisto, K., dan Tjandra, O. 2019. Uji aktivitas antibakteri minyak atsiri daun jeruk kingkit (*Triphasia trifolia*) terhadap *Escheria coli* secara in vitro. *Tarumanegara Medical Journal*. 2(1) :88-91.
- Hasheminejad, N., Khodaiyan, F., dan Safari, M. 2019. Improving the antifungal activity of clove essential oil encapsulated by chitosan nanoparticles. *Food Chemistry*. 275:113–122.
- Ihsan, R. Z., Cakrawati, D., Handayani, M. N., dan Handayani, S. 2017. Penentuan umur simpan yoghurt sinbiotik dengan penambahan tepung gembolo modifikasi fisik. *Edufortech*. 2(1): 1–6.
- Iswari, K. 2021. Pendugaan umur simpan cabai giling menggunakan metode accelerated shelf life testing dengan pendekatan arrhenius. *Jurnal Hortikultura*. 31(1): 71–80.
- Jabeen, N., Majid, I., and Nayik, G. A. 2015. Bioplastics and food packaging: a review. *Cogent Food and Agriculture*. 4(1): 1 – 6.

- Jain, T., Richey, J., Strand, M., Pelecky, D., Flask, C., and Labhasetwar, V. 2013. Magnetic nanoparticles with dual functional properties; drug delivery and magnetic resonance imaging. *Biomaterials*. 29(2): 4012-4021.
- Jasmina, H., Dzana, O., Alisa, E., Edina, V., and Ognjenka, R. 2017. Preparation of nanopartikelon by high energi and low energi emulsification methods. *Springer Nature Singapore*. 1(2): 317-322.
- Jasmansyah, J., Fitriyani, P., Sujono, H., and Aisyah L. S. Antimicrobial activity of essential oil from *Centella asiatica* (L.) urb plant. *J Kartika Kim* [Internet]. 2020 May 31 [cited 2023 Oct 7];3(1):43–7. Available from: <http://jkk.unjani.ac.id/index.php/jkk/article/view/54>
- Jie, X., Xu, X., and Qingrong. 2017. Double emulsion derived from kafirin nanoparticules stabilized pickering emulsion: fabrication, microstructure, stability and vitro digestion profile. *Food Hydrocolloids*. 2(1): 230 – 238.
- Kalaivani, R., Maruthupandy, M., Muneeswaran, T., Singh, M., Sureshkumar, S., Anand, M., Ramakritinan, C., Quero, F., and Kumaraguru, A. 2020. Chitosan mediated gold nanoparticles against pathogenic bacteria, fungal strains and MCF-7 cancer cells. *Int. J. Biol. Macromol*. 2(3): 560–568.
- Karimirad, R., Behnamian, M., and Dezhsetan, S. 2019. Application of chitosan nanoparticles containing cuminumcyminum oil as a delivery system for shelf life extension of agaricusbisporus. *Food Science and Technology*. 106: 218–228.
- Karunia, S. D., Supartono., dan Sumarni, W. 2017. Analisis sifat antibakteri ekstrak biji srikaya (*Annona squamosa* L) dengan pelarut organik. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 6(1): 56-60.
- Kumar, S., Shukla, A., Baul, P., Mitra, A., and Halder, D. 2018. Biodegradable hybrid nanocomposites of chitosan/gelatin and silver nanoparticles for active food packaging applications. *Food Packag. Shelf Life*. 16:178–184.
- Kumar, S., Basumatary, I., Sudhani, H., Bajpai, V., Chen, L, Shukla, S., and Mukherjee, A. 2021. Plant extract mediated silver nanoparticles and their applications as antimicrobials and in sustainable food packaging: a state-of-the-art review. *Trends Food Sci. Technol*. 3(2): 651–666.
- Kurniawan, R., Putri, F dan Puspita, F. N. 2016. Produk Tepung Glukomannan dari Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) dengan Proses Kombinasi Fisik Dan Enzimatis. Tugas Akhir- TK145501. 125 Hlm.
- Kusnandar, F., D, R, Adawiyah., dan Fitria, M. 2013. Pendugaan umur simpan produk biskuit dengan metode akselerasi berdasarkan pendekatan kadar air kritis. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 21(2):117-122.

- Mangga, C., Rampe, M. J., dan Sangande, F. 2022. Uji aktivitas antibakteri daun binahong (*Anredera cordifolia* (Tenore) Steenis) terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Biofarmasetikal Tropis*. 5(1): 60-65.
- Maneking, E., Sangian, F., dan Tongkukut, J. 2020. Pembuatan dan karakterisasi bioplastik berbahan dasar biomassa dengan plasticizer gliserol. *Jurnal MIPA*, 9(1):23 - 27.
- Munawiroh, S. Z., dan Handayani, F. S. 2020. Optimasi formulasi nanopartikel minyak biji anggur energi tinggi dengan box behnken design (BBD). *Majalah Farmasetika*. 4(1): 93-99.
- Manus, N., Yamlen, Y. V. P., and Kojong, S. N. 2016. Formulasi sediaan gel minyak atsiri daun sereh sebagai anti septik. *Pharmacon Journal Unsrat*. 3(3): 2302-2493.
- Mahadin, B. D. M. 2015. Aplikasi *Edible coating* Berbasis Pati Singkong untuk Memperpanjang Umur Simpan Buah Naga Terolah Minimal. [Thesis]. Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. 123 Hlm.
- Miskiyah, W., and Juniawati. 2014. Efikasi cuka kulit pisang dan air kelapa sebagai penghambat *Listeria monocytogenes* pada daging ayam. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 12(2), 43-54. <http://dx.doi.org/10.21082/jpasca.v12n2.2015.93-104>.
- Manik, D. F., Hertiani, T., dan Anshory, H. 2014. Analisis korelasi antara kadar flavonoid dengan aktivitas antibakteri ekstrak etanol dan fraksi-fraksi daun kersen (*Muntingia calabura* L.) terhadap *Staphylococcus aureus*. *Jurnal KHAZANAH*. 6(2): 1-11.
- Mohan, O. C., Ravishanker, N. C and Gopal, S. K. T. 2013. Active packaging of fishery product. *Review*. 47(1): 1-18.
- Mohanraj, V. J., and Chen, Y. 2013. Nanoparticles : a review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. 5(1).
- Muhtadin, F., Wijaya, R., Prihatini, P., dan Mahfud. 2013. Pengambilan minyak atsiri dari kulit jeruk segar dan kering dengan menggunakan metode steam distillation. *Jurnal Teknik Pomits*. 2(1): 2337-3539.
- Muttaqin, B. T., Surti, dan Wijayanti, I. 2016. Pengaruh konsentrasi egg white powder (ewp) terhadap kualitas bakso dari ikan lele, bandeng, dan kembung. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*. 5(3):9-16.

- Nurviana, V., Alifiar, I., Wulandari, W. T., Dewi, R dan Nuraeni, R. 2020. Potensi antioksidan sediaan nanopartikel ekstrak kernel biji limus (*Mangifera foetida* Lour). *Jurnal Farmasi Udayana*. 144 -151.
- Ningsih, R. D., Zufahair, Z., Purwati, P., dan Nurdin, A. 2019. Hand sanitizer ekstrak metanol daun mangga arumanis (*Mangifera indica*). *Jurnal Penelitian Kimia*. 15(1): 10-23.
- Nurlatifah, Cakrawati, D., dan Nurcahyani, R. 2017. Aplikasi *edible coating* dari pati umbi porang dengan penambahan ekstrak lengkuas merah pada buah langsung. *Edufortech*. 2(1):7-14.
- Ningsih, N., Yasni, S., dan Yuliani, S. 2017. Sintesis nanopartikel ekstrak kulit manggis merah dan kajian sifat fungsional produk enkapsulasinya. *Jurnal Teknol dan Industri Pangan*. 28(1): 27-35.
- NanoComposix. 2012. Zeta potential analysis of nanoparticles. *San Diego: NanoComposix*. 1(1): 118-126.
- Picos, C. L. A., Morales, B. A. M., Ruelas, L. J. P., Crini, G., García, A. E., Jimenez, L. S. A., and Inzunza, C. L. N. 2023. Chitosan as an outstanding polysaccharide improving health-commodities of humans and environmental protection. *Polymers*. 15: 526-537.
- Pichla, M., Bartosz, G., Stefaniuk, I., and Sadowska, B. I. 2021. pH-responsive redox nanoparticles protect sh-sy5y cells at lowered pH in a cellular model of parkinson's disease. *Molecules*. 26(3): 543-554.
- Palupi, N. K., Yudi, P., dan Sutardi, S. 2020. Pembuatan nanopartikel pati jagung dengan teknik fotooksidasi menggunakan H₂O₂ dan lampu UV-C pada system tersirkulasi. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. 9(3): 118-125.
- Prasetya, A. Y., Nisyak, K., dan Amanda, R. E. 2019. Aktivitas antibakteri nanopartikel minyak lengkuas (*Alpinia galangal* L) dalam menghambat pertumbuhan *Helicobacter pylori*. *Journal of Tropical Biologi*. 7(3): 136-142
- Paulraj, M. G., Savarimuthu, I., Munusamy, C., Gandhi, R., Shajahan, A., Ganesan, P., Soosaimanickam, M., Naif, P., and Al-Dhabib A. 2017. Comparative studies of tripolyphosphate and glutaraldehyde cross-linked chitosan-botanical pesticide nanoparticles and their agricultural applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. 104: 1813-1819
- Phadke, G. G., Elavarasan, K., and Shamasundar, B. A. 2016. Bioactive and functional properties of fish protein hydrolysates from fish frame processing waste using plant proteases. *Environ Sci Poll Res*. 23(1): 24901-24911.

- Putri, A., Sundaryono, A., dan Chandra, I. 2019. Karakterisasi nanopartikel kitosan ekstrak daun ubi jalar (*Ipomoea batatas L.*) menggunakan metode gelasi ionik. *Alotrop*. 2(2):203–207.
- Putri, Rr. D. A., A. Setiawan, dan Anggraini, P. D, 2016. Effect of carboxymethyl cellulose (CMC) as biopolymers to the edible film sorghum starch hydrophobicity characteristics. *Engineering International Conference (EIC)*. 2(44): 1-5.
- Perdana, D. 2015. Pengembangan Awal Sistem Pembawa Polimerik Berbasis Nanopartikel. [Thesis]. Bandung: Institut Teknologi Bandung. 132 Hlm.
- Park, K., Yeo, Y., and Swarbrick, J. 2014. Microencapsulation technology in: encyclopedia of pharmaceutical technology 3rd edition. New York: Informa Healthcare USA, Inc., p. 2315- 2325.
- Ramdhani, R., Amalia, V., dan Junitasari, A. 2022. Pengaruh konsentrasi sorbitol terhadap karakteristik edible film pati kentang (*Solanum tuberosum L.*) dan pengaplikasiannya pada dodol nanas. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, Vol. 15:103-111.
- Raharjo, A. B., Dewi, S. W. N dan Haryani, K. 2012. Pemanfaatan tepung glukomanan dari umbi iles- iles (*Amorphophalus onchophyllus*) sebagai bahan baku pembuatan edible film. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 1(1): 401-411.
- Rahayu, P. W., dan Nurwitri, C. C. 2012. *Mikrobiologi Pangan*. IPB. Bogor. 123 hlm.
- Rajendran, R., Radhai, R., Kotresh, T. M., and Csiszar, E. 2013. Development of antimicrobial cotton fabrics using herb loaded nanoparticles. *Carbohydr Polym*. 91(2): 613–617.
- Rebelo, R., Fernandes, M., and R. Fangueiro. 2017. Biopolymers in medical implants: a brief review. *Journal of Procedia Engineering*. 200(1): 236-243.
- Rochima, E., Fiyanih, E., Afrianti, E., Joni, M.I., Subhan, U., dan Panatarani, C. 2018. Efek penambahan suspensi nanokitosan pada *edible coating* terhadap aktivitas antibakteri. *JPHPI*. 21(1): 127-136.
- Rowe, R. C., Shekey, P. J., and Quinn, M. E. 2013. Handbook of pharmaceutical excipients, sixth edition. *Pharmaceutical Press*. 549-553, 675-681.
- Riyandari, A. B. 2020. Active packaging (sistem pengemasan untuk kualitas pangan yang lebih baik). Sanabil. Mataram. 154 hlm.

- Saleh, N., Rahayuningsih, A. St., Radjit, S. B., Ginting, E., Harnowo, D dan Mejaya, J. M. I. 2015. *Tanaman Porang Pengenalan, Budidaya, dan Pemanfaatannya*. Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor. 41 hlm.
- Salunke, B. K., Sathiyamoorthi, E., Tran, T. K., and Kim, B. S. 2017. Phyto-synthesized silver nanoparticles for biological applications. *Korean J. Chem. Eng.* 34(1) 943–951.
- Sapara, U. T., Waworuntu, O., dan Juliatri. 2016. Efektivitas antibakteri daun pacar air (*Impatiens balsamina* L.) terhadap pertumbuhan *Porphyromonas gingivalis*. *Jurnal Teknologi Pangan*. 5(4): 10-17.
- Sari, A dan Herdiana, Y. 2016. Review : formulasi nanopartikel terhadap peningkatan kualitas obat. *Farmaka*. 16(1): 247-254.
- Sinaga, S. Z., Dewita, dan Suparmi. 2016. Prediction the shelf life of instan porridge fortified with catfish (*Pangasius hypophthalmus*) protein concentrate using different packaging. *JOM: Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau*. 3(2): 1–10.
- Singh, S., Singh, N., Ezekiel, R., and Kaur, A., 2013. Effects of gamma-irradiation on the morphological, structural, thermal and rheological properties of potato starches. *Carbohydrate Polymers*. 83(1): 1521- 1528.
- Sharif, M., Tunio, S.A., and Bano, S. 2021. Synergistic effects of zinc oxide nanoparticles and conventional antibiotics against methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. *Adv. Life Sci.* 8: 167–171.
- Sharma, A., Sood, K., Kaur, J., and Khatri, M. A. 2019. Agrochemical loaded biocompatible chitosan nanoparticles for insect pest management. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 18(1): 1001-1012.
- Shi A, Li D, Wang, L, Li B, and Adhikari, B. 2013. Preparation of starch-based nanoparticles through highpressure homogenization adminiemulsion crosslinking: influence of various process parameters on particle size and stability. *Carbohydrate Polymers*. 83(1): 1604-1610.
- Sinico, C, De Logu, A, and Lai, F. 2013. Liposomal incorporation of *Artemisia arborescens* L. essential oil and in vitro antiviral activity. *Eur J Pharm Biopharm.* 59(1): 161–168.
- Soetikno, N., Ristiarini, S., dan Khairina, R. 2018. Sifat sensoris, kimia dan warna, ronto pada konsentrasi garam dan nasi yang berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 21(1): 85-91.

- Sudaryati H. P., Tri, M. S., dan Egh, R. H. 2013. Sifat fisik dan mekanis edible film dari tepung porang (*Amorphophallus oncophyllus*) dan karboksimetilselulosa. *Jurnal Tekno Pertanian*. 11(1): 196-200.
- Sumarwoto. 2014. Review: Kandungan glukomanan pada tanaman iles-iles (*Amorphophallus muelleri*). *Jurnal Bioteknologi*. 4(1): 28-32.
- Suryati, M. S., Meriatna, Nasrul, Z, Jalaluddin, dan Sulhatun. 2022. Pengaruh kondisi ekstrak glukomanan dari umbi porang (*Amorphophallus muelleri* Blume). *Chemical Engineering Journal Storage*. 2(1): 114-123.
- Surjowardojo, P., Susilorini, E. T., dan Sirait, B. R. G. 2015. Daya hambat dekok kulit apel manalagi (*Malus sylvestris* Mill.) terhadap Pertumbuhan *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas sp.* penyebab mastitis pada sapi perah. *Jurnal Ternak Tropika*. 6(2): 40-48.
- Susanti, L. 2009. Pendugaan Umur Simpan Bakso Daging Sapi (Kajian Suhu Perendaman Adonan Bakso Sebelum Perebusan). [Thesis]. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang. 123 Hlm.
- Suptijah. P., Jacob A. M., dan Deviyanti, N. 2012. Karakterisasi dan bioavailabilitas nano kalsium cangkang udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *J Akuatika*. 3(1): 63- 73.
- Suyanto, A., dan Isworo, J. T. 2015. Evaluasi Sifat Fisik dan Kimia Glukomanan Modifikasi Tepung Iles-Iles (*Amorphophallus Oncophillus*). [Thesis]. Universitas Muhammadiyah. Semarang. 123 Hlm.
- Siswanti., Anandito.K.B.R dan Manuhara, .J.G. 2013. Karakterisasi edible film komposit dari glukomanan umbi iles-iles (*Amorphophallus Muelleri* Blume) dan maizena. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*. (2): 110-118.
- Silva, D. L. B., Herath, W. M. H. W., Jennings. C. R., Mahendran, M., and Wannigama, G. P. 2012. Coumarins from *Triphasia Trifoliata*. *Phytochemistry Journal*. 20(12): 2776-2778.
- Sudjadi. 1983. *Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Ghalia Indonesia. Jakarta
- Supratman, U. 2010. *Elusidasi Struktur Senyawa Organik (Metode Spektroskopi untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik)*. Widya Pajajaran. Bandung.
- Silverstein, R. M., Bessler, G. C., and Moril, T. C. 1986. *Spectrometric Identification of Organic Compound (Penyidikan Spektroskopi Senyawa Organik)*, terjemahan A.J. Hartono dan Any Victor Purba. Erlangga. Jakarta.

- Taghavizadeh Yazdi, M. E., Darroudi, M., Amiri, M. S., Zarrinfar, H., Hosseini, H. A., Mashreghi, M., Mozafarri, H., Ghorbani, A., and Mousavi, S. H. 2022. Antimycobacterial, anticancer, antioxidant and photocatalytic activity of biosynthesized silver nanoparticles using berberis integerrima. *Iran J. Sci. Technol. Trans. A. Sci.* 46(1): 1–11.
- Theanphong, O and Mingvanish. 2018. Antimicrobial activity from leaves and stems of *Triphasia Trifolia* (Burm. F.) P. Wilson. *Bull Health Sci Technol.* 16(1): 31-38 .
- Todisco, K. M., Ezequiel. J. P. M., Natalia. S. J., and Maria. A. M. 2022. Physical and morphological characteristics of *edible coating* s based on pectin and guava by-products applied to guava pieces. *Ciência Rural, Santa Maria.* 52(7) : 1-11.
- Tun, K. N. W., Aminah, N. S., Kristanti, A. N., Ramadhan, R., Takaya, Y., and Aung, H. 2019. Coumarins from myanmar edible fruit tree (*Casimiroa edulis*). *J. Indian Chem. Soc.*, 96(6), 1–4.
- Trilaksani, W., Salamah, E., dan Nabil, M. 2014. Pemanfaatan limbah tulang ikan tuna (*Thunnus sp.*) sebagai sumber kalsium dengan metode hidrolisis protein. *Bul THP.* 9(2): 34-45.
- Utami, C. P., S.A., Fitrianingrum, K., dan Haryani. 2012. Pemanfaatan iles-iles (*Amorphophallus oncophyllus*) sebagai bahan pengenyal pada pembuatan tahu. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri.* 1(1): 79-85.
- Uzair, B., Liaqat, A., Iqbal, H., Menaa, B., Razzaq, A., Thiripuranathar, G., Fatima Rana, N., and Menaa, F. 2020. Green and cost-effective synthesis of metallic nanoparticles by algae: safe methods for translational medicine. *Bioengineering.* 3: 129-141.
- Vargas-Hernandez, M., Macias-Bobadilla, I., Guevara-Gonzalez, R. G., Rico-Garcia, E., Ocampo-Velazquez, R. V., Avila-Juarez, L., and Torres-Pacheco, I. 2020. Nanoparticles as potential antivirals in agriculture. *Agriculture.* 10: 444-457.
- Wang, T., Fleming, E., and Luo, Y. 2023. An overview of the biochemistry, synthesis, modification, and evaluation of mucoadhesive polymeric nanoparticles for oral delivery of bioactive compounds. *Adv. Compos. Hybrid Mater.* 6: 1127-1137.
- Wardana, A. A., Suyatma, N. E., Muchtadi, T. R., and Yaliani, S. 2018. Influence of ZnO nanoparticles and stearic acid on physical, mechanical and structural properties of cassava starch-based bionanocomposite edible films. *Int. Food Res. J.* 25: 1837–1844.

- Warsiki, E., Sunarti, T. C., dan Nurmala, L, 2013. Kemasan antimikroba untuk memperpanjang umur simpan bakso ikan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*. 18(2):125-131.
- Widayanti, P. N., dan Laksmi, S. A. 2020. Uji aktivitas ekstrak etanol buah jeruk kingkit (*Triphasia trifolia*) dengan metode DDPH (1,1- diphenyl-2-picrylhydrazil). *Jurnal Media Sains*. 4 (1): 25-31.
- Winarti C, Miskiyah, dan Widaningrum. 2012. Teknologi produksi dan aplikasi pengemas edible antimikroba berbasis pati. *J. Litbang Pert.* 31 (3) : 85-93
- Yasin, I., Suwardji., Kusnarta., Bustan, dan Fahrudin. 2021. Menggali potensi porang sebagai tanaman budidaya di lahan hutan kemasyarakatan pulau lombok. *Prosiding SAINTEK LPPM Universitas Mataram*. 3(1): 453-463.
- Yan, H., Bao, C., Chen.X., Yu, C., Kong, D., Shi, J and Lin, Q. 2019. Preparation of biodiesel oil in water nanopartikelons by mixed surfactants for bifenthrin formulation. *RSC Advances*. 9(21) : 11649-11658.
- Su YL, Fu ZY, Zhang JY, Wang WM, Wang H, and Wang YC. 2014. Preparation of radix salvia nanoparticles. *Powder Technol.*184(1): 114–121.
- Yu Y., J. and Wang. 2014. Effect of γ -ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice. *Food Research International*. 40(2): 297-303.
- Yuliani, S. H., Hartini, M., Stephanie, Pudyastuti, B., dan Istyastono, E.P. 2016. Perbandingan stabilitas fisik sediaan nanopartikel minyak biji delima dengan fase minyak long- chain trigliceiryde dan medium chain triglyceride. *Traditional Medical Journal*. 10(1): 3-7.
- Zuo, J. Y., Knoerzer, K., Mawson, R., Kentish, S., and Ashokkumar, M.. 2009. The pasting properties of sonicated waxy rice starch suspensions. *Ultrasonics Sonochemistry*. 16(1): 462-468.
- Zhang, Y.Q., B.J. Xie, and X. Gan. 2015. Advance in the application of konjac glucomannan and its derivatives. *Carbohydrate Polymers*. 60(1): 27-31.
- Zufahmi dan Nurlaila. 2018. Hubungan kekerabatan famili rutaceae berdasarkan karakter morfologi di kecamatan bandar baru. *Prosiding Seminar Nasional*.
- Zoghbi, M. D. G. B., and Andrade, E. H. 2020. Chemical composition of the leaf, stem and fruit essential oils from *Triphasia trifolia* (Burm. f.) P. Wilson cultivated in North of Brazil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 12(1): 81 – 86.