

**ENKAPSULASI EKSTRAK ANTOSIANIN UBI JALAR UNGU
(*Ipomea batatas* L) TEKNIK COACERVATION MENGGUNAKAN
ALGINAT DAN PEKTIN SEBAGAI GEL MATRIKS**

***ENCAPSULATION OF PURPLE SWEET POTATO
ANTHOCYANIN EXTRACT (*Ipomea batatas* L) BY
COACERVATION TECHNIQUE USING ALGINATE AND PECTIN
AS MATRIX GEL***

**HUSNUL HATIMAH
G032202012**



**PROGRAM STUDI ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**ENKAPSULASI EKSTRAK ANTOSIANIN UBI JALAR UNGU
(*Ipomea batatas* L) TEKNIK COACERVATION MENGGUNAKAN
ALGINAT DAN PEKTIN SEBAGAI GEL MATRIKS**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan

Disusun dan diajukan oleh

**Husnul Hatimah
G032202012**

Kepada

**PROGRAM STUDI ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

TESIS

ENKAPSULASI EKSTRAK ANTOSIANIN UBI JALAR UNGU (*Ipomea batatas* L) TEKNIK COACERVATION MENGGUNAKAN ALGINAT DAN PEKTIN SEBAGAI GEL MATRIKS

Disusun dan diajukan oleh

HUSNUL HATIMAH**NIM : G032202012**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Magister Program Studi Ilmu dan Teknologi

Pangan Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 1 Agustus 2023

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Amran Laga, MS
NIP. 19621231 198803 1 020

Pembimbing Pendamping



Dr. Februadi Bastian, S.TP., M.Si
NIP. 19820205 200604 1 002

Ketua Program Studi
Ilmu dan Teknologi Pangan



Dr. Adiansyah Syarifuddin S.TP., M.Si
NIP. 19770527 200312 1 001



Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc
NIP. 19631231 198811 1 005

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Husnul Hatimah
NIM : G032202012
Program Studi : Ilmu dan Teknologi Pangan

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "ENKAPSULASI EKSTRAK ANTOSIANIN UBI JALAR UNGU (*Ipomea batatas* L) TEKNIK COACERVATION MENGGUNAKAN ALGINAT DAN PEKTIN SEBAGAI GEL MATRIKS" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Ir. Amran Laga, MS sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Februadi Bastian, S.TP., M.Si sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 11 Agustus 2023



Husnul Hatimah
NIM. G032202012

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur atas limpahan rahmat dan kasih-Nya, serta shalawat kepada Baginda Rasulullah SAW. Alhamdulillah atas segala ridho-Nya penulisan tesis yang berjudul “**ENKAPSULASI EKSTRAK ANTOSIANIN UBI JALAR UNGU (*Ipomea batatas* L) TEKNIK COACERVATION MENGGUNAKAN ALGINAT DAN PEKTIN SEBAGAI GEL MATRIKS**” ini dapat terselesaikan sebagai salah satu syarat meraih gelar magister.

Penulis menghaturkan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada **Prof. Dr. Ir. Amran Laga, MS** sebagai pembimbing pertama dan **Dr. Febuadi Bastian, S.TP., M.Si** sebagai pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, tanggapan dan motivasi selama proses perkuliahan, penelitian hingga dalam tahap penyusunan tesis ini. Serta kepada **Prof. Dr. Ir. Mahendradatta, MS, Prof. Ir. Andi Dirpan, S.TP., M.Si., PhD dan Ir. Hasnawaty Habibie, M.App.Sc.PhD** selaku tim penguji yang telah banyak memberikan bimbingan, saran dan motivasi kepada penulis.

Melalui lembaran ini, penulis ingin mengungkapkan rasa syukur tak hingga kepada Allah SWT yang telah menghadirkan orang-orang hebat dan setia dengan segala kekuatan, kepedulian dan bantuan tulus ikhlas kepada penulis selama penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua penulis, **Asriadi Umar** dan **Naspiah** atas segala doa, kasih sayang, nasihat, motivasi yang tak henti hingga pada tahap ini, serta sebagai pemicu semangat juang penulis untuk terus mengejar cita dan harapan, serta terus menjadi manusia yang lebih baik dan bermanfaat.
2. Ketua Program Studi Magister Ilmu dan Teknologi Pangan, **Dr. Adiansyah Syarifuddin, S.TP., M.Si** yang telah memberi bimbingan, arahan, dan motivasi kepada kami penulis serta rekan-rekan mahasiswa magister lainnya
3. **Staf dosen dan staf akademik** Prodi Ilmu dan Teknologi Pangan yang telah memberikan banyak ilmu dan dukungan moril kepada penulis selama menempuh proses perkuliahan magister.
4. Laboran Prodi Ilmu dan Teknologi Pangan, **Andi Rezkianisa, S.Pi., Hasmiyani, Nurul Fathanah, S.TP., M.TP** atas segala arahan dan bimbingannya selama penulis melakukan penelitian di laboratorium.
5. Saudara-saudari seperjuangan, **mahasiswa Magister Angkatan 2020 Genap** yang senantiasa kebersamai dalam proses perkuliahan, serta sebagai pemantik semangat penulis dalam menuntaskan tesis. Terkhusus **kak Emmy, kak Arma** yang banyak menyalurkan ide, inspirasi, dan energi positif selama perkuliahan.
6. Seperjuangan mahasiswa magister lintas angkatan yang senantiasa memberi motivasi dalam hal akademik. Terkhusus **Khadijah, Kak Ria, Rahma, Ria Andriana, Kak Andysniar, Desak, Sunrixon, Binta, Kak Stevano, Mbak Jenny**.
7. Sahabat, **Tata Fathanah** dan **Farahdiba** sekaligus seperjuangan dalam bangku kuliah magister. Meskipun terbilang senior dalam angkatan perkuliahan, namun suka duka berkuliah dijalani bersama. Walau keduanya sudah wisuda, tak henti-hentinya untuk memotivasi penulis untuk masuk di Baruga Unhas segera memakai toga.
8. Sahabat sejak di bangku menuju sarjana, **Nuril, Andi Fadiyah, Elisa, Sarinah, Darmawan, Laras, Nur Azizah, Syamsi, dan Karimah** yang masih turut andil memberi motivasi dan solusi ketika penulis berada di fase tersulit, utamanya

dalam menghadapi *trial error* penelitian, juga memberi masukan dalam pengolahan data dan penulisan tesis.

9. Sahabat sejak kehidupan berasrama, **Hardyanty, Riska SW, Bau Cahaya** yang tak henti saling support langkah menyelesaikan studi.
10. Sahabat sejak zaman kanak-kanak yang masih terus kebersamai hingga kini, **Usri, Hani, dan Ayu**, saling mendukung dari zaman mengerjakan tugas rumah hingga mengenal yang disebut tugas-tugas kuliah.
11. Saudara satu-satunya, **Siti Rahmah Dzulhijah**, atas segala dukungan dan do'a kepada penulis yang berjuang menuntaskan kuliah magister.

Serta pihak lainnya yang tak dapat lagi disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala dukungan dan motivasi tak henti. Semoga segala kebaikan dan bantuan yang telah diberikan mendapat imbalan dan limpahan rahmat yang berlipat ganda dari Allah SWT. Serta semoga tesis ini memberikan kebermanfaatn bagi sesama. Aamiin.

Sepatah kalimat, apa yang kamu mulai, menjadi tanggung jawabmu dalam menuntaskannya. Jangan pernah mundur, walau jalanmu terlihat tak signifikan dari yang lainnya. Dalam prosesmu, teruslah melangitkan do'a dan membumikan ikhtiar.

Makassar, Agustus 2023

Penulis

ABSTRAK

HUSNUL HATIMAH. **Enkapsulasi Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomea batatas* L) Teknik *Coacervation* menggunakan Alginat dan Pektin sebagai Gel Matriks** (dibimbing oleh Amran Laga dan Februadi Bastian).

Penggunaan pewarna non-pangan menjadi permasalahan di bidang keamanan pangan. Salah satu upaya dalam mengatasi hal tersebut adalah pembuatan produk pewarna alami dari pigmen antosianin ubi jalar ungu. Antosianin bersifat rentan mengalami kerusakan oksidatif sehingga teknik enkapsulasi perlu dilakukan sebagai upaya dalam mempertahankan senyawa bioaktif. Enkapsulasi dengan metode *coacervation* adalah proses penyalutan antosianin sebagai bahan aktif menggunakan pektin dan alginat sebagai gel matriks dengan prinsip pembentukan gelasi ionik. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh konsentrasi alginat terbaik dan waktu perendaman droplet dalam CaCl_2 terbaik terhadap pembentukan enkapsulat antosianin, serta identifikasi warna dan interaksi senyawa enkapsulat antosianin ubi jalar ungu yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi alginat (0%; 0,5%; 1%; 1,5%) dan variasi waktu perendaman droplet dalam CaCl_2 (0, 10, 20, 30 menit). Parameter penelitian yang digunakan adalah kadar air, kelarutan, antosianin, release antosianin, efisiensi enkapsulasi, aktivitas antioksidan IC_{50} , warna, dan FTIR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi alginat terbaik ditinjau dari tingkat kelarutan dan ketahanan senyawa bioaktif antosianin ubi jalar ungu adalah konsentrasi alginat 1% dengan nilai kadar air sebesar 1,02%, kelarutan sebesar 51,87%, kandungan total antosianin sebesar 20,77 mg/L, aktivitas antioksidan IC_{50} sebesar 4049,73 ppm, efisiensi enkapsulasi sebesar 32,43%, dan release antosianin sebesar 1,37 mg/L. Waktu perendaman droplet dalam CaCl_2 terbaik terhadap pembentukan enkapsulat antosianin ubi jalar ungu adalah menit ke-20 dengan nilai total antosianin sebesar 14,39 mg/L dan efisiensi enkapsulasi sebesar 22,48%. Warna enkapsulat antosianin yang dihasilkan L^* berkisar pada angka 50,44-52,44 diidentifikasi memiliki tingkat kecerahan cukup tinggi, a^* berkisar pada angka 20,98-27,98 diidentifikasi warnanya cenderung merah, b^* berkisar pada angka 0,57-1,95 yang diidentifikasi warna menuju spektrum kuning. Keterikatan senyawa enkapsulat antosianin diprediksikan adanya vibrasi gugus hidroksil, karbonil, karboksil, alkena, dan amida yang memungkinkan ikatan antarsenyawa antosianin, pektin, alginat, dan CaCl_2 .

Kata kunci: penyalut, efisiensi, kelarutan, warna

ABSTRACT

HUSNUL HATIMAH. **Encapsulation of Purple Sweet Potato Anthocyanin Extract (*Ipomea batatas L*) by Coacervation Technique using Alginate and Pectin as Matrix Gel** (supervised by Amran Laga dan Februadi Bastian)

The use of non-food dyes is a problem in food safety. One of the efforts to solve this problem is the making of natural coloring products from purple sweet potato anthocyanin pigments. Anthocyanins are sensitive to oxidative damage, so encapsulation techniques need to be used to preserve bioactive compounds. Encapsulation with the coacervation method in this study is encapsulating anthocyanins as active ingredients by using pectin and alginate as matrix gel with the principle of ionic gelation formation. This study aims to find the best alginate concentration and the best droplet soaking time in CaCl_2 for the formation of anthocyanin encapsulates, and to identify the color and interactions of the compound of purple sweet potato anthocyanin encapsulates produced. This study used variations of alginate concentration (0%; 0.5%; 1%; 1.5%) and variations of droplet soaking time in CaCl_2 (0, 10, 20, 30 minutes). The research parameters used were moisture content, solubility, anthocyanin, anthocyanin release, encapsulation efficiency, antioxidant activity IC_{50} , color, and FTIR. The results showed that the best alginate concentration in view of the level of solubility and retention of bioactive compounds of purple sweet potato anthocyanins was 1% with a moisture content value of 1.02%, solubility of 51.87%, total anthocyanin content of 20.77 mg/L, antioxidant activity IC_{50} of 4049,73 ppm, encapsulation efficiency of 32.43%, and anthocyanin release of 1.37 mg/L. The best droplet soaking time in CaCl_2 for the formation of purple sweet potato anthocyanin encapsulates is 20 minutes with a total anthocyanin value of 14.39 mg/L and an encapsulation efficiency of 22.48%. The color of the resulting anthocyanin encapsulates L^* ranged from 50.44-52.44 identified as having a high level of brightness, a^* ranged from 20.98-27-98 identified as tending to red, b^* ranged from 0.57-1.95 identified as color towards the yellow spectrum. The binding of anthocyanin encapsulate compounds is predicted by the vibrations of hydroxyl, carbonyl, carboxyl, alkene, and amide groups which are possible bonds between anthocyanin compounds, pectin, alginate, and CaCl_2 .

Keywords: coating, efficiency, solubility, color

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	II
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	III
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	IV
UCAPAN TERIMA KASIH.....	V
ABSTRAK.....	VII
ABSTRACT	VIII
DAFTAR ISI.....	IX
DAFTAR TABEL	XI
DAFTAR GAMBAR	XII
DAFTAR LAMPIRAN	XIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 <i>State of the Art</i>	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Ubi Jalar Ungu (<i>Ipomea batatas</i> L).....	6
2.2 Antosianin.....	7
2.3 Enkapsulasi	9
2.4 Teknik <i>Coacervation</i>	11
2.5 Alginat.....	13
2.6 Pektin.....	14
2.7 Pektin-Alginat	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Bahan Penelitian	17
3.2 Alat Penelitian	17
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.4 Rancangan Penelitian	18
3.4.1 Desain Penelitian.....	18
3.4.2 Variabel Penelitian.....	18
3.5 Prosedur Penelitian	19

3.5.1 Ekstraksi Antosianin Ubi Jalar Ungu	19
3.5.2 Enkapsulasi Antosianin Ubi Jalar Ungu	19
3.5.3 Analisa Fisiko-Kimia	23
1. Analisa Kadar Air Basis Kering Metode Thermogravimetri	23
2. Analisa Kelarutan	23
3. Analisa Total Antosianin Metode pH Differensial	24
4. Efisiensi Enkapsulasi.....	25
5. Uji Release Antosianin Enkapsulat	25
6. Analisa Aktivitas Antioksidan Metode DPPH	25
7. Analisa Kolorimetrik.....	26
8. Analisa Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR).....	26
3.6 Analisis Data.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Kadar Air.....	27
4.2 Kelarutan	29
4.3 Total Antosianin.....	31
4.4 Efisiensi Enkapsulasi	33
4.5 <i>Release</i> Antosianin Enkapsulat	34
4.6 Aktivitas Antioksidan IC ₅₀	36
4.7 Warna (Kolorimetrik)	37
4.8 Hasil Analisis Gugus FTIR	39
BAB V PENUTUP	42
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	51

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kandungan Gizi Ubi Jalar Ungu Per 100 g	7
Tabel 2. Karakteristik Proses Enkapsulasi	10
Tabel 3. Hubungan Konsentrasi Alginat terhadap Warna Enkapsulat Antosianin Ubi Jalar Ungu	37
Tabel 4. Hubungan Waktu Perendaman terhadap Warna Enkapsulat Antosianin Ubi Jalar Ungu	39
Tabel 5. Acuan Spektrum FTIR	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur utama antosianidin.....	8
Gambar 2. Struktur Antosianin Ubi Jalar Ungu	8
Gambar 3. Pembuatan enkapsulat metode koaservasi	12
Gambar 4. Struktur kimia alginat	13
Gambar 5. Struktur kimia pektin	14
Gambar 6. Mekanisme gelasi pektin bermetoksil tinggi dan bermetoksil rendah	15
Gambar 7. Diagram alir prosedur ekstraksi antosianin ubi jalar ungu	21
Gambar 8. Diagram alir prosedur enkapsulasi antosianin ubi jalar ungu	22
Gambar 9. (a) enkapsulat basah, (b) enkapsulat kering, (c) enkapsulat kering setelah digerus.....	27
Gambar 10. Hubungan konsentrasi alginat terhadap kadar air enkapsulat antosianin ubi jalar ungu.....	28
Gambar 11. Hubungan konsentrasi alginat terhadap kelarutan enkapsulat antosianin ubi jalar ungu.....	30
Gambar 12. Hubungan konsentrasi alginat terhadap total antosianin enkapsulat antosianin ubi jalar ungu.....	31
Gambar 13. Hubungan waktu perendaman dalam CaCl_2 terhadap kadar air enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	32
Gambar 14. Hubungan konsentrasi alginat terhadap efisiensi enkapsulasi enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	33
Gambar 15. Hubungan waktu perendaman dalam CaCl_2 terhadap efisiensi enkapsulasi enkapsulat antosianin ubi jalar ungu.....	34
Gambar 16. Hubungan konsentrasi alginat terhadap <i>release</i> antosianin enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	35
Gambar 17. Hubungan konsentrasi alginat terhadap aktivitas antioksidan IC_{50} enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	36
Gambar 18. Hasil analisis gugus FTIR enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	40
Gambar 19. Hipotesa interaksi ikatan senyawa antosianidin, pektin, alginat pada enkapsulat antosianin.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil pengujian kadar air enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	51
Lampiran 2. Hasil pengujian kelarutan enkapsulat antosianin ubi jalar ungu.....	53
Lampiran 3. Hasil pengujian aktivitas antioksidan ic_{50} enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	55
Lampiran 4. Hasil pengujian total antosianin enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	57
Lampiran 5. Hasil pengujian efisiensi enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	59
Lampiran 6. Hasil pengujian warna (L) enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	61
Lampiran 7. Hasil pengujian warna (a) enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	63
Lampiran 8. Hasil pengujian warna (b) enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	65
Lampiran 9. Hasil pengujian release antosianin enkapsulat antosianin ubi jalar ungu	67
Lampiran 10. Diagram Warna CIELAB.....	68
Lampiran 11. Interpretasi Spektrum FTIR	69
Lampiran 12. Hasil FTIR Enkapsulat Antosianin.....	73
Lampiran 13. Doumentasi Penelitian.....	89
Lampiran 14. Dokumentasi Enkapsulat Antosianin.....	92

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Diketahui jumlah substrat pati ubi jalar ungu relatif rendah sebesar 7% dari rasio berat 100 g (Milind & Monika, 2015). Sehingga kurang efektif untuk dikembangkan sebagai produk turunan pati modifikasi dikarenakan akan membutuhkan bahan baku dalam jumlah besar dalam proses produksi. Penelitian Hatimah *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa produksi maltodekstrin ubi jalar ungu diperoleh nilai gula reduksi berkisar 27,4-32,65% dan total antosianin 0,33-1,4 mg/L. Nilai antosianin relatif rendah dikarenakan antosianin bersifat hidrofilik sehingga terlarut dalam filtrat selama proses ekstraksi pati ubi jalar ungu. Meskipun filtrat tersebut masih tetap digunakan dalam proses pencampuran substrat, namun nilai antosianinnya masih rendah pada produk maltodekstrin tersebut. Sehingga hal ini menjadi pertimbangan peneliti untuk memanfaatkan kandungan antosianin sebagai bahan pewarna alami yang aman dikonsumsi dikarenakan angka penggunaan bahan tambahan non pangan semakin tinggi.

Penggunaan bahan tambahan pangan (BTP) non-pangan kategori zat pewarna banyak ditemukan pada pangan jajan anak sekolah (PJAS), pameran kuliner, industri rumah tangga, dan lain-lain. Berdasarkan laporan BPOM (2020), kasus penggunaan bahan berbahaya di Kota Jakarta terdapat 24 sampel mengandung Rhodamin B pada produk sagu ambon merah, kerupuk merah, cone pink, candil merah, pacar cina, kerupuk melarat. Serta terdapat 3 sampel yang mengandung methanil yellow pada tahu cina dan cone coklat. Selanjutnya, hasil sidak pangan oleh BPOM Mamuju Provinsi Sulawesi Barat teridentifikasi positif mengandung Rhodamin B pada produk es doger (BPOM, 2022).

Menurut BPOM (2019), melakukan investigasi produk pangan ilegal yang menggunakan pewarna non-pangan Rhodamin-B. Nama lain rhodamin B adalah D and C Red no 19, Food Red 15, ADC Rhodamine B, Aizen Rhodamine, dan Brilliant Pink. Sesuai Peraturan Menteri Kesehatan No. 239/MenKes/Per/V/85 tentang zat warna tertentu yang dinyatakan sebagai bahan berbahaya, Rhodamin-B termasuk ke dalam bahan berbahaya bagi kesehatan. Diketahui bahwa Rhodamin-B merupakan zat pewarna tekstil yang tentu sangatlah berbahaya jika dikonsumsi. Rhodamin B merupakan pewarna sintetis berbentuk serbuk kristal, berwarna hijau atau ungu kemerahan, tidak berbau, dan dalam larutan akan

berwarna merah terang berpendar/berfluorosensi (Gresshma & Paul, 2012). Rhodamin B merupakan zat warna golongan *xanthenes dyes* yang digunakan pada industri tekstil dan kertas, digunakan sebagai pewarna kain dan kertas. Jenis bahan pewarna non-pangan ini sangat berbahaya jika dikonsumsi (Hevira *et al.*, 2020). Olehnya itu sangat perlu adanya pengembangan dalam membuat zat pewarna alami sebagai bahan tambahan pangan yang aman dan sehat.

Antosianin sebagai pigmen alami dari tumbuhan yang sifatnya mudah larut dalam air dan aman dikonsumsi sehingga sering digunakan sebagai pewarna alami pada makanan dan minuman (Chisté *et al.*, 2010). Beberapa ekstrak kaya antosianin dari buah-buahan dan sayuran dapat digunakan sebagai pewarna makanan untuk menggantikan pewarna sintetis untuk keamanan produk pangan. Selain sebagai sumber pewarna alami, antosianin juga menunjukkan sejumlah fungsi biologis diantaranya memiliki aktivitas antioksidan dan anti-karsinogen, dan kemampuan untuk meningkatkan memori (Cho *et al.*, 2003; Hwang *et al.*, 2011). Ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas* L) menjadi salah satu sumber bahan alami yang menghasilkan antosianin. Menurut Montilla *et al.* (2010) antosianin yang dominan di dalam ubi jalar ungu adalah 3-sophorosida-5-glukosida turunan peonidin dan sianidin.

Antosianin rentan terhadap panas, cahaya, pH, oksigen dan beberapa enzim seperti polifenol oksidase, yang membatasi kegunaannya dalam pengolahan makanan (Cavalcanti *et al.*, 2011; Malien *et al.*, 2001). Diketahui bahwa antosianin memiliki banyak gugus hidroksil sehingga sangat labil dengan senyawa polar. Antosianin yang terasilasi dapat mempertahankan aktivitas antioksidan (Matera *et al.*, 2015). Antosianin dalam pengaplikasiannya sebagai pewarna sangat mudah mengalami oksidasi. Dengan demikian untuk meningkatkan kestabilan antosianin, diperlukan media penstabil, yaitu dengan mengikat bahan aktif tersebut dengan matriks pembawa (*carrier matrix*) dalam bentuk enkapsulasi. Menurut Ozkan dan Bilek (2014) bahwa enkapsulasi merupakan teknik untuk melapisi atau menyalut bahan aktif dengan lapisan dinding polimer sehingga menghasilkan partikel kecil berukuran mikro ataupun nano. Bertujuan untuk melindungi bahan aktif dari kondisi lingkungan sekitar seperti cahaya, suhu, kelembaban, dan terhadap interaksi dengan zat lainnya. Ada beberapa teknik yang sering digunakan enkapsulasi pewarna alami, seperti *spray drying*, *freeze drying*, *coacervation*, dan emulsi.

Metode enkapsulasi yang digunakan adalah *coacervation*. Teknik *coacervation* adalah teknik enkapsulasi dengan prinsip pembentukan gelas ionik (Barbosa *et al.*, 2005). *Coacervation* merupakan teknik enkapsulasi yang mudah karena bahan pengkapsul yang digunakan mudah didapat, tidak membutuhkan peralatan yang mahal, dan dapat dilakukan pada suhu ruang. Selain itu pemilihan teknik *coacervation* juga dikarenakan efisiensi enkapsulasi yang tinggi (Chan *et al.*, 2010). Metode enkapsulasi yang digunakan adalah penjeratan core aktif menggunakan pektin dan alginat sebagai bahan penyalut (*coating*). Pektin sebagai polisakarida nabati yang mampu membentuk dan mengikat film yang kuat sehingga dapat diaplikasikan dalam proses enkapsulasi. Sedangkan alginat digunakan karena memiliki gugus karboksil sehingga mampu membentuk gel dengan kation divalen, sedangkan gugus protein berperan sebagai pengemulsi. Dalam penelitian ini, ekstrak antosianin sebagai zat aktif enkapsulasi (*core active*) dalam pemanfaatannya sebagai zat pewarna alami.

Matriks alginat merupakan metabolit primer senyawa hidrokoloid penting sehingga banyak dimanfaatkan oleh industri pangan sebagai pengental, pembentuk gel, penstabil, dan bahan pengemulsi. Alginat memiliki sifat dan karakteristik yang mampu membentuk bulat makro, mikro dan nanopartikel (Wu *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2012). Selain itu, alginat telah terbukti bersifat *biodegradable*, *biocompatible*, dan non-toksik (Espevik *et al.*, 1993). Alginat dengan kandungan asam guluronat yang tinggi mampu membentuk gel kaku yang tahan terhadap pembengkakan dan erosi sehingga menyebabkan pelepasan lebih lambat serta efisiensi enkapsulasi yang lebih tinggi. Sehingga perlunya dilakukan penelitian terkait enkapsulasi antosianin menggunakan alginat dan pektin sebagai matriks penyalut. Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel proses yaitu variasi konsentrasi alginat terhadap pektin, warna enkapsulat, dan stabilitas produk yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Tingginya angka penggunaan pewarna sintetis terhadap produk pangan oleh produsen UMKM dan industri kecil-menengah lainnya menjadi permasalahan di bidang keamanan pangan. Pewarna alami dapat diperoleh dari ubi jalar ungu, namun sifatnya yang tidak stabil terhadap panas, oksigen, dan pH. Salah satu upaya solutif yang dikembangkan adalah memproduksi pewarna alami skala besar yang memiliki stabilitas tinggi dan daya simpan lama. Ubi jalar ungu merupakan

komoditas yang melimpah dan kadar antosianin tinggi sehingga dapat dijadikan sebagai pewarna alami dengan metode dan biaya operasional produksi yang relatif rendah agar produk akhir dapat ditawarkan dengan harga yang lebih ekonomis. Antosianin sangat rentan mengalami kerusakan oksidatif sehingga teknik enkapsulasi sebagai upaya dalam mempertahankan senyawa bioaktif. Enkapsulasi dengan metode *coacervation* adalah salah satu proses yang dapat digunakan dalam memproduksi pewarna alami antosianin ubi jalar ungu dalam bentuk *beads entrapment* menggunakan pektin dan alginat sebagai gel matriks.

Batasan permasalahan dari penelitian ini adalah mempelajari kondisi proses dari pembentukan enkapsulat antosianin. Kondisi proses meliputi konsentrasi gel matriks yang digunakan dan waktu perendaman *beads* atau droplet terhadap larutan CaCl_2 untuk memperoleh enkapsulat antosianin yang optimal dan stabil.

1.3 State of the Art

Penelitian terkait dengan enkapsulasi telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Sebagian besar metode enkapsulasi yang digunakan adalah menggunakan *carrier material* dan selanjutnya dilakukan pengeringan teknik *spray drying* atau *freeze drying*. Hanya saja metode ini memiliki keterbatasan dalam hal biaya operasional yang tinggi. Hasil studi Vergara *et al.*, (2020) melaporkan bahwa mikroenkapsulasi *Purple Potato Extract (PPE)* dengan metode *spray drying* menggunakan maltodekstrin sebagai *wall material* memperoleh rendemen berkisar 58,9% dan tingkat efisiensi enkapsulasi pada rasio PPE: pelarut metanol (1:4) berkisar 86%. Penelitian Yamashita *et al.*, (2017) menghasilkan mikropartikel ekstrak produk samping *blackberry* yang kaya akan kandungan antosianin dengan teknik *freeze drying* menggunakan maltodekstrin DE 10 dan 20 sebagai *wall material* enkapsulasi. Mengenai kandungan antosianin, terjadi penurunan yang signifikan setelah proses mikroenkapsulasi. Mikropartikel berbasis maltodekstrin 10DE (76%) menunjukkan retensi yang lebih baik daripada mikropartikel berbasis maltodekstrin 20DE (68%).

Teknik enkapsulasi antosianin ubi jalar ungu metode koaservasi telah banyak dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis penyalut lainnya. Teknik *coacervation* ini menggunakan polimer dengan penambahan zat hidrofilik kuat ke dalam larutan koloid, kemudian disalut kembali menggunakan polimer lainnya untuk menyalut bahan aktif antosianin. Antosianin memiliki banyak gugus hidroksil sehingga terdapat kemungkinan mampu mengikat gugus hidroksil, karboksil,

metoksil, dan amin. Pektin mengandung gugus metoksil dan alginat mengandung gugus karboksil. Penelitian Norcino *et al.*, (2022) menunjukkan penggunaan alginat-pektin dalam pembentukan enkapsulat antosianin buah anggur dengan metode emulsifikasi. Olehnya itu, penggunaan polimer pektin-alginat dalam menyalut bahan aktif antosianin menjadi pertimbangan dalam menyalut antosianin ubi jalar ungu dengan metode *coacervation*. Selain itu, kebaruan dari penelitian ini adalah adanya perlakuan variasi perendaman *beads* atau droplet ke dalam larutan CaCl_2 untuk mengevaluasi kembali tingkat kestabilan matriks, sebab diketahui sensitivitas dari metode ini adalah terjadinya aglomerasi partikel yang memungkinkan terjadinya kebocoran gel matriks.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk menganalisa variasi konsentrasi alginat terbaik terhadap pembentukan enkapsulat antosianin ubi jalar ungu ditinjau dari tingkat kelarutan dan ketahanan komponen bioaktif.
2. Untuk menganalisa variasi waktu perendaman matriks dalam larutan CaCl_2 terbaik terhadap pembentukan enkapsulat antosianin ubi jalar ungu.
3. Untuk mengidentifikasi warna dan interaksi senyawa enkapsulat antosianin ubi jalar ungu yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait penggunaan alginat dan pektin sebagai gel matriks (bahan penyalut) ekstrak antosianin ubi jalar ungu dalam menghasilkan enkapsulat pewarna alami. Sekaligus sebagai bahan dalam mengedukasi masyarakat untuk lebih masif dalam penggunaan zat pewarna alami dalam mengolah bahan pangan. Serta, penelitian ini diharapkan mampu menjadi referensi kepada industri pangan dalam pengembangan produksi pewarna alami yang berstabilitas tinggi dan lebih ekonomis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ubi Jalar Ungu (*Ipomea batatas* L)

Ubi jalar ungu merupakan salah satu varietas ubi selain ubi kayu, ubi oranye serta ubi putih. Bentuk umbi umumnya lonjong dan permukaan kecil rata, daging berwarna ungu ada yang keunguan dan ada pula berwarna ungu pekat, teksturnya tergolong keras, rasanya manis namun tak semanis ubi putih. Dibandingkan jenis ubi jalar lainnya, ubi jalar ungu memiliki keunggulan, di antaranya mengandung antioksidan yang sangat berguna bagi tubuh dan pigmen antosianin yang lebih tinggi dari sumber lain seperti kubis ungu, *blueberry* dan jagung merah (Rosidah, 2014). Berikut kelompok taksonomi ubi jalar ungu (Milind dan Monika, 2015).

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Super division	: Spermatophyte
Division	: Sagnoliophyta
Class	: Magnoliopsida
Subclass	: Asteridae
Order	: Solanales
Family	: Convolvulaceae
Genus	: <i>Ipomea</i> L.
Species	: <i>Ipomea batatas</i> (L.)

Ubi jalar ungu merupakan umbi dengan warna kulit berwarna putih hingga ungu pekat dan warna umbi dari putih keunguan hingga ungu pekat seluruhnya. Ubi jalar ungu juga memiliki kandungan nutrisi lebih tinggi dibandingkan ubi jalar varietas lain, terutama kandungan lisin, Cu, Mg, K, Zn, dan rata-rata substansi anti kanker yaitu selenium dan iodine 20 kali lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk lain (Yoshimoto *et al.*, 1999). Ubi jalar ungu juga sebagai sumber karbohidrat sehingga dapat dimanfaatkan menjadi produk pati. Selain itu, ubi jalar ungu memiliki kelebihan lain yaitu kandungan antosianin yang merupakan salah satu senyawa antioksidan selain beta karoten. Antosianin termasuk dalam kelompok flavonoid yang penyebarannya luas di antara spesies tanaman, merupakan pigmen berwarna yang umumnya terdapat di bunga berwarna merah, ungu dan biru (Mwanga *et al.*, 2017). Tabel 1 menunjukkan kandungan gizi dari ubi jalar ungu.

Tabel 1. Kandungan Gizi Ubi Jalar Ungu Per 100 g

Gizi	Kadar Gizi
Air (g)	77
Energi (cal)	90
Kalori (kkal)	123
Karbohidrat (g)	20,7
Pati (g)	7
Serat (g)	3,3
Protein (µg)	1,6
Kalsium (mg)	30
Zat Besi (mg)	0,6
Magnesium (mg)	25
Mangan (mg)	0,258
Fosfor (mg)	47
Sodium (mg)	55
Zinc (mg)	0,3
Vitamin A (mcg)	1921,80
Tiamin (B1) (mg)	0,1
Riboflavin (B2) (mg)	0,1
Niasin (B3) (mg)	0,8

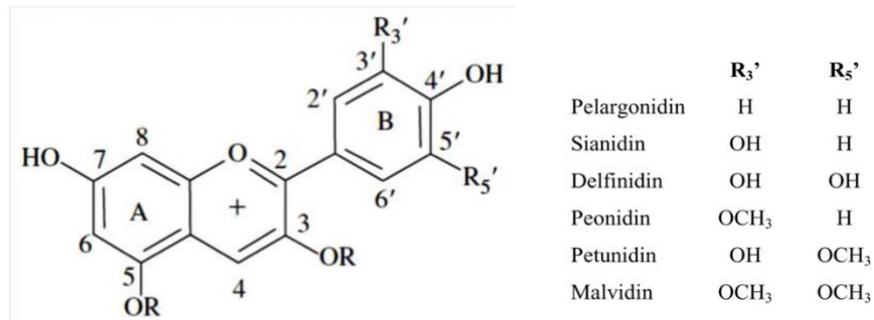
Sumber: Milind dan Monika (2015)

2.2 Antosianin

Bagian utama antosianin adalah rangka karbon dengan gugus hidrogen, hidroksil, dan metoksil yang ditemukan dalam enam posisi berbeda. Seluruh senyawa antosianin merupakan turunan dari kation flavium dan pada setiap inti flavium terdapat sejumlah molekul yang berperan sebagai gugus pengganti yang berbeda untuk masing-masing jenis antosianin. Komponen antosianin ubi jalar ungu adalah 3-sophorosida-5-glukosida turunan peonidin dan sianidin (Montilla *et al.*, 2011). Ubi jalar ungu memiliki senyawa antosianin yang cukup besar, yaitu 138.15 mg/100g dengan aktivitas antioksidan yang juga relatif tinggi, yaitu 86.68% (Widhaswari *et al.*, 2013).

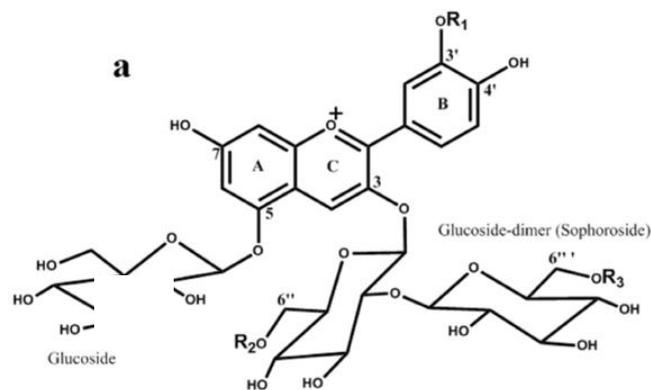
Antosianin adalah senyawa flavonoid dan merupakan glikosida dari antosianidin yang terdiri dari 2-phenyl benzopyrilium (flavium) tersubstitusi, memiliki sejumlah gugus hidroksil bebas dan gugus hidroksil termetilasi yang berada pada posisi atom karbon yang berbeda. Seluruh senyawa antosianin merupakan senyawa turunan dari kation flavilium, dua puluh jenis senyawa telah ditemukan. Tetapi hanya enam yang memegang peranan penting dalam bahan

pangan yaitu pelargonidin, sianidin, delphinidin, peonidin, petunidin, dan malvidin (Nugrahan, 2007). Senyawa antosianin bersifat larut dalam air. Struktur kimia antosianidin dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur utama antosianidin
Sumber: Priska *et al.*, (2018)

Warna dan stabilitas pigmen antosianin tergantung pada struktur molekul secara keseluruhan. Substitusi pada struktur antosianidin A dan B akan berpengaruh pada warna antosianin. Pada kondisi asam, warna antosianin ditentukan oleh banyaknya substitusi pada cincin B. Semakin banyak substitusi OH akan menyebabkan warna semakin biru, sedangkan metoksilasi menyebabkan warna semakin merah (Arisandi, 2001). Secara umum, stabilitas antosianin dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: struktur dan konsentrasi antosianin, derajat keasaman (pH), oksidator, cahaya, suhu, dan sebagainya (Jackman dan Smith, 1996). Struktur antosianin ubi jalar ungu ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Antosianin Ubi Jalar Ungu [cyanidin (R₁=H) atau peonidin (R₁=CH₃) 3-sophoroside-5-glucoside

Sumber: Xu *et al.*, (2015)

Aktivitas antioksidan dari antosianin ubi jalar ungu dihitung menggunakan metode DPPH (α -diphenyl- β -picrilhydrazyl) (Molyneux, 2004). Metode ini didasarkan kepada reaksi pemberian ion hidrogen dari bahan pangan yang mengandung antioksidan sehingga mengurangi warna ungu DPPH-radikal bebas, menjadi DPPH-H warna kuning yang tidak lagi bersifat radikal bebas (Kumaran dan Karunakaran, 2005). Pengurangan jumlah absorpsi DPPH (yang diukur menggunakan panjang gelombang 517 nm) menunjukkan kemampuan anti radikal bebas bahan pangan sumber antioksidan (Jiao *et al.*, 2012).

Antosianin memiliki kemampuan yang tinggi sebagai antioksidan karena kemampuannya menangkap radikal bebas dan menghambat peroksidasi lemak, penyebab utama kerusakan pada sel yang berasosiasi dengan terjadinya penuaan dan penyakit degeneratif (Cevallos dan Casals, Cisneros dan Zevallos, 2002; Suda *et al.*, 2003). Kemampuan antioksidan ubi jalar ungu (4,6-6,4 μ mol setara Trolox/g bb) lebih tinggi dibanding ubi jalar putih, kuning atau orange, seperti yang diamati pada varietas Ayamurasaki (Furuta *et al.*, 1998), dan juga lebih tinggi dibanding biji kedelai hitam (0,62-0,76 μ mol setara Trolox/g bb), beras hitam (3,0-4,3 μ mol setara Trolox/g bb), dan terong ungu (3,3-4,4 μ mol setara Trolox/g bb) (Suda *et al.*, 2003).

Antosianin merupakan zat warna yang bersifat polar dan larut dengan baik pada pelarut-pelarut polar. Senyawa ini termasuk dalam golongan flavonoid. Seperti halnya pigmen warna alami yang lainnya, pigmen antosianin memiliki stabilitas warna yang rendah. Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas antosianin diantaranya adalah pengaruh dari pH, cahaya, dan suhu (Purnomo *et al.*, 2014).

2.3 Enkapsulasi

Enkapsulasi adalah teknologi penyalutan secara langsung terhadap bahan aktif dalam bentuk partikel yang halus dari zat padatan, cairan, dan bahan-bahan gas dalam kapsul kecil yang melepaskan zat aktif tersebut secara terkontrol (Hidayah, 2016). Enkapsulasi adalah proses di mana partikel kecil atau tetesan cairan dibungkus atau dilapisi oleh bahan polimer untuk menghasilkan partikel kecil (Baena *et al.*, 2019) (Huo *et al.*, 2018). Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan kestabilan dan daya larut suatu bahan, untuk mengendalikan pelepasan senyawa aktif, untuk menghasilkan partikel-partikel padatan yang dilapisi oleh bahan penyalut tertentu dan meminimalisir kehilangan nutrisi. Ukuran

partikel melalui proses enkapsulasi berkisar 5-300 mikron (Gibbs *et al.*, 1999). Ukuran partikel enkapsulat berdasarkan metode enkapsulasi dirincikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Proses Enkapsulasi

Metode Enkapsulasi		Ukuran Partikel (μm)	Max. load (%)
Teknik Kimiawi	<i>Simple coacervation</i>	20-200	<60
	<i>Complex coacervation</i>	5-200	70-90
	<i>Molecular inclusion</i>	5-50	5-10
Teknik Fisik-Mekanik	<i>Spray drying</i>	1-50	<40
	<i>Spray chilling</i>	20-200	10-20
	<i>Extrusion</i>	200-2000	6-20
	<i>Fluidised bed</i>	>100	60-90
	<i>Freeze drying</i>	20-5000	Variasi

Sumber: (Madene *et al.*, 2006)

Prinsip enkapsulasi yaitu pencampuran antara fase air, fase zat inti, dan fase bahan penyalut sampai terbentuk emulsi yang stabil kemudian proses penempelan bahan penyalut pada permukaan bahan inti dan proses pengecilan ukuran partikel (Lee *et al.*, 2019). Kelebihan dari teknik ini yaitu masa simpan yang cukup lama, praktis untuk dicampurkan dengan bahan lain, memiliki kadar air rendah sehingga terhindar dari pertumbuhan jamur penyebab kerusakan. Namun, kekurangan dari teknik ini adalah proses yang cukup rumit dan biaya yang relatif mahal serta penampakan flavor yang sedikit berbeda dari bahan alami (Champagne dan Fustier, 2007).

Enkapsulasi adalah proses penyalutan atau pembungkusan suatu bahan baik itu padatan, cairan ataupun gas dalam sebuah bahan polimer penyalut. Bahan yang disalut tersebut umumnya disebut sebagai bahan-bahan inti atau bahan aktif. Teknik ini dapat melindungi bahan aktif dari pengaruh lingkungan yang merugikan seperti kerusakan-kerusakan akibat oksidasi, hidrolisis, penguapan atau degradasi oleh panas. Dengan demikian, bahan aktif akan mempunyai masa simpan yang lebih panjang serta mempunyai kestabilan proses yang lebih baik (Supriyadi dan Rujita, 2013).

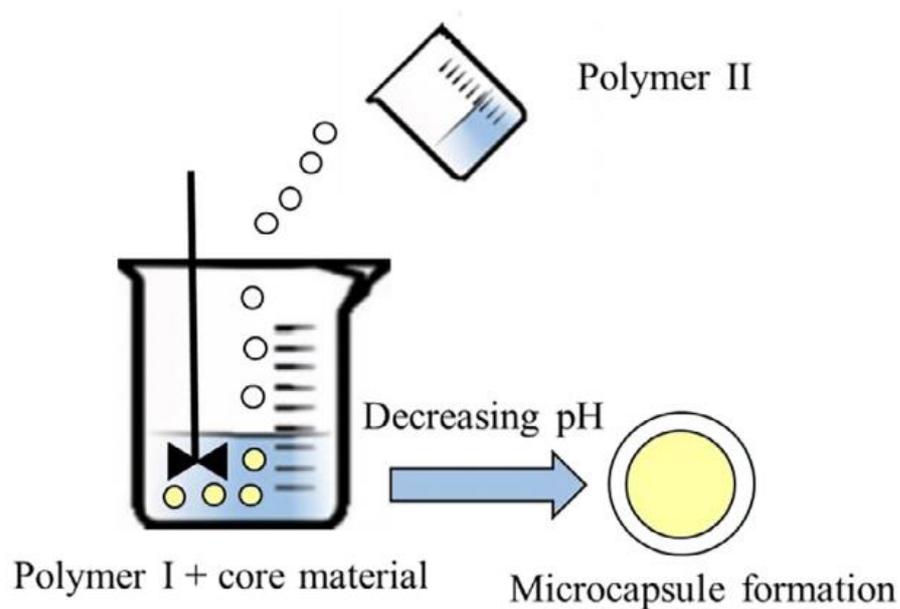
Struktur yang menyelimuti bahan inti disebut *wall*, film pelindung atau penyalut. *Wall material* yang digunakan dapat berupa polimer alam, semi sintetik dan sintetik. Namun, *demand* yang ada sekarang ini lebih mengarah pada

penggunaan *wall material* atau gel matriks alami karena konsumen menginginkan produk yang “*clear label*” serta menghindari efek buruk dari penggunaan bahan sintetik. Oleh karena itu, penelitian ini ingin mengetahui rasio maltodekstrin dan alginat sebagai gel matriks enkapsulat antosianin.

2.4 Teknik Coacervation

Coacervation adalah metode penjeratan pada bahan aktif dengan prinsip presipitasi atau memisahkan fase koloid dari fase air (Poshadri dan Kuna, 2010). Teknik koaservasi dapat didefinisikan sebagai fenomena koloid yang melibatkan pemisahan fase cair-cair dari satu atau campuran dua polimer bermuatan berlawanan dalam larutan berair yang dipicu oleh interaksi elektrostatik, ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, interaksi tarik-menarik yang diinduksi polarisasi, serta persilangan kimia atau enzimatis-ikatan silang termasuk glutaraldehid atau transglutaminase (Xiao *et al.*, 2014).

Kekuatan interaksi antar biopolimer tergantung pada berbagai faktor seperti jenis biopolimer (massa molar, fleksibilitas, dan muatan), pH, kekuatan ionik, konsentrasi, dan rasio biopolimer. Koaservasi sederhana hanya melibatkan satu jenis polimer dengan penambahan zat hidrofilik kuat ke dalam larutan koloid, koaservasi kompleks dihasilkan dengan mencampur dua atau lebih jenis polimer untuk pembentukan dinding di sekitar inti aktif. Secara rinci, metode koaservasi kompleks dilakukan pertama-tama pembuatan emulsi yang mendispersi bahan inti ke dalam larutan polimer berair. Kemudian, diikuti dengan membungkus fase tersebut sebagai lapisan yang sama di sekitar bahan inti dengan menambahkan larutan kedua yang didorong oleh penambahan garam, perubahan pH, suhu atau pengenceran medium. Akhirnya, stabilisasi mikrokapsul dengan metode ikatan silang, desolvasi atau perlakuan termal (Gaonkar *et al.*, 2014). Skema enkapsulasi metode koaservasi dapat dilihat pada Gambar 3.



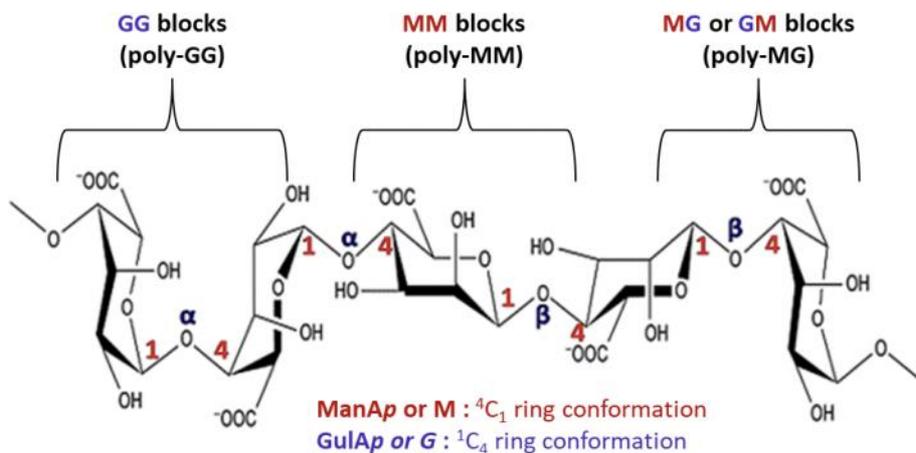
Gambar 3. Pembuatan enkapsulat metode koaservasi

Sumber: (Gaonkar *et al.*, 2014)

Pada studi penelitian memaparkan bahwa ekstrak *raspberry* yang dimikroenkapsulasi menggunakan emulsi ganda koaservasi kompleks dengan gelatin dan gum Arabic untuk meminimalisir ketidakstabilan komponen antosianinnya pada fase larutan, proses pengolahan, dan penyimpanannya. Diketahui mikrokapsul yang dihasilkan memiliki tingkat kelembaban rendah, higroskopisitas, dan kelarutan yang lebih rendah. Serta dihasilkan mikrokapsul antosianin yang bersifat termostabil (Shaddel *et al.*, 2018). Namun, kelemahan dari teknik koaservasi ini terletak pada aglomerasi partikel dan proses kontrol ukuran partikel. Serta partikel dengan menggunakan metode ini sangat sensitif terhadap nilai pH dan kekuatan ion, dan keterbatasannya terhadap berbagai matriks (Mohammadalinejad dan Kurek, 2021).

2.5 Alginat

Alginat adalah polisakarida anionik hidrofilik yang diekstraksi dari rumput laut coklat (*Phaeophyceae*) yang digunakan sebagai pengental, pengemulsi, penstabil, dan sebagainya (Abka *et al.*, 2022). Alginat terdiri dari (1,4)-asam β -D-manuronat dan α -L-gluronat yang berikatan pada ikatan (1,4) dan keduanya dalam konformasi piranosik yang tersusun secara homogen (MM atau GG) dan heterogen (MG atau GM) (Ching *et al.*, 2017). Berikut struktur kimia alginat secara rinci pada Gambar 4.



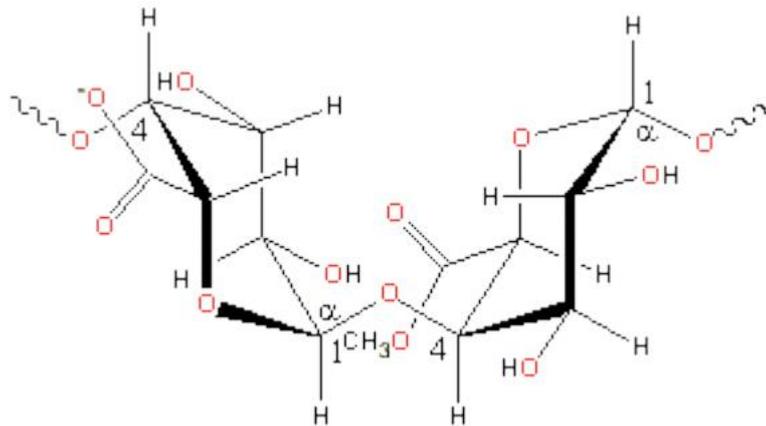
Gambar 4. Struktur kimia alginat

Sumber: (Ching *et al.*, 2017)

Dalam proses penyalutan atau enkapsulasi, matriks yang biasa digunakan untuk metode pengebakan adalah alginat. Kelebihan alginat sebagai matriks adalah dapat membentuk gel yang kokoh, tidak beracun, dapat dilakukan pada suhu ruang serta ekonomis dalam pengerjaannya (Anwar *et al.*, 2009). Namun metode ini memiliki kekurangan yaitu enzim masih dapat berdifusi keluar matriks melalui pori yang terbentuk didalam struktur gel alginat dengan ion kalsium (Brodelius *et al.*, 1987). Untuk meminimalisir proses difusi enzim dari matriks alginat, dapat dilapisi kembali dengan larutan kitosan yang kemudian diikatkan silang dengan natrium tripolifosfat. Alginat terlapis kitosan merupakan metode mikroenkapsulasi yang bertujuan untuk meminimalisir proses difusi enzim dari matrik Ca -alginat tersebut (Taqquiedin *et al.*, 2002). Semakin tinggi konsentrasi alginat maka porositas gel semakin rendah sehingga enzim sulit terlepas dari gel (Piliang, 2006).

2.6 Pektin

Pektin adalah polisakarida nabati yang memiliki kemampuan membentuk dan mengikat film yang kuat atau sebagai bahan dinding yang kuat untuk aplikasi enkapsulasi (Liu *et al.*, 2007). Pektin memiliki struktur yang kompleks dengan ikatan α -1,4-D-asam galakturonat (Gambar 5). Berdasarkan Derajat Esterifikasi (DE) pektin dibedakan menjadi dua golongan, yaitu pektin dengan kadar metoksil tinggi (HM) dan pektin dengan kadar metoksil rendah (LM). Nilai Derajat Esterifikasi (DE) pada pektin dengan kadar metoksil tinggi yaitu lebih dari 50%. Pektin metoksil tinggi (HM) memerlukan kondisi yang spesifik dalam membentuk gel, seperti pH (3-6), adanya padatan terlarut seperti sukrosa, serta suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan pektin metoksil rendah (LM) (Narassiman dan Sethuraman, 2016).

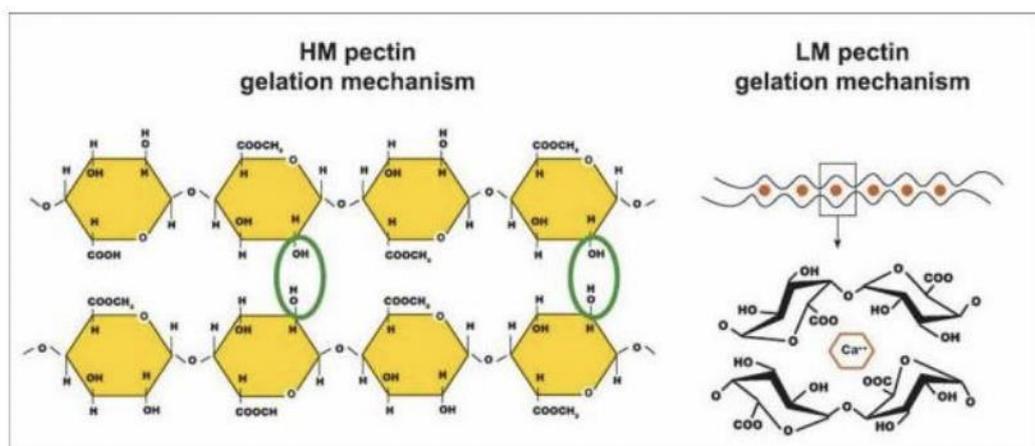


Gambar 5. Struktur kimia pektin
 Sumber: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Pectin>

Pektin dengan kadar metoksil rendah (LM) mempunyai nilai Derajat Esterifikasi kurang dari 50%. Pektin metoksil rendah (LM) tidak tergantung pada kandungan gula dan secara kimiawi lebih stabil terhadap kelembaban serta panas dibandingkan dengan pektin kadar metoksil tinggi (HM). Meskipun gula tidak begitu penting untuk pembentukan gel pada pektin metoksil rendah, sejumlah kecil gula cenderung menurunkan sineresis dan menambah kekuatan yang diinginkan dari gel ini, serta dengan adanya gula jumlah kalsium yang dibutuhkan untuk membentuk gel berkurang. Di sisi lain, konsentrasi gula yang tinggi mengganggu pembentukan gel karena dehidrasi gula mendukung ikatan hidrogen dan mengurangi ikatan silang dengan gaya ion divalent (Wan *et al.*, 2020). Gugus fungsi dalam struktur pektin dapat berinteraksi dengan berbagai molekul, komposit

pektin merupakan penggabungan polimer pektin dengan polimer lain untuk menghasilkan material baru dengan sifat-sifat fungsional yang lebih baik.

Pektin dapat membentuk gelasi yang dipengaruhi oleh derajat metilasi, berat molekul, kekuatan ionic, pH, suhu, dan adanya zat terlarut. Rantai samping gula seperti α -L-rhamnopyranosyl) dapat membentuk gelasi. Peningkatan pH dapat menyebabkan pemisahan ikatan glikosidik dalam molekul pektin, menurunkan berat molekul-molekul, dan penurunan kemampuan pembentuk gelnya (Narasimman dan Sethuraman, 2016). Berikut merupakan mekanisme gelasi pektin bermetoksil tinggi dan bermetoksil rendah pada Gambar 6.



Gambar 6. Mekanisme gelasi pektin bermetoksil tinggi dan bermetoksil rendah
 Sumber: (Narasimman dan Sethuraman, 2016)

2.7 Pektin-Alginat

Sistem pektin-alginat menjadi salah satu campuran gel yang telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian. Sifat struktural dari kedua campuran gel ini bergantung pada rasio pektin-alginat, tingkat esterifikasi pektin, proporsi asam manuronat dan asam gluronat dari alginat. Struktur gel alginat dengan kandungan asam manuronat yang tinggi dan pektin yang memiliki derajat esterifikasi tinggi rentan terhadap pelepasan. Sebaliknya, alginat dengan kandungan asam guluronat yang tinggi mampu membentuk gel kaku yang kurang rentan terhadap pembengkakan dan erosi sehingga menyebabkan pelepasan lebih lambat dan efisiensi enkapsulasi yang lebih tinggi. Pektin dengan tingkat esterifikasi yang lebih tinggi menghasilkan struktur yang lebih lemah dibandingkan dengan tingkat esterifikasi yang lebih rendah (Alborzi *et al.*, 2014). Penelitian Norcino *et al.*, (2022) menggunakan 2% pektin dalam pembuatan enkapsulasi antosianin buah anggur

metode gelasi ionik diperoleh nilai efisiensi enkapsulasi (EE) sebesar 46%. Penggabungan pektin dan alginat membentuk droplet hidrogel lebih efisien dalam melindungi senyawa antosianin sehingga menghasilkan kapasitas antioksidan dan nilai kandungan fenolik yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang tidak menggunakan proses emulsifikasi.

Penelitian Kiaei Pour *et al.*, (2020) melaporkan bahwa biokomposit pektin-alginat dengan berbagai komposisi yang berbeda dapat menjadi pembawa mikrokapsul dalam saluran gastrointestinal dan usus, dimana hidrogel alginat yang dilapisi dengan pektin dengan rasio 70:30 menghasilkan perlindungan yang baik terhadap asam folat dibandingkan dengan hidrogel alginat tanpa pektin dalam kondisi lambung dan usus buatan. Campuran pektin-alginat telah terbukti memberikan efek perlindungan yang baik sebagai matriks gel yang kuat di bawah kondisi asam (Alborzi *et al.*, 2014).