

**KADAR ANTIOKSIDAN, KAFEIN, WARNA, DAN pH EKSTRAK
AMPAS KOPI ARABIKA TERENKAPSULASI PATI UMBI
GARUT TERMODIFIKASI**

SKRIPSI

Oleh

JIDDIYA ZIDNI ROBBANI



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

KADAR ANTIOKSIDAN, KAFEIN, WARNA, DAN pH EKSTRAK
AMPAS KOPI ARABIKA TERENKAPSULASI PATI UMBI
GARUT TERMODIFIKASI

Oleh

JIDDIYA ZIDNI ROBBANI
NIM : 23020122140180

Salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknologi Pangan pada Program Studi S-1 Teknologi Pangan
Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro

PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Jiddiya Zidni Robbani
N I M : 23020122140180
Program Studi : S-1 Teknologi Pangan

dengan ini menyatakan sebagai berikut :

1. Skripsi yang berjudul: **Kadar Antioksidan, Kafein, Warna, dan pH Ekstrak Ampas Kopi Arabika Terenkapsulasi Pati Umbi Garut Termodifikasi** dan penelitian yang terkait dengan skripsi ini merupakan karya penulis sendiri.
2. Setiap ide atau kutipan dari karya orang lain berupa publikasi atau bentuk lainnya dalam skripsi ini, telah diakui sesuai dengan standar prosedur disiplin ilmu.
3. Penulis juga mengakui bahwa skripsi ini dapat dihasilkan berkat bimbingan dan dukungan penuh dari Pembimbing yaitu: **Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S,Pt., M.P., Ph.D.** dan **Lutfi Purwitasari, S.T.P., M.Sc.**

Apabila di kemudian hari dalam skripsi ini ditemukan hal-hal yang menunjukkan telah dilakukannya kecurangan akademik maka penulis bersedia gelar sarjana yang telah penulis dapatkan ditarik sesuai dengan ketentuan dari Program Studi S-1 Teknologi Pangan, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro.

Semarang, April 2026

Penulis,



(Jiddiya Zidni Robbani)

Mengetahui :

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

(Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S,Pt., M.P., Ph.D.)

(Lutfi Purwitasari, S.T.P., M.Sc.)

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : KADAR ANTIOKSIDAN, KAFEIN, WARNA,
DAN pH EKSTRAK AMPAS KOPI ARABIKA
TERENKAPSULASI PATI UMBI GARUT
TERMODIFIKASI

Nama Mahasiswa : JIDDIYA ZIDNI ROBBANI

Nomor Induk Mahasiswa : 23020122140180

Program Studi/Departemen : S1 Teknologi Pangan / Pertanian

Fakultas : PETERNAKAN DAN PERTANIAN

Telah disidangkan di hadapan Tim Penguji
dan dinyatakan lulus pada tanggal .. 8 JUN .. 2026

Pembimbing Utama

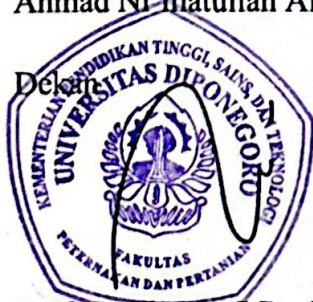


Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

Ketua Program Studi



Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.



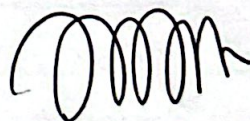
Prof. Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D.

Pembimbing Anggota



Lutfi Purwitasari, S.T.P., M.Sc.

Ketua Panitia Ujian Akhir Program



Swastika Dewi, S.T.P., M.Sc.

Ketua Departemen



Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

RINGKASAN

JIDDIYA ZIDNI ROBBANI. 23020122140180. 2026. Kadar Antioksidan, Kafein, Warna, dan pH Ekstrak Ampas Kopi Arabika Terenkapsulasi Pati Umbi Garut Termodifikasi (Pembimbing: **AHMAD NI'MATULLAH AL-BAARRI** dan **LUTFI PURWITASARI**).

Ampas kopi arabika merupakan limbah hasil pengolahan kopi yang masih mengandung senyawa bioaktif berpotensi sebagai sumber antioksidan. Namun senyawa tersebut mudah terdegradasi akibat faktor eksternal sehingga diperlukan teknik enkapsulasi untuk meningkatkan stabilitasnya. Penelitian ini menggunakan pati umbi garut termodifikasi sebagai bahan penyalut karena memiliki luas permukaan dan kemampuan interaksi yang lebih baik terhadap senyawa bioaktif dibandingkan pati alami. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik kemampuan pati umbi garut termodifikasi sebagai bahan penyalut dalam melindungi senyawa bioaktif ekstrak ampas kopi arabika dan maltodekstrin sebagai bahan penyalut kontrol. Penelitian dilaksanakan selama 5 bulan (September 2025 – Januari 2026) di Laboratorium Kimia Gizi Pangan, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian, dan Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro

Penelitian menggunakan 2 perlakuan yaitu enkapsulasi ekstrak ampas kopi arabika dengan maltodekstrin (P0), dan ekstrak ampas kopi arabika dengan pati umbi garut termodifikasi (P1), masing-masing 3 ulangan. Enkapsulasi menggunakan metode *freeze drying*. Parameter yang diamati yaitu kadar antioksidan, kafein, warna, dan pH. Data dianalisis menggunakan uji t independen pada taraf signifikansi 5%, dan dilanjutkan dengan *Principal Component Analysis* biplot dan *Spearman correlation heatmap*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter antioksidan, warna, dan pH bahan penyalut pati umbi garut termodifikasi tidak berbeda nyata dengan bahan penyalut maltodekstrin, dan parameter kafein bahan penyalut pati umbi garut termodifikasi berbeda nyata dengan bahan penyalut maltodekstrin. Disimpulkan bahwa bahan penyalut pati umbi garut termodifikasi dapat dijadikan alternatif bahan penyalut enkapsulasi ekstrak ampas kopi arabika. Terutama bagi konsumen yang sensitif terhadap kafein dan ingin mengurangi risiko.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Kadar Antioksidan, Kafein, Warna, dan pH Ekstrak Ampas Kopi Arabika Terenkapsulasi Pati Umbi Garut Termodifikasi”. Penyusunan tidak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D. dan Lutfi Purwitasari, S.T.P., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan masukan untuk penyusunan skripsi kepada penulis.
2. Mukhamad Rofiq, S.T. dan Wachyu Eko Utami, S.Si., M.Pd. selaku orang tua penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan tanpa henti dalam bentuk apapun kepada penulis.
3. Prof. Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro.
4. Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D. selaku Ketua Departemen Pertanian dan Ketua Program Studi S-1 Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro.
5. Seluruh Dosen dan Staf Administrasi Program Studi S-1 Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro yang telah membantu penulis dalam proses belajar maupun pengurusan administrasi.
6. Teman-teman mahasiswa Program Studi Teknologi Pangan Universitas Diponegoro yang turut membantu dalam bentuk apapun kepada penulis.
7. Seluruh pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung yang tidak bisa disebutkan satu per satu dalam proses penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
8. Terakhir, terima kasih untuk diri sendiri yang selalu berusaha menjadi pribadi yang lebih baik dan tidak menyerah sampai saat ini.

Penulis menyadari bahwa di dalam proses penyusunan skripsi ini memiliki kekurangan baik teknis penulisan maupun materi sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan ke depannya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak baik bagi penulis.

Semarang, 20 April 2026

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR ILUSTRASI	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Kopi Arabika	4
2.2. Ekstraksi	4
2.3. Umbi Garut	6
2.4. Modifikasi Pati Umbi Garut	7
2.5. Enkapsulasi	8
2.6. <i>Freeze Drying</i>	9
2.7. Pengujian Parameter	9
2.8. <i>Principal Component Analysis Biplot</i>	11
2.9. <i>Spearman Correlation Heatmap</i>	12
BAB III. MATERI DAN METODE	13
3.1. Materi Penelitian	13

3.2. Metode Penelitian	14
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Antioksidan Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika	26
4.2. Kafein Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	29
4.3. Warna Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	31
4.4. pH Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	34
4.5. <i>Principal Component Analysis Biplot</i>	36
4.6. <i>Spearman Correlation Heatmap</i>	38
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1. Simpulan.....	40
5.2. Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA.....	41
LAMPIRAN	50
RIWAYAT HIDUP	60

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Rancangan Percobaan Ekstrak Ampas Kopi Arabika Terenkapsulasi.....	14

DAFTAR ILUSTRASI

Nomor		Halaman
1.	Umbi Garut.....	6
2.	Diagram Alir Prosedur Penelitian Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	15
3.	Diagram Alir Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	17
4.	Diagram Alir Pati Umbi Garut Termodifikasi.....	19
5.	Diagram Alir Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	21
6.	Hasil Uji Antioksidan Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	24
7.	Hasil Uji Kafein Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	29
8.	Hasil Uji Warna Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	31
9.	Hasil Uji pH Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	34
10.	<i>Principal Component Analysis Biplot</i> Enkapsulasi.....	36
11.	<i>Spearman Correlation Heatmap</i> Enkapsulasi.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1.	Hasil Uji Antioksidan Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	50
2.	Hasil Uji Kafein Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	50
3.	Hasil Uji Warna Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika..	51
4.	Hasil Uji pH Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	51
5.	Rincian Perhitungan Antioksidan Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	52
6.	Rincian Perhitungan Kafein Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	53
7.	Output SPSS Antioksidan Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	54
8.	Output SPSS Kafein Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	55
9.	Output SPSS Warna Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	56
10.	Output SPSS pH Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	57
11.	Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	58
12.	Pati Umbi Garut Termodifikasi.....	58
13.	Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika.....	59
14.	Dokumentasi Penelitian.....	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan aktivitas pengolahan kopi akan menghasilkan limbah yang disebut ampas kopi. Ampas kopi merupakan limbah dari proses pembuatan kopi yang dihasilkan setelah serbuk biji kopi diseduh atau diolah (Leow *et al.*, 2021). Ampas kopi masih mengandung banyak komponen bernilai antara lain kafein, senyawa fenolik, lipid, serta melanoidin yang merupakan senyawa bioaktif (Campos-Vega *et al.*, 2015). Senyawa bioaktif pada ampas kopi sensitif terhadap cahaya, oksigen, dan temperatur sehingga mudah terdegradasi (Fang *et al.*, 2010). Salah satu upaya untuk menjaga stabilitas, dan melindungi senyawa bioaktif adalah teknik enkapsulasi. Enkapsulasi merupakan proses pembungkusan suatu bahan inti menggunakan bahan penyalut tertentu. Selain itu, enkapsulasi dapat meningkatkan nilai pH ekstrak ampas kopi menjadi mendekati netral, berpotensi lebih aman bagi konsumen yang sensitif keasaman. Penggunaan pati sebagai bahan penyalut diketahui mempunyai beberapa keunggulan yaitu mudah terdegradasi, terjangkau, dan mudah dimodifikasi sifat fisik dan kimianya (Miskiyah *et al.*, 2020).

Pati garut merupakan salah satu pati umbi yang memiliki kandungan amilosa yang tinggi, rendah protein, lipid, dan abu menunjukkan karakteristik serupa dengan polimer sintesis konvensional yang mampu untuk melindungi senyawa bioaktif sehingga pelepasan senyawa bioaktif terkontrol (Abdillah dan Charles,

2021). Pati umbi garut memiliki keterbatasan dalam mengikat senyawa bioaktif karena luas permukaan relatif kecil yang dapat menurunkan senyawa bioaktif yang terbalut sehingga pati umbi garut diperlukan modifikasi (Winarti *et al.*, 2015). Salah satu modifikasi pati yaitu nanopartikel. Modifikasi nanopartikel pada pati umbi garut dapat memperbaiki sifat fungsional pati, yaitu dapat memecah struktur granula pati menjadi partikel berukuran lebih kecil sehingga meningkatkan luas permukaan, viskositas menurun pada konsentrasi yang lebih meningkat, memperbaiki stabilitas, serta meningkatkan penangkapan interaksi pati dengan senyawa bioaktif (Winarti *et al.*, 2015).

Selain bahan penyalut, metode enkapsulasi juga berpengaruh terhadap stabilitas senyawa bioaktif yang dihasilkan. Teknik *freeze drying* diketahui mampu dalam mempertahankan senyawa bioaktif lebih baik dibandingkan metode *spray drying*. Penelitian oleh Ballesteros *et al.* (2017) menunjukkan bahwa enkapsulasi ekstrak ampas kopi dengan teknik *freeze drying* mampu menghasilkan senyawa bioaktif yang lebih tinggi pada enkapsulasi dibandingkan dengan teknik *spray drying* pada enkapsulasi ekstrak ampas kopi. Hasil enkapsulasi ekstrak ampas kopi arabika berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pangan fungsional karena masih memiliki kandungan senyawa bioaktif dan bentuk serbuk enkapsulasi berpotensi diaplikasikan sebagai campuran pangan fungsional. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan pati termodifikasi sebagai bahan penyalut untuk enkapsulasi senyawa bioaktif, yaitu pati talas termodifikasi ganda sebagai bahan penyalut enkapsulasi senyawa bioaktif dalam ekstrak *hibiscus sabdariffa*, dan pati termodifikasi *octenyl succinic anhydride* sebagai bahan penyalut enkapsulasi

minyak oat (Rodriguez *et al.*, 2025; Wang *et al.*, 2025). Namun belum ditemukan penelitian yang secara spesifik mengkaji penggunaan pati umbi garut termodifikasi sebagai bahan penyalut untuk enkapsulasi ekstrak ampas kopi arabika menggunakan metode *freeze drying*.

Karakterisasi hasil enkapsulasi dilakukan pengamatan beberapa parameter kimia dan fisik, yaitu antioksidan, kafein, warna, dan pH sehingga diperlukan analisis multivariat dalam bentuk *Principal Component Analysis Biplot* (PCA) dan *Spearman correlation heatmap* untuk mempermudah interpretasi hubungan antar parameter dan karakteristik sampel.

1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan pati umbi garut termodifikasi sebagai bahan penyalut ekstrak ampas kopi arabika terhadap kadar antioksidan, kafein, warna, dan pH dengan maltodekstrin sebagai bahan penyalut kontrol, dan memanfaatkan limbah ampas kopi arabika dari kedai kopi lampian Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro sebagai sumber senyawa bioaktif yang dapat digunakan kembali. Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi enkapsulasi berbasis bahan penyalut lokal yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, dan mendorong pemanfaatan limbah ampas kopi arabika sebagai bahan aktif yang bernilai tambah dalam pengembangan produk pangan fungsional.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kopi Arabika

Kopi arabika merupakan salah satu jenis kopi yang banyak dikonsumsi hampir sebagian besar penduduk di dunia, hal ini dikarenakan kopi tidak hanya memberikan aroma dan rasa yang khas tetapi juga memberikan banyak manfaat bagi kesehatan karena kopi mengandung senyawa kimia kompleks yaitu asam klorogenat dan kafein. Selain itu, kopi memiliki bahan kimia alami seperti karbohidrat, lipid, senyawa nitrogen, vitamin, mineral, alkaloid, dan senyawa fenolik. Perkembangan aktivitas pengolahan kopi akan menghasilkan limbah yang disebut ampas kopi. Ampas kopi adalah sisa atau residu dari proses pembuatan kopi yang dihasilkan setelah serbuk biji kopi diseduh atau diolah (Leow *et al.*, 2021). Ampas kopi masih mengandung banyak komponen bernilai seperti kafein, senyawa fenolik, melanoidin, dan lipid yang merupakan senyawa bioaktif (Campos-Vega *et al.*, 2015). Oleh karena itu, ampas kopi arabika memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali sebagai aplikasi di bidang pangan fungsional.

2.2. Ekstraksi

Senyawa bioaktif yang terdapat pada bahan alami, termasuk ampas kopi arabika dapat diperoleh melalui proses ekstraksi. Ekstraksi merupakan metode pemisahan senyawa bioaktif dari suatu bahan dengan pelarut tertentu berdasarkan

perbedaan kelarutan komponen sehingga dapat dimanfaatkan lebih lanjut dalam bidang kosmetik, farmasi, terutama dalam pengembangan produk pangan fungsional (Azmir *et al.*, 2013; Dai dan Mumper, 2010).

Efektivitas proses ekstraksi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jenis pelarut, konsentrasi pelarut, suhu, waktu ekstraksi, serta ukuran partikel bahan. Pemilihan pelarut menjadi faktor penting karena menentukan kemampuan pelarut dalam melarutkan senyawa bioaktif. Pelarut polar seperti etanol dan metanol umumnya digunakan untuk mengekstraksi senyawa bioaktif yang terdapat pada ampas kopi (Campos-Vega *et al.*, 2015). Peningkatan konsentrasi pelarut dapat meningkatkan kemampuan pelarut dalam melarutkan senyawa bioaktif, sehingga menghasilkan rendemen ekstrak yang lebih tinggi (Lupitasari dan Azzahra, 2025). Suhu dan waktu ekstraksi merupakan faktor dalam menentukan jumlah senyawa bioaktif yang terekstrak. Peningkatan suhu dapat mempercepat difusi pelarut ke dalam matriks bahan serta meningkatkan kelarutan senyawa bioaktif, dan waktu ekstraksi yang lebih lama dapat meningkatkan jumlah senyawa yang terekstrak. Namun, penggunaan suhu yang terlalu tinggi dan waktu ekstraksi terlalu lama dapat menurunkan kualitas senyawa bioaktif akibat terjadinya oksidasi.

Metode ekstraksi yang umum digunakan dalam pemanfaatan ampas kopi yaitu maserasi. Metode maserasi merupakan teknik sederhana yang banyak digunakan karena tidak memerlukan peralatan kompleks serta mampu mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif (Bouhzam *et al.*, 2023). Metode maserasi untuk ekstrak ampas kopi dapat menghasilkan rendemen, kadar kafein, dan total fenol tertinggi (Juliantari *et al.*, 2018).

2.3. Umbi Garut

Umbi garut (*Maranta arundinacea* L.) merupakan salah satu komoditas pangan lokal yang berpotensi dikembangkan sebagai alternatif bahan pangan pokok karena ketersediaannya yang cukup melimpah dan mudah dibudidayakan (Alifah, 2021). Umbi garut memiliki kandungan karbohidrat kompleks yang mudah dicerna serta mengandung serat pangan yang bermanfaat bagi kesehatan. Selain itu, umbi garut memiliki kadar amilosa yang cukup tinggi, yaitu sekitar 40,86% lebih tinggi dibandingkan dengan pati jagung, singkong, gandum, maupun kentang (Tarique *et al.*, 2022). Kandungan tersebut menunjukkan potensi umbi garut sebagai bahan pangan fungsional yang dapat memberikan manfaat fisiologis tambahan (Lestari *et al.*, 2017). Umbi garut dapat dilihat pada Ilustrasi 1.



Ilustrasi 1. Umbi Garut
Sumber: Malki *et al.* (2023)

Kandungan amilosa yang tinggi memiliki kemampuan pembentukan pelindung yang kuat dan stabil, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan penyalut dalam sistem enkapsulasi (Sondari *et al.*, 2020). Selain itu, struktur amilosa yang linier dapat membentuk interaksi yang lebih kuat dengan senyawa

bioaktif, sehingga meningkatkan stabilitas dan perlindungan terhadap senyawa tersebut. Namun pati umbi garut alami memiliki keterbatasan dalam aplikasinya sebagai bahan penyalut. Hal ini disebabkan struktur granula pati yang bersifat semi-kristalin, ukuran partikel yang relatif besar, serta luas permukaan yang terbatas, sehingga kemampuan dalam mengikat dan melindungi senyawa bioaktif menjadi kurang optimal (Winarti *et al.*, 2015). Oleh karena itu, pati umbi garut diperlukan proses modifikasi untuk memperbaiki sifat fisikokimia pati agar dapat digunakan dalam sistem enkapsulasi.

Maltodekstrin merupakan bahan penyalut yang umum digunakan dalam proses enkapsulasi karena memiliki kelarutan yang tinggi dan viskositas yang rendah sehingga mudah digunakan dalam proses enkapsulasi, namun kemampuan pembentukan bahan penyalut untuk perlindungan terhadap senyawa bioaktif relatif terbatas apabila digunakan sebagai bahan penyalut tunggal (Wang *et al.*, 2022). Kandungan amilosa yang tinggi pada pati garut dapat meningkatkan kekuatan bahan penyalut, stabilitas matriks, serta kemampuan melindungi senyawa bioaktif dari pengaruh lingkungan selama proses pengolahan dan penyimpanan (Jha, 2021).

2.4. Modifikasi Pati Umbi Garut

Modifikasi merupakan proses perubahan sifat fisik atau kimia untuk meningkatkan karakteristik fungsionalnya sehingga dapat digunakan berbagai aplikasi (Obadi *et al.*, 2021; Rashwan *et al.*, 2024). Metode modifikasi yaitu fisik, kimia, dan enzimatis. Salah satu metode yang umum digunakan dalam modifikasi fisik pada pati yaitu nanopartikel. Pati nanopartikel adalah teknik nanopresipitasi,

yaitu proses pembentukan partikel melalui penambahan non pelarut ke dalam larutan polimer secara bertahap sehingga terjadi presipitasi dan pembentukan partikel berukuran nano (Winarti *et al.*, 2017). Pati nanopartikel memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan pati alami, sehingga meningkatkan luas permukaan, memperbaiki stabilitas, serta meningkatkan kemampuan interaksi dengan senyawa bioaktif (Marta *et al.*, 2023).

2.5. Enkapsulasi

Enkapsulasi merupakan teknologi untuk melindungi senyawa bioaktif dari faktor eksternal merugikan yaitu paparan suhu, cahaya, oksigen, dan perubahan pH. Proses enkapsulasi senyawa bioaktif atau bahan inti dilapisi oleh bahan penyalut sehingga terbentuk partikel berukuran nano yang mampu mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif selama proses pengolahan, penyimpanan, dan mengontrol pelepasan senyawa bioaktif pada kondisi tertentu (Hao *et al.*, 2025). Keberhasilan proses enkapsulasi dipengaruhi oleh jenis bahan penyalut. Bahan penyalut yang umum digunakan yaitu polisakarida, protein, dan kombinasi keduanya. Polisakarida seperti maltodekstrin, pati, dan gum arab umum digunakan karena memiliki kelarutan yang baik, viskositas rendah, serta kemampuan membentuk matriks pelindung yang efektif (McClements, 2020; Comunian *et al.*, 2021). Selain keberhasilan enkapsulasi dari bahan penyalut, metode enkapsulasi juga menentukan karakteristik produk yang dihasilkan. Salah satu metode enkapsulasi untuk melindungi senyawa bioaktif yaitu *freeze drying*.

2.6. Freeze Drying

Freeze drying merupakan teknik pengeringan beku terdiri dari tahap pembekuan, sublimasi, desorpsi, dan penyimpanan pada suhu rendah yang dapat mempertahankan kualitas produk, warna, aroma, dan kandungan senyawa bioaktif (Espinoza *et al.*, 2019; Charles *et al.*, 2021). Menurut Ballesteros *et al.* (2017) proses enkapsulasi dengan *freeze drying* mampu menjaga kandungan fenol, flavonoid, dan aktivitas antioksidan dibandingkan dengan metode *spray drying* hal ini menunjukkan kandungan fenol, flavonoid, dan aktivitas antioksidan sensitif terhadap panas sehingga terjadi penurunan kandungan senyawa bioaktif dalam enkapsulasi.

2.7. Pengujian Parameter

2.7.1. Antioksidan

Antioksidan merupakan suatu senyawa yang dapat menangkal radikal bebas. Radikal bebas merupakan suatu molekul yang tidak berpasangan pada orbital terluarnya sehingga bersifat reaktif. Antioksidan dapat menurunkan risiko penyakit kardiovaskular, diabetes, dan gangguan neurodegeneratif (Liguori *et al.*, 2018). Banyak bahan pangan yang mengandung antioksidan alami yaitu rempah-rempah, buah, sayur, dan bumbu (Lourenco *et al.*, 2019). Dalam bahan pangan, antioksidan alami berasal dari senyawa bioaktif seperti polifenol, flavonoid, dan asam fenolat. Pada kopi, senyawa utama yang berperan sebagai antioksidan adalah asam klorogenat dan turunannya yang memiliki gugus hidroksil aktif dalam menangkap

radikal bebas (Rojas-González *et al.*, 2022; Aborziza *et al.*, 2024). Antioksidan dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain pH, suhu, proses pengolahan, serta interaksi dengan matriks pangan (Toydemir *et al.*, 2022).

2.7.2. Kafein

Kafein merupakan senyawa alkaloid alami terdapat dalam tumbuhan, salah satunya pada kopi. Kafein memiliki sifat tidak berwarna, tidak berbau, memiliki rasa pahit, dan larut dalam air panas (Riyanti *et al.*, 2020; Yuda, 2022). Secara fisiologis, kafein memiliki efek farmakologis seperti stimulasi sistem saraf pusat, peningkatan kewaspadaan, relaksasi otot polos bronkus, serta stimulasi kerja jantung. Namun dalam konteks pangan fungsional, kafein bukan merupakan kontributor utama aktivitas antioksidan, melainkan lebih berperan sebagai senyawa bioaktif dengan efek stimulan (Angeloni *et al.*, 2020).

2.7.3. Warna

Warna merupakan salah satu parameter fisik yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik produk pangan. Warna dapat memberi kesan yang kuat terhadap tingkat kesukaan dari segi visual. Perubahan warna terjadi akibat reaksi kimia, proses pengolahan, dan penyimpanan. Semakin menarik warna suatu bahan pangan maka dapat menambah minat konsumen untuk memiliki produk tersebut (Rizki Padya dan Rahmayati, 2023; Styaningrum *et al.*, 2023). Dalam proses enkapsulasi, bahan penyalut dapat mempengaruhi warna produk akhir. Perubahan nilai warna setelah terenkapsulasi dapat digunakan untuk mengevaluasi

keberhasilan bahan penyalut dalam mempertahankan karakteristik visual (Faria *et al.*, 2020).

2.7.4. pH

pH merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu sistem berdasarkan konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam larutan, dengan skala berkisar antara 0 hingga 14 (Kurniasari, 2016). Nilai pH memiliki peran penting dalam menentukan stabilitas senyawa bioaktif, reaksi kimia, serta karakteristik fisik dan kimia produk pangan. Dalam sistem pangan, pH mempengaruhi stabilitas senyawa fenolik, aktivitas enzim, serta reaksi oksidasi (Deng *et al.*, 2022). Perubahan pH dapat mempengaruhi kelarutan, difusi, dan retensi sehingga berpengaruh terhadap stabilitas dan efisiensi enkapsulasi selama proses dan penyimpanan.

2.8. *Principal Component Analysis Biplot*

Principal Component Analysis (PCA) merupakan metode statistik multivariat untuk mereduksi dimensi data dengan mentransformasikan sejumlah variabel yang saling berkorelasi menjadi beberapa komponen utama yang menjelaskan variasi terbesar dalam data. Metode ini bertujuan untuk menyederhanakan data yang kompleks sehingga pola hubungan antar variabel dapat dianalisis dengan mudah. (Jolliffe *et al.*, 2016). Komponen disusun berdasarkan besarnya kontribusi dalam menjelaskan variasi data, komponen utama (PC1) memberikan kontribusi terbesar dan komponen kedua (PC2) menjelaskan variasi yang tidak dijelaskan oleh PC1

(Rema, 2021). Biplot merupakan metode visualisasi analisis PCA menampilkan informasi objek dan variabel secara simultan dalam grafik dua dimensi pada ruang komponen utama. Hubungan antar variabel diinterpretasikan berdasarkan arah dan sudut vektor, dan pengelompokan sampel berdasarkan kedekatan titik pada grafik (Settanni, 2024).

2.9. Spearman Correlation Heatmap

Korelasi spearman merupakan metode statistik nonparametrik yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel berdasarkan peringkat (ranking) data. Korelasi spearman digunakan untuk mengukur hubungan monotonik yaitu hubungan yang menunjukkan pola kenaikan atau penurunan secara konsisten meskipun tidak harus berbentuk lurus (Schober *et al.*, 2018). Koefisien korelasi spearman memiliki rentang nilai -1 sampai 1. Nilai positif menunjukkan hubungan searah, peningkatan satu variabel diikuti peningkatan variabel lainnya. Nilai negatif menunjukkan hubungan berlawanan arah, peningkatan satu variabel diikuti penurunan variabel lainnya. Nilai semakin mendekati ± 1 hubungan antar variabel semakin kuat dan semakin mendekati 0 hubungan antar variabel semakin lemah atau tidak ada hubungan monotonik (Akoglu, 2018). Interpretasi kekuatan hubungan didasarkan pada nilai absolut koefisien korelasi dikategorikan menjadi sangat kuat ($r > 0,80$), kuat (0,60-0,79), moderat (0,40-0,59), lemah (0,20-0,39), dan sangat lemah ($< 0,20$) (Schober *et al.*, 2018).

BAB III

MATERI DAN METODE

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan September 2025 – Januari 2026 di Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian, dan Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

3.1. Materi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu ampas kopi arabika, etanol *food grade* 96%, etanol *food grade* 90%, air suling, pati umbi garut, aluminium foil, tisu, *cling wrap*, HCl 2,2 N (p.a), NaOH 1 N (p.a), n-butanol teknis, kertas saring Whatman No. 1, DPPH (p.a), metanol (p.a), kloroform teknis, CaCO₃ (p.a), plastik *polyethylene*, label, dan kafein (p.a). Alat yang digunakan *water bath*, *rotary vacuum evaporator*, gelas ukur, timbangan analitik, gelas kimia, erlenmeyer, corong gelas, sendok karet, sendok kecil *stainless steel*, *homogenizer*, vortex, *incubator shaker*, *centrifuge*, *centrifuge tube*, *hot plate*, *magnetic stirrer*, *cabinet dryer*, cawan petri, cawan porselen, pH meter, pipet tetes, ayakan mesh 60, kompor, panci, autoklaf, termometer, *freeze dryer*, tabung reaksi, spektrofotometer UV-Vis, *freezer*, pipet volume, mikropipet, dan corong pisah.

3.2. Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri dari rancangan percobaan, prosedur penelitian, pengujian parameter, dan analisis data yang diperoleh.

3.2.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan 2 perlakuan yaitu enkapsulasi ekstrak ampas kopi arabika bahan penyalut maltodekstrin (P0) dan pati umbi garut termodifikasi (P1), dan masing-masing 3 ulangan sehingga diperoleh 6 unit percobaan. Perlakuan formulasi ekstrak ampas kopi arabika terenkapsulasi bahan penyalut menggunakan maltodekstrin dan pati umbi garut termodifikasi, dengan rasio bahan penyalut terhadap ekstrak 1:5 (b/v). Desain percobaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Percobaan Ekstrak Ampas Kopi Arabika Terenkapsulasi

Perlakuan	Ulangan		
	U1	U2	U3
P0	P0U1	P0U2	P0U3
P1	P1U1	P1U2	P1U3

Keterangan:

P0 : (ekstrak ampas kopi: maltodekstrin)

P1 : (ekstrak ampas kopi: pati umbi garut termodifikasi)

Hipotesis empiris yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

H0 : tidak terdapat perbedaan pengaruh jenis bahan penyalut enkapsulasi terhadap antioksidan, kafein, warna, dan pH.

H1 : terdapat perbedaan pengaruh jenis bahan penyalut enkapsulasi terhadap antioksidan, kafein, warna, dan pH.

Secara statistik, hipotesis empiris di atas dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

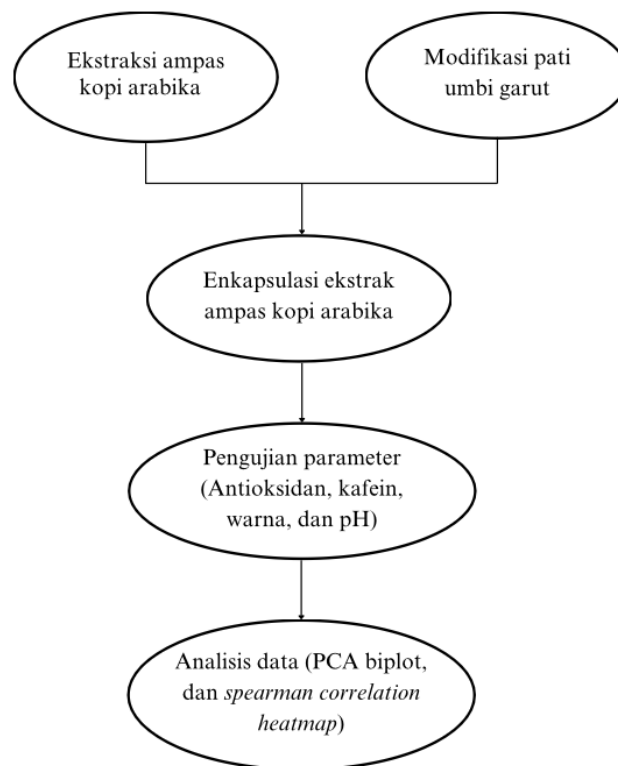
Kriteria pengujian analisis statistik yang digunakan adalah sebagai berikut:

$\text{Sig} > \alpha$, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

$\text{Sig} \leq \alpha$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

3.2.2. Prosedur Penelitian

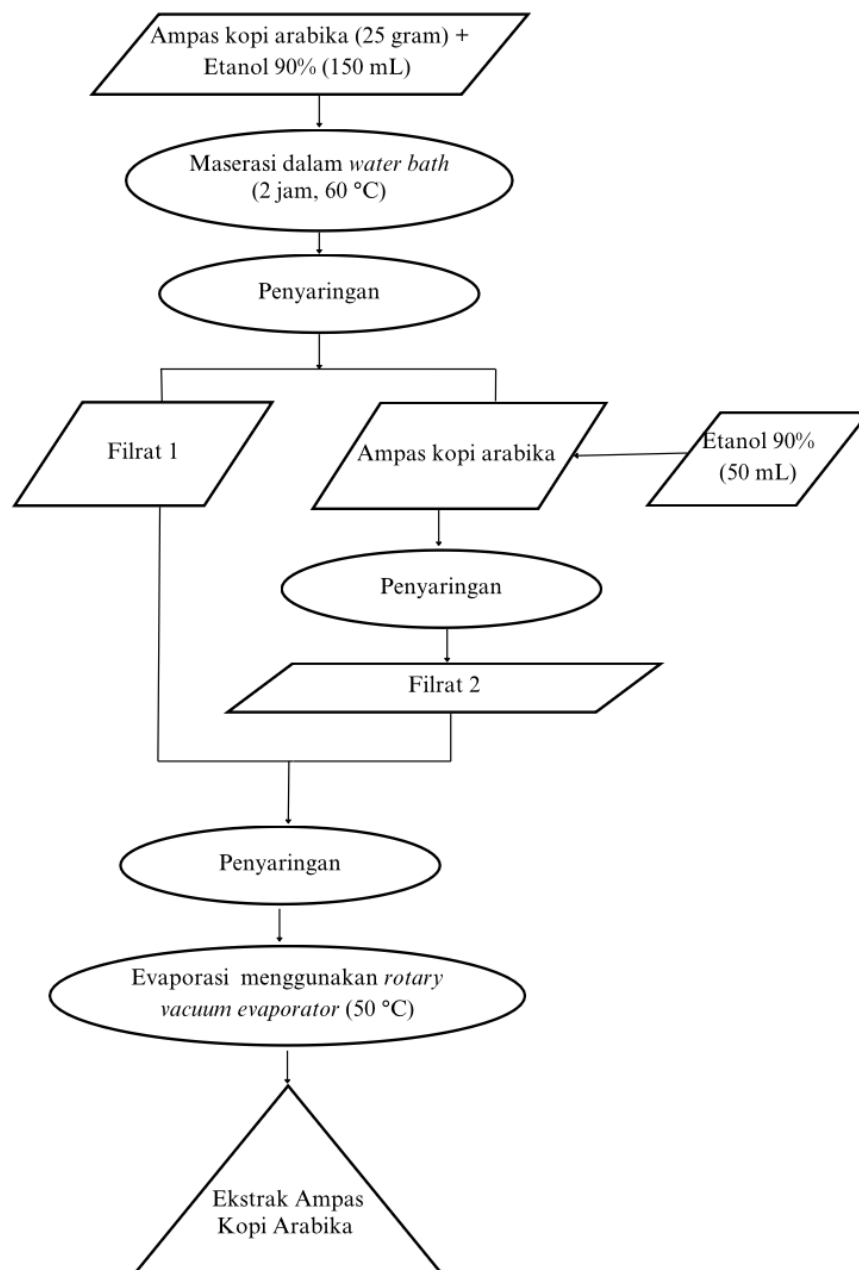
Prosedur penelitian enkapsulasi ekstrak ampas kopi arabika dapat dilihat pada Ilustrasi 2.



Ilustrasi 2. Diagram Alir Prosedur Penelitian Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika

a. Ekstrak Ampas Kopi Arabika

Pembuatan ekstrak ampas kopi mengacu pada penelitian Juliantari *et al.* (2018) ekstrak ampas kopi bubuk dilakukan dengan metode maserasi, yaitu 25 gram ampas kopi arabika ditambahkan pelarut etanol 90% 150 mL, dimaserasi selama 2 jam dalam waterbath pada suhu 60°C. Ekstrak bercampur pelarut disaring dengan kertas saring menghasilkan filtrat 1 dan ampas kopi arabika, ampas kopi arabika ditambahkan pelarut etanol 90% 50 mL kemudian disaring menghasilkan filtrat 2 (Antari *et al.*, 2015). Filtrat 1 dan 2 dicampur dan disaring dengan kertas saring Whatman No 1. Filtrat yang dihasilkan diuapkan untuk menghilangkan pelarut menggunakan *rotary vacuum evaporator* pada suhu 50°C, evaporasi dihentikan hingga dihasilkan ekstrak kental pasta. Proses ekstraksi ampas kopi arabika dapat dilihat pada Ilustrasi 3.

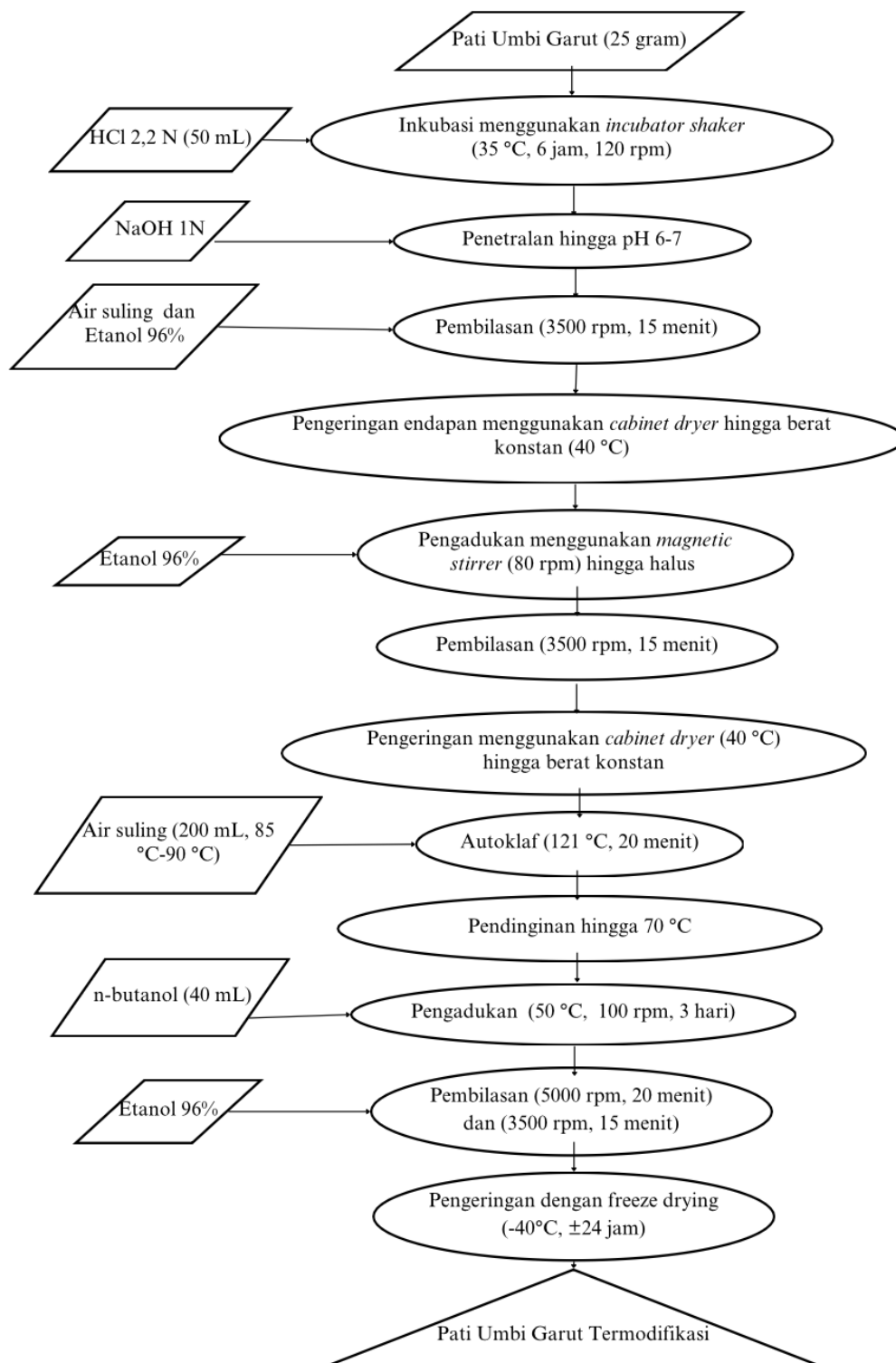


Ilustrasi 3. Diagram Alir Ekstrak Ampas Kopi Arabika

b. Pati Umbi Garut Termodifikasi

Proses modifikasi pati umbi garut mengacu pada penelitian Winarti *et al.* (2014) yang dimodifikasi yaitu 25 gram pati umbi garut dicampurkan larutan 50 mL HCl 2,2 N diinkubasi dalam *incubator shaker* suhu 35°C selama 6 jam dengan kecepatan 120 rpm. Pati dinetralkan menggunakan NaOH 1N hingga pH 6-7, kemudian larutan pati dibilas dengan air suling dan etanol 96% dengan sentrifugasi 3500 rpm selama 15 menit dan endapan pati dikeringkan dalam *cabinet dryer* suhu 40°C hingga berat pati umbi garut konstan. Pati umbi garut ditambahkan etanol 96% sedikit demi sedikit diaduk dengan *magnetic stirrer* 80 rpm sampai halus kemudian pembilasan dengan sentrifugasi 3500 rpm selama 15 menit. Endapan yang diperoleh dikeringkan dalam *cabinet dryer* suhu 40°C sampai berat pati konstan.

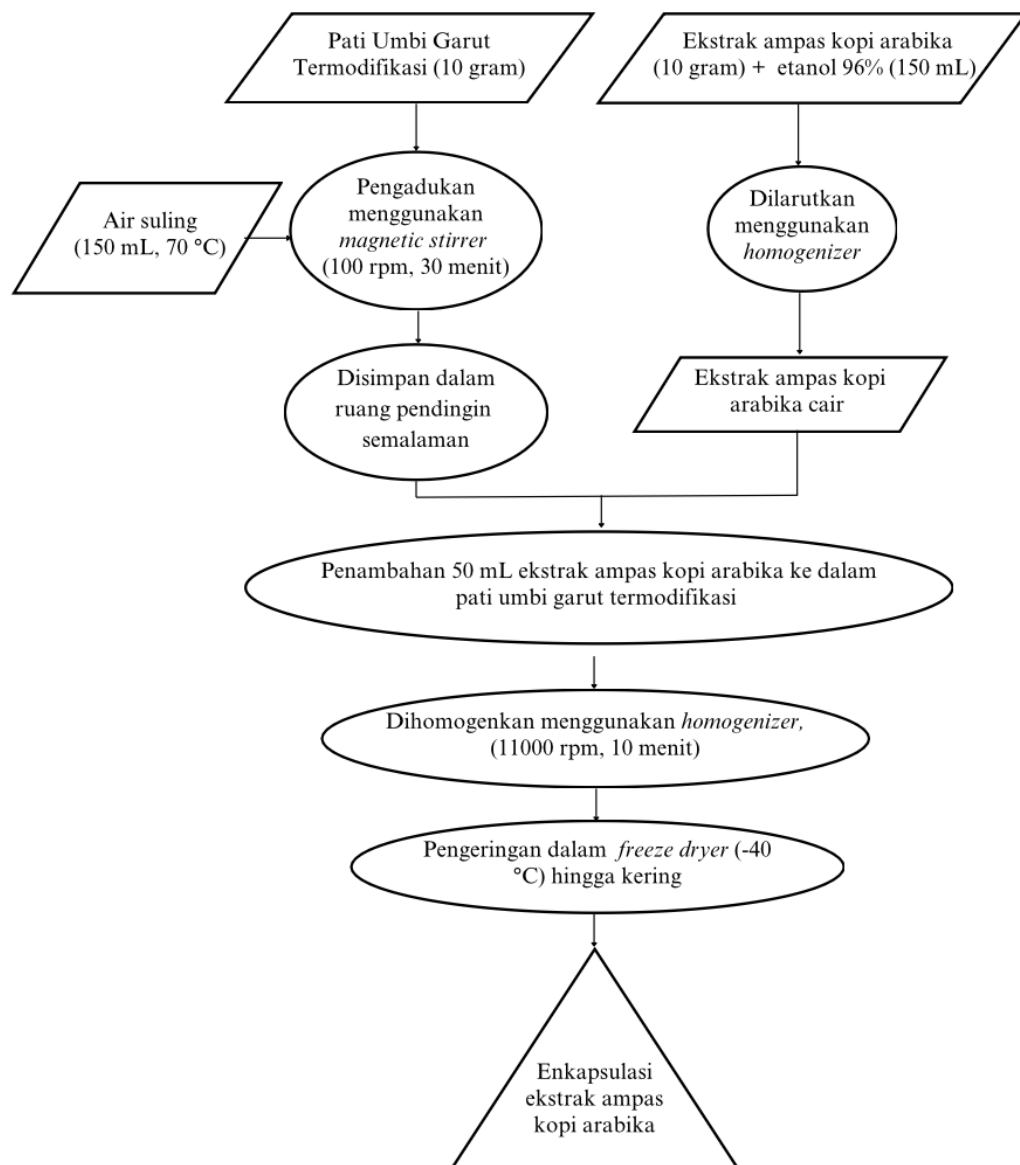
Proses modifikasi selanjutnya 10 gram pati umbi garut yang telah dikeringkan, dilarutkan dalam 200 mL air suling panas suhu sekitar 80°C – 90°C lalu diautoklafkan pada suhu 121°C selama 20 menit. Larutan didinginkan hingga 70°C dan ditambahkan 40 mL n-butanol perlahan. Larutan kemudian diaduk secara perlahan (100 rpm) pada suhu 50°C selama 3 hari, kemudian pembilasan dengan etanol 96% 5000 rpm selama 20 menit dan 3500 rpm selama 15 menit, dan dikeringkan dalam *freeze dryer*. Proses pati umbi garut termodifikasi dapat dilihat pada Ilustrasi 4.



Ilustrasi 4. Diagram Alir Pati Umbi Garut Termodifikasi

c. Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika

Pembuatan ekstrak ampas kopi arabika terenkapsulasi mengacu pada penelitian Winarti *et al.* (2014) yaitu 10 gram pati umbi garut termodifikasi dilarutkan dalam 150 mL air suling hangat (70°C), diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit, dan didiamkan untuk rehidrasi di ruang pendingin semalaman. Proses selanjutnya 10 gram ekstrak ampas kopi arabika dilarutkan dengan 150 mL etanol 96% dan didapatkan ekstrak ampas kopi arabika cair. Tahapan akhir 50 mL ekstrak ampas kopi arabika cair dan pati umbi garut yang sudah didiamkan semalaman dihomogenkan dengan *homogenizer* (11000 rpm) selama 10 menit, kemudian dimasukkan ke dalam *freeze dryer* sampai sampel membentuk tekstur bubuk. Proses enkapsulasi ekstrak ampas kopi arabika dapat dilihat pada Ilustrasi 5.



Ilustrasi 5. Diagram Alir Enkapsulasi Ekstrak Ampas Kopi Arabika

3.2.3. Pengujian Parameter

a. Antioksidan

Pengujian antioksidan dilakukan menggunakan metode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) mengacu pada penelitian Pogaga (2020) yang dimodifikasi. Sebanyak 2 mg DPPH dilarutkan dengan metanol sampai 100 mL diperoleh konsentrasi 20 ppm, kocok hingga homogen dan disimpan dalam botol yang gelap. Larutan blanko dengan 3 mL metanol, dan larutan kontrol 0,6 mL metanol dan 3 mL DPPH. Sampel 0,5 mg dilarutkan hingga 10 mL dengan metanol. Sebanyak 0,6 mL sampel dipipet, ditambah reagen DPPH 3 mL. Campuran didiamkan semalam di ruang gelap, setelah itu ukur absorbansi sampel pada panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 518 nm. Hasil absorbansi dihitung dengan perhitungan berikut:

$$\text{Antioksidan (\%)} = \frac{A_k - A_s}{A_k} \times 100\%$$

Keterangan:

A_k = absorbansi kontrol

A_s = absorbansi sampel

b. Kafein

Pengujian kafein dilakukan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis mengacu pada Nurhidayanti *et al.* (2024) yang dimodifikasi. Sebanyak 0,25 gram sampel dilarutkan dalam 37,5 mL air suling panas kemudian disaring dan diambil filtrat, hasil filtrat dimasukkan ke dalam corong pisah dan ditambahkan 0,375 gram CaCO₃ kemudian diekstraksi sebanyak 3 kali dengan penambahan kloroform

masing-masing 6,25 mL. Ekstrak kafein bebas pelarut dimasukkan ke gelas kimia, kemudian diencerkan dengan air suling sampai tanda batas 25 mL dan diaduk hingga homogen. Larutan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 273 nm. Hasil absorbansi dihitung melalui perhitungan berikut:

$$\text{Kafein (mg/g)} = \frac{C \times V \times FP}{m}$$

Keterangan:

C = konsentrasi kafein (mg/L)

V = volume akhir (L)

FP = faktor pengenceran

m = berat sampel (gram)

c. Warna

Pengujian warna sampel dengan alat CHNSpec CS-10 *Colorimeter* mengacu pada penelitian Sadih *et al.* (2022) dengan metode CIE LAB, dengan menyajikan data berupa L* (*Lightness*) merupakan nilai kecerahan warna putih antara 0 sampai +100 (Dabas *et al.*, 2024). Sampel diukur dengan *Colorimeter* terkalibrasi dan pengambilan data dilakukan 3 kali pengulangan pada setiap sampel dan dihitung.

d. pH

Analisis pH sampel mengacu pada penelitian Hasibuan (2024) yang dimodifikasi dengan melarutkan 1 gram sampel dalam 50 mL air suling. Sampel diukur dengan pH meter terkalibrasi, pengambilan data dilakukan 3 kali pengulangan pada setiap sampel, dan dihitung.

3.2.4. Analisis Data

Analisis data hasil uji antioksidan, kafein, warna, dan pH berdasarkan tiga kali ulangan pada setiap perlakuan dihitung nilai rata-rata dan standar deviasi. Data disajikan dalam bentuk diagram untuk mempermudah interpretasi. Parameter antioksidan, kafein, warna, dan pH diuji asumsi normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilk dan uji homogenitas varians menggunakan uji Levene pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Data distribusi normal dan varians homogen dianalisis menggunakan uji t dua sampel independen pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Apabila salah satu asumsi tidak terpenuhi, data dianalisis uji nonparametrik Mann-Whitney U. Apabila hasil uji menunjukkan nilai signifikansi ($p \leq 0,05$), maka dapat disimpulkan terdapat perbedaan yang nyata antara kedua perlakuan, dan nilai signifikansi ($p > 0,05$) tidak terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan. Selain itu, dilakukan analisis multivariat dan korelasi untuk memperoleh informasi lebih komprehensif mengenai hubungan antar parameter yang diamati yaitu menggunakan *Principal Component Analysis Biplot* dan *Spearman correlation heatmap*.

a. *Principal Component Analysis Biplot*

Principal Component Analysis (PCA) merupakan metode statistik multivariat untuk mengidentifikasi pola hubungan parameter, mereduksi dimensi data, dan mengidentifikasi variabel yang saling berkorelasi terhadap variasi data yang diamati (Jolliffe *et al.*, 2016). Analisis PCA menggunakan perangkat

lunak *Chemoface* yang divisualisasikan dalam bentuk PCA biplot menampilkan hubungan antara sampel dan variabel secara simultan (Nunes *et al.*, 2012).

Interpretasi PCA biplot berdasarkan posisi sampel terhadap arah vektor variabel serta persentase variasi yang dijelaskan oleh komponen utama. Sampel yang berada dekat dan searah vektor variabel menunjukkan hubungan yang kuat atau positif dan sampel yang berada berlawanan arah menunjukkan hubungan yang lemah atau negatif terhadap variabel yang dianalisis (Abdi dan Williams, 2010; Jolliffe *et al.*, 2016).

b. Spearman Correlation Heatmap

Metode korelasi spearman merupakan metode statistik nonparametrik yang digunakan untuk mengukur hubungan antara dua variabel berdasarkan peringkat (rank) tanpa memerlukan asumsi distribusi normal (Mustofani *et al.*, 2023). Analisis korelasi untuk mengetahui hubungan antar parameter antioksidan, kafein, warna, dan pH. Analisis korelasi spearman menggunakan perangkat lunak Python dengan bantuan pustaka *pandas* dan *scipy* yang divisualisasikan dalam bentuk heatmap menggunakan pustaka *seaborn* untuk mempermudah interpretasi hubungan antar variabel melalui representasi warna yang menunjukkan kekuatan dan arah korelasi (Waskom, 2021).