EVALUASI SIFAT KIMIAWI DAN REOLOGI TEPUNG KOMPOSIT BERBASIS *MODIFIED CASSAVA FLOUR* (MOCAF), *SOY PROTEIN ISOLATE* (SPI), DAN TEPUNG OKARA

SKRIPSI

Oleh

HANIN A'YUNIS SALWA

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

EVALUASI SIFAT KIMIAWI DAN REOLOGI TEPUNG KOMPOSIT BERBASIS *MODIFIED CASSAVA FLOUR* (MOCAF), *SOY PROTEIN ISOLATE* (SPI), DAN TEPUNG OKARA

Oleh

HANIN A'YUNIS SALWA
NIM : 23020122130082

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	: Hanin A'yunis Salwa
N I M	: 23020122130082
Program Studi	: S-1 Teknologi Pangan

dengan ini menyatakan sebagai berikut:

1. Skripsi yang berjudul: **Evaluasi Sifat Kimiawi dan Reologi Tepung Komposit Berbasis *Modified Cassava Flour* (Mocaf), *Soy Protein Isolate* (SPI), dan Tepung Okara** 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:
   Setya Budi Muhammad Abduh, S.Pt., M.Sc., 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, (September 2026)

Penulis,



(Hanin A'yunis Salwa)

Mengetahui:

Pembimbing Utama	Pembimbing Anggota
	
(Setya Budi M. Abduh, S.Pt., M.Sc., Ph.D.)	(Lutfi Purwitasari, S.T.P., M.Sc.)

Dipindai dengan CamScanner

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi	:	EVALUASI SIFAT KIMIAWI DAN REOLOGI TEPUNG KOMPOSIT BERBASIS *MODIFIED CASSAVA FLOUR* (MOCAF), *SOY PROTEIN ISOLATE* (SPI), DAN TEPUNG OKARA
Nama Mahasiswa	:	HANIN A'YUNIS SALWA
Nomor Induk Mahasiswa	:	23020122130082
Program Studi/Departemen	:	S-1 TEKNOLOGI PANGAN / PERTANIAN
Fakultas	:	PETERNAKAN DAN PERTANIAN

Telah disidangkan di hadapan Tim Penguji
dan dinyatakan lulus pada tanggal 30 SEP 2026

Pembimbing Utama

Setya Budi M. Abduh, S.Pt., M.Sc., Ph.D.

Pembimbing Anggota

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

Ketua Program Studi

Ahmad N. Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

Ketua Panitia Ujian Akhir Program

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

Dekan

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

Ketua Departemen

Ahmad N. Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

Dipindai dengan CamScanner

RINGKASAN

HANIN A'YUNIS SALWA. 23020122130082. 2026. Evaluasi Sifat Kimiawi dan Reologi Tepung Komposit Berbasis *Modified Cassava Flour* (Mocaf), *Soy Protein Isolate* (SPI), dan Tepung Okara (Pembimbing: **SETYA BUDI MUHAMMAD ABDUH** dan **LUTFI PURWITASARI**).

Bahan pangan lokal yang saat ini banyak dikembangkan yakni *Modified Cassava Flour* (Mocaf). Namun, Mocaf memiliki keterbatasan berupa kandungan protein yang rendah dan tidak mengandung gluten sehingga kurang optimal digunakan pada produk pangan yang memerlukan struktur adonan kuat. Oleh karena itu, dilakukan pengembangan tepung komposit berbasis Mocaf dengan penambahan antara *soy protein isolate* (SPI) atau tepung okara sebagai sumber protein nabati. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan SPI dan tepung okara terhadap sifat kimia dan reologi tepung komposit berbasis Mocaf melalui analisis kadar bahan kering, protein, lemak, abu, karbohidrat, serat pangan total, *pasting properties*, sifat reologi. Penelitian ini dilaksanakan selama 7 bulan yaitu bulan Desember 2025–Juli 2026 di Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian, serta Laboratorium Food Processing Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 3 ulangan, yaitu P1 (100% Mocaf), P2 (92% Mocaf : 8% SPI), P3 (64% Mocaf : 36% Tepung Okara), dan P4 (36% Mocaf : 64% Tepung Okara). Parameter kimia dianalisis menggunakan metode AOAC dan data dianalisis menggunakan uji ANOVA serta *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 5%. Pengujian sifat reologi dilakukan menggunakan reometer untuk mengetahui karakteristik viskoelastis, perilaku aliran, dan *pasting properties*. Data hubungan sifat kimia dan *pasting properties* dianalisis dengan korelasi Pearson, sedangkan hubungan sifat kimia dan reologi dianalisis secara deskriptif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan SPI dan tepung okara meningkatkan kadar protein, lemak, abu, dan serat pangan total, namun menurunkan kadar karbohidrat. Sampel dengan penambahan tepung okara 64% menghasilkan kadar protein tertinggi sebesar 12,35%, kadar serat pangan total 23,69%, kadar abu 2,24%, dan kadar lemak 2,33%. Penambahan SPI menghasilkan sifat viskoelastis yang lebih elastis dan menurunkan viskositas dibandingkan 100% Mocaf. Penambahan SPI dan tepung okara menurunkan *peak viscosity, trough viscosity, breakdown viscosity,* dan *final viscosity* akibat terbatasnya pembengkakan granula pati selama pemanasan, tetapi meningkatkan *setback viscosity* yang menunjukkan meningkatnya kemampuan retrogradasi selama pendinginan. Penambahan SPI maupun tepung okara juga memengaruhi sifat reologi tepung komposit. Sampel Mocaf dan Mocaf–SPI menunjukkan perilaku pseudoplastik (*shear thinning*) dengan nilai *storage modulus* (G') lebih tinggi dibandingkan *loss modulus* (G"), yang menunjukkan dominasi sifat elastis.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat, karunia, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan rangkaian proses penelitian dan penulisan skripsi berjudul "Evaluasi Sifat Kimiawi dan Reologi Tepung Komposit Berbasis *Modified Cassava Flour* (Mocaf), *Soy Protein Isolate* (SPI), dan Tepung Okara" dengan baik. Skripsi ini disusun berdasarkan serangkaian kegiatan penelitian selama 7 bulan, dari Desember 2025 hingga Juli 2026 di Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan (KGP), Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian (RPHP) Fakultas Peternakan dan Pertanian, serta Laboratorium *Food Processing*, Universitas Diponegoro, Semarang. Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat dukungan, bimbingan, saran, ilmu, serta pengalaman yang sangat berharga bagi penulis dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Semua anggota keluarga, khususnya kedua orang tua dan adik penulis, yang telah memberikan dukungan moral maupun materiel sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan skripsi dengan baik;
2. Bapak Setya Budi Muhammad Abduh, S.Pt., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama dan Ibu Lutfi Purwitasari, S.T.P., M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota atas dukungan penuh, baik secara moral maupun materiel, ilmu, saran, bimbingan, arahan, serta semangat dan motivasi yang telah diberikan sejak sebelum proses pengerjaan tugas akhir, selama penulisan skripsi, hingga penulis menuntaskan studi dengan penuh kesabaran;
3. Prof. Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro yang telah memberikan izin, arahan, kesempatan, dan ilmu yang bermanfaat selama masa studi penulis sebagai mahasiswa S1-Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro;
4. Dr. Heni Rizqiati, S.Pt., M.Si. selaku Wakil Dekan Akademik dan Kemahasiswaan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro yang telah memberikan dukungan, izin, arahan, serta ilmu dan pengalaman

yang bermanfaat selama masa studi penulis sebagai mahasiswa S-1Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro;

5. Bapak Ahmad N. Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D. selaku Kepala Departemen Pertanian, Kepala Program Studi S-1 Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro, yang telah memberikan izin, dukungan, ilmu, arahan, dan masukan kepada penulis selama menjadi mahasiswa S-1 Teknologi Pangan;
6. Ibu drh. Siti Susanti, Ph.D. dan Bapak Masagus Haidir Tamimi, S.T.P., M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran yang membangun, masukan, arahan, serta bantuan kepada penulis selama proses pelaksanaan ujian akhir program studi S-1 Teknologi Pangan hingga penulis menyelesaikan studi;
7. Ibu Swastika Dewi, S.T.P., M.Sc. selaku dosen panitia ujian akhir program studi S-1 Teknologi Pangan yang telah memberikan arahan, bimbingan, masukan, saran, dan ilmu selama keberjalanan proses pelaksanaan ujian akhir;
8. Ibu Nurul Hasniah, S.T.P., M.Sc. selaku Dosen Wali yang telah banyak memberikan saran dan semangat kepada penulis;
9. Seluruh dosen, tenaga pendidikan, dan teknisi Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro yang telah memberikan ilmu, informasi, pengalaman, fasilitas pendukung, serta motivasi kepada penulis selama studi hingga penulis menyelesaikan studi;
10. Bapak Indarto, A.Md.Pt. dan Mbak Nadya Annisa Perwitasari, S.P., selaku laboran Laboratorium Teknologi Pangan yang telah mendampingi, memberikan bantuan, arahan, ilmu, dan pengalaman selama penulis beraktivitas di laboratorium Teknologi Pangan;
11. Semua teman-teman penulis, yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah menemani, memberikan dukungan, semangat, motivasi, dan sebagai tempat bertukar cerita selama studi penulis hingga kini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan banyak kekurangan baik teknis penulisan maupun materi. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sangat diharapkan sehingga dapat menjadi perbaikan ke depannya. Penulis berharap hasil penelitian dan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi masyarakat luas, nusa, dan bangsa.

Semarang, September 2026

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR vi

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR ILUSTRASI xii

DAFTAR LAMPIRAN xiii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Tujuan dan Manfaat 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Tepung Komposit 5

2.2 *Modified Cassava Flour* (Mocaf) 6

2.3 *Soy Protein Isolate* (SPI) 9

2.4 Tepung Okara 11

2.5 Kadar Bahan Kering 12

2.6 Kadar Protein 13

2.7 Kadar Lemak 15

2.8 Kadar Abu 16

2.9 Karbohidrat 17

2.10 Kadar Total Serat Pangan 18

2.11 Sifat Pasta (*Pasting Properties*) 19

2.12 Reologi 21

BAB III MATERI DAN METODE 23
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian 23
3.2 Materi Penelitian 23
3.3 Metode Penelitian 24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 35
4.1 Sifat Kimiawi 35
4.2 Sifat Pasta (*Pasting Properties*) 51
4.3 Sifat Reologi 59
4.4 Korelasi Sifat Kimiawi dengan *Pasting Properties* 64
4.5 Hubungan Sifat Kimiawi dengan Reologi Tepung Komposit 70
BAB V SIMPULAN DAN SARAN 73
5.1 Simpulan 73
5.2 Saran 73
DAFTAR PUSTAKA 74
LAMPIRAN 91
RIWAYAT HIDUP 117

DAFTAR TABEL

Nomor Halaman

1. Syarat Mutu Mocaf 8
2. Sifat Kimiawi Tepung Komposit Berbasis Mocaf 36
3. *Pasting Properties* Tepung Berbasis Mocaf 52
4. Korelasi Sifat Kimiawi dengan *Pasting Properties* Tepung Komposit Berbasis Mocaf 65

DAFTAR ILUSTRASI

Nomor Halaman

1. Diagram Alir Penelitian 24
2. Kadar Bahan Kering Tepung Berbasis Mocaf 37
3. Kadar Protein Tepung Berbasis Mocaf 39
4. Kadar Lemak Tepung Berbasis Mocaf 41
5. Kadar Abu Tepung Berbasis Mocaf 44
6. Kadar Karbohidrat Tepung Berbasis Mocaf 47
7. Kadar Serat Pangan Total Tepung Berbasis Mocaf 49
8. *Pasting Properties* 100% Mocaf 53
9. *Pasting Properties* 92% Mocaf : 8% SPI 54
10. *Pasting Properties* 64% Mocaf : 36% Tepung Okara 56
11. *Pasting Properties* 36% Mocaf : 64% Tepung Okara 58
12. *Storage Modulus* G' (Pa) dan *Loss Modulus* G" (Pa) dengan *Angular Frequency* (rad/s) Mocaf dan Mocaf–SPI 60
13. *Loss Factor* G"/G' (Pa) dengan *Angular Frequency* (rad/s) Mocaf dan Mocaf–SPI 61
14. Viskositas (mPa·s) dengan *Shear Rate* (1/s) Mocaf dan Mocaf–SPI 63

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Halaman

1. Data Hasil Pengujian Proksimat Bahan Dasar..... 91
2. Data Hasil Pengujian Kadar Bahan Kering 92
3. Data Hasil Pengujian Kadar Protein 93
4. Data Hasil Pengujian Kadar Lemak 94
5. Data Hasil Pengujian Kadar Abu 95
6. Data Hasil Pengujian Kadar Karbohidrat 96
7. Data Hasil Pengujian Kadar Serat Pangan Total 97
8. Data *Pasting Properties* Tepung Komposit Berbasis Mocaf..... 98
9. Data Hasil Pengujian Sifat Reologi 99
10. Data Hasil Pengujian Sifat Viskositas 101
11. Perhitungan Formulasi Mocaf-SPI dengan Target Protein 7,6% 103
12. Perhitungan Formulasi Mocaf−Tepung Okara dengan Target Protein 7,6% 104
13. Perhitungan Formulasi Mocaf−Tepung Okara dengan Target Protein 13% 105
14. Hasil Pengujian Normalitas Data Proksimat dengan SPSS 26... 106
15. Hasil Pengujian Homogenitas Data Proksimat dengan SPSS 26 107
16. Hasil Pengujian ANOVA Data Proksimat dengan SPSS 26 108
17. Hasil Pengujian *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) Data Proksimat dengan SPSS 26..... 109
18. Hasil Pengujian Normalitas Data Serat Pangan Total dengan SPSS 26 111
19. Hasil Pengujian Homogenitas Data Serat Pangan Total dengan SPSS 26 112

20. Hasil Pengujian ANOVA Data Serat Pangan Total dengan SPSS 26 113

21. Hasil Pengujian *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) Data Serat Pangan Total dengan SPSS 26..... 114

22. Dokumentasi Kegiatan Penelitian..... 115

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan pangan lokal yang saat ini banyak dikembangkan yakni *modified cassava flour* (Mocaf), merupakan hasil olahan tepung berbahan dasar ubi kayu (*Manihot esculenta*) yang melalui tahap modifikasi salah satunya dengan proses fermentasi dengan bantuan bakteri asam laktat (BAL) (Maretna *et al.*, 2022). Namun, Mocaf memiliki keterbatasan yaitu kandungan protein rendah dan tidak memiliki gluten, sehingga tidak bisa menghasilkan adonan yang elastis dan kurang ideal untuk aplikasi seperti roti atau mi (Rahman *et al.,* 2021). Salah satu pendekatan untuk mengatasi keterbatasan tersebut yaitu dengan pembuatan tepung komposit. Tepung komposit merupakan tepung yang dihasilkan dengan cara mencampur 2 atau lebih tepung dengan jenis yang berbeda sehingga dihasilkan tepung yang memiliki sifat fungsionalitas yang lebih baik (Olamiti *and* Ramashia, 2024).

Pengembangan tepung komposit berbasis Mocaf dengan penambahan sumber protein telah dilakukan menggunakan berbagai bahan. Penelitian oleh Abduh *et al.* (2025) melaporkan bahwa penambahan *egg white powder* (EWP) mampu meningkatkan kadar protein dan ekspansi volume adonan hingga 33,40%. Namun, penggunaan EWP memiliki keterbatasan yaitu menimbulkan bau amis dan menghasilkan tekstur *sponge-like* yang kurang disukai (Piluk *et al.*, 2025). Penelitian lain oleh Ratnawati *et al.* (2019) menunjukkan bahwa penambahan

tepung kacang-kacangan pada Mocaf mampu meningkatkan kadar protein, aktivitas emulsi, stabilitas *foam*, suhu gelatinisasi, serta menurunkan kadar pati, *swelling power*, serta profil viskositas akibat terbentuknya kompleks pati–protein yang memengaruhi sifat reologi. Namun, penggunaan tepung kacang-kacangan menimbulkan *beany flavor* akibat aktivitas enzim lipoksigenase (Ayuningtyas *and* Sofyan, 2025). Hal tersebut menunjukkan bahwa pemilihan sumber protein dalam pengembangan tepung komposit tidak hanya mempertimbangkan peningkatan kadar protein, tetapi juga pengaruhnya terhadap karakteristik fisik dan penerimaan produk.

Beberapa bahan yang dapat dikembangkan yakni *soy protein isolate* (SPI) dan tepung okara. *Soy protein isolate* (SPI) merupakan produk dari protein kedelai yang bebas lemak atau rendah lemak yang melalui tahap pengolahan sedemikian rupa sehingga memiliki kandungan proteinnya tinggi (Rahman *et al.*, 2024). Berdasarkan penelitian Lee *et al.* (2023), penambahan SPI pada adonan kue *gluten free* mampu meningkatkan kandungan protein, viskositas adonan, serta aerasi dan volume produk. Penelitian lain oleh Chakraborty *et al.* (2024) menunjukkan peningkatan kadar SPI pada pati kentang secara signifikan menurunkan nilai viskositas *gel strength, peak, final, breakdown*, dan *setback*, serta menurunkan *storage modulus* (G’)*, loss modulus* (G”). Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaruh SPI terhadap sifat reologi dapat dipengaruhi oleh karakteristik matriks pangan sehingga perlu dikaji pada sistem berbasis Mocaf.

Sebagai tambahan, tepung okara juga dapat menjadi alternatif lain sebagai bahan sumber protein. Okara merupakan hasil samping dari proses pembuatan susu

kedelai dan tahu berbentuk padat yang belum banyak dimanfaatkan oleh masyarakat (Rasmiyana *et al.*, 2026). Tepung okara memiliki kandungan protein 17,72% dan kandungan serat pangan yang tinggi sehingga berpengaruh terhadap kemampuan mengikat air yang tinggi serta tekstur produk yang dihasilkan *(Park et al.,* 2015; Ariawan *et al.,* 2024). Selain komposisi kimianya, karakteristik okara juga dipengaruhi oleh proses pengolahan. Salah satu proses yang berperan dalam karakteristik okara adalah pemanasan selama pengolahan susu kedelai atau tahu, yang dilaporkan dapat menurunkan kandungan dan aktivitas enzim lipoksigenase pada okara (Stanojevic *et al.,* 2014). Penurunan aktivitas lipoksigenase tersebut berpotensi mengurangi pembentukan senyawa volatil yang berkontribusi terhadap *beany flavor*. Selain karakteristik tersebut, penambahan tepung okara juga dapat memengaruhi sifat reologi tepung komposit. Penelitian oleh Adebowale *et al.* (2025) dan Adeyanju *et al.* (2025) menunjukkan penambahan tepung okara pada tepung komposit gandum utuh dan sorghum mampu menurunkan *peak viscosity*, *final viscosity*, *setback*, *storage modulus* (G'), *loss modulus* (G"), namun meningkatkan suhu *pasting* dan waktu puncak (*peak time*).

Perbedaan komposisi antara SPI dan tepung okara berpotensi menghasilkan mekanisme interaksi yang berbeda dengan komponen pati Mocaf. Perubahan komposisi makromolekul tersebut selanjutnya dapat memengaruhi karakteristik pasta, viskositas, dan viskoelastik tepung komposit. Meskipun demikian, penelitian mengenai tepung komposit Mocaf−SPI dan Mocaf−tepung okara masih sangat terbatas, terutama yang mengkaji keterkaitan karakteristik kimia dengan sifat reologi. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi lebih lanjut mengenai karakteristik

kimia (kadar bahan kering, protein, abu, lemak, karbohidrat, dan total serat pangan), dan sifat reologi.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penambahan *soy protein isolate* (SPI) dan tepung okara terhadap komposisi kimia (kadar bahan kering, protein, abu, lemak, karbohidrat, dan total serat pangan) dan sifat reologi tepung komposit berbasis Mocaf. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi mengenai komposisi kimia dan sifat reologi tepung komposit Mocaf–SPI dan Mocaf–tepung okara sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan formulasi produk pangan berbasis tepung lokal dengan karakteristik fungsional yang optimal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tepung Komposit

Tepung merupakan salah satu produk hasil pengolahan bahan pangan melalui pengeringan, penggilingan, dan penepungan (Sumarlan *and* Ariyanti, 2017). Proses pengeringan bertujuan mengurangi kadar air sampai batas tertentu sehingga dapat memperpanjang umur simpan bahan (Ifmalinda *et al.*, 2023). Adapun penggilingan dan penepungan bertujuan untuk memperkecil ukuran partikel yang mudah diolah dan diaplikasikan dalam berbagai produk pangan. Pemilihan bahan dan proses penepungan akan menentukan ukuran partikel dan komposisi kimia akhir tepung. Karakteristik tersebut sangat memengaruhi sifat fungsional tepung, seperti daya serap air, kemampuan pembentukan gel, serta sifat reologi adonan.

Tepung dapat diproduksi dengan berbagai bahan pangan, mulai dari serealia hingga umbi-umbian. Di antara berbagai jenis tepung tersebut, tepung yang paling banyak digunakan dalam industri pangan yaitu tepung terigu (Haerullah Husain *et al.*, 2025). Dominasi tepung terigu ini disebabkan karena adanya kandungan protein yang disebut gluten, yang mampu membentuk jaringan viskoelastis, sehingga menghasilkan struktur produk yang kokoh, kohesif, dan memiliki daya kembang yang optimal melalui retensi gas (Ye *et al.*, 2023). Namun demikian, tingginya ketergantungan dan meningkatnya kebutuhan produk bebas gluten, mendorong adanya tepung non-gluten untuk menjadi alternatif pengganti. Salah satu tepung dengan bahan lokal yang banyak dikembangkan yaitu *modified cassava flour*

(Mocaf). Namun, Mocaf memiliki kandungan protein yang rendah, sehingga pemanfaatannya masih terbatas utamanya pada produk yang memiliki struktur yang kuat (Rahman *et al.*, 2021). Pendekatan yang dapat dilakukan yaitu dengan pembuatan tepung komposit.

Tepung komposit merupakan tepung yang terdiri dari campuran beberapa jenis tepung baik dengan terigu maupun tanpa terigu (Putri, 2023). Campuran tersebut dapat berasal dari serealia, kacang-kacangan, umbi-umbian, dan bahan nabati lain. Metode pembuatan tepung komposit yaitu dengan pengadukan (*mixing*) beberapa tepung dengan rasio tertentu (Prasetyo, 2019). Tujuan pembuatan tepung komposit yaitu untuk meningkatkan nilai gizi sekaligus memperbaiki sifat fungsional dari tepung dasar, sehingga menghasilkan bahan pangan yang lebih berkualitas dan sesuai untuk berbagai aplikasi produk (Marta *et al.*, 2023). Komposisi bahan dalam tepung komposit akan menentukan karakteristik kimia tepung yang dihasilkan, seperti kandungan protein, serat, lemak, dan pati, yang selanjutnya berpengaruh terhadap sifat fungsional tepung. Perbedaan komponen dan rasio penyusun juga dapat memengaruhi sifat reologi, diantaranya viskositas, dan kemampuan pembentukan struktur adonan.

2.2 *Modified Cassava Flour* (Mocaf)

Modified cassava flour (Mocaf) adalah jenis tepung yang berasal dari singkong (*Manihot esculenta*) yang telah melalui tahapan modifikasi baik secara fisika, kimia maupun biologi. Pada umumnya, Mocaf yang banyak ditemui di Indonesia yaitu tepung yang diproses dari singkong melalui tahapan fermentasi.

Proses fermentasi ini secara spesifik memanfaatkan starter bakteri asam laktat untuk menghasilkan tepung modifikasi (Sanda *et al.*, 2023). Proses fermentasi Mocaf melibatkan bakteri asam laktat (BAL), seperti *Lactobacillus plantarum, Lactobacillus fermentum, Lactobacillus paracasei,* dan bakteri asam laktat lainnya (Seveline *et al.,* 2020). Aktivitas metabolisme bakteri asam laktat (BAL) selama proses fermentasi Mocaf memainkan peran yang sangat penting. Selama proses fermentasi, BAL akan menghasilkan enzim berfungsi memecah dinding sel singkong dan menghidrolisis pati menjadi gula sederhana, yang kemudian diubah menjadi asam-asam organik. Enzim tersebut juga berperan dalam degradasi asam sianida sehingga kadarnya mengalami penurunan (Hermanto *and* Fitriani, 2018).

Proses pembuatan Mocaf diawali dengan beberapa tahap yaitu sortasi singkong, pengupasan kulit, dan pencucian untuk menghilangkan kotoran (Riswanto *et al.*, 2019). Selanjutnya singkong dipotong-potong untuk memperluas permukaan dan mempermudah tahapan berikutnya. Singkong yang telah dipotong-potong kemudian difermentasi menggunakan bakteri asam laktat. Penggunaan mikroorganisme tersebut bertujuan untuk memperbaiki sifat fisikokimia, mengurangi senyawa toksin seperti sianida, dan menghasilkan aroma yang lebih netral. Setelah melalui tahap fermentasi, singkong kemudian dikeringkan untuk mengurangi kadar air, kemudian digiling dan diayak untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam dan terbebas dari kontaminan (Sahda *and* Sri Hartuti, 2025). Berikut syarat mutu Mocaf berdasarkan SNI 7622 : 2011 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Syarat Mutu Mocaf

Kriteria Uji	Satuan	Jumlah
Bentuk	-	Serbuk halus
Bau	-	Normal
Warna	-	Putih
Benda asing	-	Tidak ada
Serangga dalam semua bentuk stadia dan potongan-potongan yang tampak	-	Tidak ada
Lolos ayakan 100 mesh (b/b)	%	Min. 90
Lolos ayakan 80 mesh (b/b)	%	100
Kadar air (b/b)	%	Maks. 13
Abu (b/b)	%	Maks. 1,5
Serat kasar (b/b)	%	Maks 2,0
Derajat putih (Mg) = 100)	-	Min. 87
Belerang dioksida (SO_2)	µg/g	Negatif
Derajat asam	mL NaOH 1N/100 g	Maks. 4,0
HCN	mg/kg	Maks. 10
Cadmium (Cd)	mg/kg	Maks. 0,2
Timbal (Pb)	mg/kg	Maks. 0,3
Timah (Sn)	mg/kg	Maks. 40,0
Merkuri (Hg)	mg/kg	Maks. 0,05
Cemaran arsen (As)	mg/kg	Maks. 0,5
Angka lempeng total (35°C, 48 jam)	Koloni/g	Maks. 1×10^6
Escherichia coli	APM/g	Maks. 10
Bacillus cereus	Koloni/g	$<1 \times 10^4$
Kapang	Koloni/g	Maks. 1×10^4

Sumber: Badan Standardisasi Nasional.

Kandungan Mocaf setiap 100 g terdiri atas 11,9 g air, 1,3 g abu, 1,2 g protein, 0,6 g lemak, 85,0 g karbohidrat, 0,4 g serat (Artina *et al.*, 2023). Kelebihan Mocaf dibandingkan tepung terigu yaitu bebas gluten serta rendah kalori, lemak, dan gula. Selain itu, produk yang dihasilkan dari Mocaf memiliki tekstur kenyal, tinggi serat (Zaki *et al.*, 2024). Oleh karena tidak mengandung gluten, adonan yang dihasilkan

kurang elastis dan mengembang (Rahman *et al.*, 2021). Oleh karena itu diperlukan penambahan bahan pangan lain untuk memperbaiki sifat fungsional.

Selain komposisi proksimat, karakteristik fungsional Mocaf sangat dipengaruhi oleh profil pati. Pati merupakan komponen karbohidrat utama pada Mocaf yang sangat menentukan tekstur produk akhir. Pati Mocaf tersusun atas 19–24% amilosa dan 76–81% amilopektin (Widowati *et al.,* 2025; Novelina *et al.,* 2023; Prihayati *and* Purwani, 2024). Proporsi amilosa dan amilopektin tersebut akan memengaruhi sifat fungsional dan karakteristik *pasting* pati, terutama kemampuan pengembangan granula, pembentukan viskositas, serta kecenderungan retrogradasi selama proses pendinginan. Pati dengan kadar amilosa yang tinggi memiliki banyak gugus hidroksil sehingga lebih mudah larut dalam air, namun lebih sulit membentuk gel dan tidak mudah mengental. Selain itu, pati dengan amilosa tinggi cenderung kurang lengket dan lebih kering saat diolah. Sebaliknya, pati dengan kadar amilosa rendah akan menghasilkan tekstur yang lebih lengket dan basah, serta memiliki kemampuan pembengkakan granula (*swelling*) yang lebih baik (Widowati *et al.*, 2025).

2.3 *Soy Protein Isolate* (SPI)

Soy protein isolate (SPI) merupakan hasil ekstraksi dari kacang kedelai dengan menghilangkan kandungan lemak dan karbohidrat, sehingga memiliki kandungan protein yang relatif tinggi. Kandungan protein pada SPI umumnya mencapai 90%, yang lebih tinggi dibandingkan *soy protein concentrate* (SPC) maupun tepung kedelai biasa (Jayantini *et al.*, 2024). Proses pembuatan SPI terdiri

atas beberapa tahapan yaitu tahapan *dehulling* untuk menghilangkan kulit biji, lalu dilanjutkan dengan *defatting* menggunakan pelarut, ekstraksi protein pada kondisi alkali (pH 8−9). Ekstrak yang dihasilkan kemudian disentrifugasi untuk menghasilkan ekstrak protein kedelai yang mengandung protein terlarut, oligosakarida, dan mineral. Selanjutnya ekstrak diasamkan hingga mencapai titik isoelektrik (pH 4,5) untuk menghasilkan endapan protein. Endapan selanjutnya dicuci untuk menghilangkan komponen non protein, lalu dinetralkan kembali dan dikeringkan (Astawan *and* Prayudani, 2020).

Protein utama penyusun SPI adalah globulin, yang didominasi oleh dua fraksi utama yaitu fraksi 7S (β-conglycinin) dan 11S (glycinin) hingga mencapai 70% dari total protein (Zhou *et al.*, 2026). Fraksi 11S merupakan kompleks protein yang tersusun atas rantai polipeptida asam dan basa yang dihubungkan melalui ikatan disulfida. Rasio antara fraksi 7S dan 11S akan memengaruhi sifat fisikokimia, titik isoelektrik, serta stabilitas termal (Ma *et al.*, 2025). Penambahan SPI mampu meningkatkan jumlah ikatan silang antar protein sehingga membentuk tekstur yang lebih kompak, sekaligus memberikan kemampuan untuk membentuk dan menstabilkan emulsi serta menyerap air dan mengikat lemak karena keberadaan gugus hidrofilik dan hidrofobiknya (Wijayanti *et al.*, 2022). Nilai *storage modulus* (G') SPI lebih besar dibandingkan *loss modulus* (G") yang menunjukkan bahwa viskoelastis matriks SPI lebih dominan *elastic solid*.

Penambahan SPI pada tepung komposit berbasis Mocaf dapat memengaruhi karakteristik viskositas dan reologi melalui interaksi protein–pati serta kompetisi dalam mengikat air. Pada sistem pati–protein, peningkatan suhu dapat

menyebabkan denaturasi protein globular yang diikuti oleh *unfolding* dan agregasi melalui interaksi hidrofobik, elektrostatik, ikatan hidrogen, maupun ikatan disulfida (Jarpa-Parra *et al.*, 2014). Agregasi dan pembentukan gel protein dapat membentuk jaringan protein yang mengikat air dan mengubah distribusi serta mobilitas air dalam sistem (Teobaldi *et al.*, 2025). Kondisi tersebut dapat mengurangi ketersediaan air bagi granula pati untuk mengalami hidrasi dan pengembangan, sehingga memengaruhi karakteristik *pasting* dan viskositas sistem. Pembentukan gel protein juga dapat memengaruhi stabilitas matriks melalui perubahan distribusi air dan interaksi antar komponen.

2.4 Tepung Okara

Okara merupakan produk hasil samping berbentuk padat yang berasal dari pengolahan susu kedelai atau tahu yang masih memiliki berbagai kandungan gizi (Tridtitanakiat *et al.*, 2023). Tepung okara dibuat dengan tahapan pengeringan dengan suhu dan durasi tertentu untuk mengurangi kadar air okara (Guimarães *et al.*, 2020). Selanjutnya, okara yang sudah dikeringkan kemudian dihaluskan dan diayak untuk menghasilkan partikel tepung yang seragam.

Tepung okara memiliki potensi sebagai bahan baku alternatif dalam formulasi produk pangan. Hal ini karena dalam 100 g tepung okara mengandung karbohidrat 66,24%, protein 17,72%, serat kasar 3,23% dan lemak 2,62% (Fransiska dan Deglas, 2017). Kandungan protein yang cukup tinggi menjadikan tepung okara berpotensi sebagai sumber protein nabati tambahan, sementara kandungan serat dapat meningkatkan nilai fungsional produk (Sa'diah *et al.*, 2025). Selain protein,

tepung okara kaya akan serat pangan total yang mencapai 53–58% (Rasul *et al.*, 2025). Serat pangan okara didominasi oleh fraksi serat pangan tidak larut (*insoluble dietary fiber*/IDF) yang menyusun sekitar 44% dari total serat (Li *et al.*, 2012). Penelitian lain melaporkan bahwa fraksi IDF pada okara terdiri atas 12% hemiselulosa, 11,5% lignin, 5,5% selulosa, serta 0,2% asam fitat (Kamble *and* Rani, 2020). Keberadaan struktur serat tidak larut ini akan memberikan pengaruh terhadap kapasitas penyerapan dan pengikatan air (*water holding capacity*).

Penambahan tepung okara yang memiliki kandungan protein dan serat yang tinggi ke dalam tepung komposit dapat memengaruhi karakteristik fisik dan sifat reologi sistem adonan. Keberadaan protein pada tepung okara dapat memengaruhi interaksi antar komponen dalam komposit Mocaf–tepung okara. Protein dapat berinteraksi dengan pati melalui ikatan hidrogen (Tang *et al.*, 2024). Adapun serat pangan dapat memiliki kemampuan mengikat air yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan kapasitas penyerapan air dan menyebabkan perubahan viskositas serta konsistensi adonan (Zhou *et al.*, 2025). Hal ini berdampak pada parameter reologi seperti perubahan sifat viskoelastis (G’ dan G”) dan *pasting properties*. Dengan demikian, penambahan tepung okara dalam tepung komposit tidak hanya meningkatkan nilai gizi, tetapi juga memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat reologi dan karakteristik pengolahan produk pangan yang dihasilkan.

2.5 Kadar Bahan Kering

Kadar bahan kering merupakan parameter penting dalam karakterisasi bahan pangan yang menunjukkan jumlah total padatan selain air dalam suatu bahan (de

Evan *et al.*, 2025). Nilai kadar bahan kering mencerminkan kandungan gizi dan komponen kimia seperti karbohidrat, protein, serat, lemak, dan mineral yang tetap berada dalam bahan setelah proses pengeringan (Ibrahim *et al.*, 2021). Kadar bahan kering dapat dihitung melalui dua pendekatan, yaitu 100% dikurangi kadar air, atau perbandingan langsung antara berat kering dan berat awal sampel setelah proses pengeringan pada suhu konstan hingga beratnya stabil. Semakin tinggi kadar bahan kering, semakin besar jumlah komponen padatan yang dimiliki bahan tersebut.

Kadar bahan kering pada bahan berbasis tepung seperti Mocaf, SPI, tepung okara, maupun tepung komposit, menentukan stabilitas penyimpanan, kemampuan penyerapan air, serta konsentrasi komponen fungsional dalam formulasi (Guimarães *et al.*, 2020) . Bahan dengan kadar bahan kering yang tinggi umumnya lebih stabil terhadap pertumbuhan mikroba karena kadar airnya rendah, sedangkan peningkatan kadar bahan kering akibat penambahan bahan protein atau serat dapat memengaruhi sifat fungsional seperti viskositas, daya ikat air, dan tekstur adonan (Marinopoulou *et al.*, 2024). Dengan demikian, perbedaan kadar bahan kering antar perlakuan tepung komposit tidak hanya menunjukkan perbedaan jumlah padatan, tetapi juga mencerminkan perubahan proporsi makromolekul yang dapat berinteraksi dengan air dan berkontribusi terhadap sifat reologi bahan.

2.6 Kadar Protein

Protein merupakan komponen gizi esensial dalam bahan pangan yang berperan penting dalam pembentukan struktur, tekstur, dan nilai gizi produk (Yousefi *and* Abbasi, 2022). Penambahan bahan berprotein tinggi, seperti SPI dan

tepung okara, dapat meningkatkan kadar protein pada tepung komposit sekaligus mengubah proporsi komponen makromolekul yang berinteraksi selama proses pengolahan. Keberadaan protein pada tepung komposit berperan dalam pembentukan jaringan yang menentukan viskoelastis, kekuatan, dan stabilitas adonan (Arifin *et al.*, 2023). Jaringan protein berkontribusi dalam memberikan sifat elastis dan kohesif melalui pembentukan ikatan disulfida dan interaksi non-kovalen antar molekul protein (Prieto-Vázquez del Mercado *et al.*, 2022). Protein memiliki gugus fungsional yang mampu berinteraksi dengan molekul air dan komponen pati melalui ikatan hidrogen maupun interaksi hidrofobik. Interaksi tersebut dapat memengaruhi distribusi air dalam sistem sehingga berpengaruh terhadap hidrasi dan pembentukan struktur selama pemanasan dan pendinginan (J. Zhang *et al.*, 2025). Akibatnya, peningkatan kadar protein dapat memodifikasi *pasting properties*, seperti *peak viscosity, breakdown viscosity, final viscosity*, dan *setback viscosity*, serta memengaruhi sifat viskoelastik sistem.

Selain itu, protein berperan dalam reaksi pencoklatan non-enzimatis (reaksi *Maillard*) yang memengaruhi warna dan aroma produk selama proses pemanggangan (Miranti, 2020). Reaksi ini terjadi antara gugus amino dari protein dengan gugus karbonil dari gula pereduksi selama pemanasan, menghasilkan senyawa berwarna coklat serta komponen volatil yang berkontribusi terhadap aroma dan cita rasa khas produk pangan (Zhang *et al.,* 2025).

2.7 Kadar Lemak

Kadar lemak merupakan salah satu parameter penting dalam karakteristik kimia tepung komposit karena memengaruhi stabilitas gizi, sifat fungsional, serta tekstur adonan yang terbentuk. Interaksi lipid dengan pati dapat berlangsung melalui pembentukan kompleks pati–lipid, terutama dengan fraksi amilosa, selama proses pemanasan. Pembentukan kompleks tersebut dapat memengaruhi mobilitas rantai amilosa, pengembangan granula, gelatinisasi, retrogradasi, serta karakteristik viskositas pasta yang dihasilkan (Chen *and* Chen, 2025). Selain itu, lipid juga dapat berinteraksi dengan protein melalui interaksi hidrofobik maupun interaksi antarmolekul lainnya sehingga keberadaan lipid dalam sistem tepung dapat memodifikasi struktur dan sifat reologi matriks pangan (Collar *and* Conte, 2017; Coţovanu *et al.,* 2021).

Mocaf umumnya memiliki kadar lemak yang relatif rendah karena komponen utamanya didominasi oleh pati, sedangkan tepung okara umumnya mengandung lemak lebih tinggi (6,22–21,98%) karena berasal dari ampas kedelai yang masih menyisakan lipid (Iorver *et al.*, 2026). Sementara itu, *soy protein isolate* (SPI) memiliki kadar lemak yang sangat rendah yakni sebesar 0,5–1%, hal ini karena proses ekstraksi yang menghilangkan sebagian besar lipid, sehingga kontribusi lemak terhadap tepung komposit lebih kecil dibanding okara (Rahman *et al.*, 2024). Penentuan kadar lemak pada tepung komposit penting dilakukan untuk menilai kestabilan penyimpanan, potensi oksidasi lemak, serta membentuk struktur adonan pada formulasi yang dituju. Perbedaan kandungan lemak antara SPI dan okara ini

berpotensi memberikan kontribusi terhadap perbedaan karakteristik reologi dan *pasting properties* tepung komposit.

2.8 Kadar Abu

Kadar abu merupakan komponen anorganik atau mineral yang terdapat dalam suatu bahan pangan, yang tersisa sebagai residu setelah proses pembakaran atau oksidasi menyeluruh terhadap bagian organik bahan (Kristiandi *et al.*, 2021). Pada penelitian berbasis Mocaf, SPI, dan okara, kadar abu memberikan informasi mengenai kontribusi mineral dari masing-masing bahan. Mocaf umumnya memiliki kadar abu rendah karena berasal dari singkong yang rendah mineral, sedangkan tepung okara cenderung memiliki kadar abu lebih tinggi karena masih mengandung fraksi mineral dari kedelai (Mukhammad *et al.*, 2024). Sementara itu, SPI memiliki kadar abu relatif rendah akibat proses isolasi protein yang menghilangkan sebagian besar komponen non protein, termasuk mineral.

Variasi kadar abu pada tepung komposit tidak hanya memengaruhi kadar karbohidrat, protein, dan lemak, tetapi juga sangat memengaruhi sifat fungsional adonan (Ishartani *et al.,* 2019; Codină *et al.,* 2019). Mineral dalam bahan pangan diketahui dapat berinteraksi dengan protein dan pati, sehingga memengaruhi daya serap air, stabilitas termal, serta karakteristik reologi adonan. Kandungan abu yang lebih tinggi umumnya meningkatkan kemampuan hidrasi karena adanya ion mineral yang bersifat higroskopis, namun dalam jumlah tertentu juga dapat memengaruhi kestabilan struktur selama pemanasan. Pengukuran kadar abu

diperlukan untuk memahami kontribusi total mineral terhadap karakteristik kimia dan performa fungsional tepung komposit.

2.9 Karbohidrat

Karbohidrat merupakan komponen utama penyusun bahan pangan utamanya yang berperan penting sebagai sumber energi dan penentu karakteristik fungsional, khususnya pada bahan berbasis tepung. Pada bahan serealia dan umbi-umbian, karbohidrat didominasi oleh pati yang tersusun atas dua fraksi utama, yaitu amilosa dan amilopektin (Bajaj *et al.*, 2018). Perbandingan kedua fraksi ini sangat menentukan sifat fisikokimia pati, termasuk suhu gelatinisasi, viskositas, kemampuan menyerap air, serta pembentukan gel (Rashwan *et al.*, 2024). Amilosa berkontribusi terhadap pembentukan tekstur yang lebih padat melalui mekanisme retrogradasi, sedangkan amilopektin berperan dalam meningkatkan viskositas dan kestabilan pasta.

Pada tepung komposit seperti Mocaf, kandungan karbohidrat menentukan perilaku reologi, yang menggambarkan kestabilan struktur pati selama pemanasan dan pendinginan. Pati dalam Mocaf akan mengalami gelatinisasi saat pemanasan, yang ditandai dengan pembengkakan granula, peningkatan viskositas, dan pembentukan pasta (Rittenauer *et al.*, 2021). Selanjutnya, pada fase pendinginan rantai pati akan mengalami penyusunan kembali (*reassociation*) dan membentuk struktur heliks ganda yang lebih teratur melalui proses retrogradasi (Chang *et al*., 2021). Stabilitas struktur pati selama pemanasan dan pendinginan sangat

dipengaruhi oleh komposisi bahan penyusun, termasuk adanya penambahan SPI atau tepung okara yang dapat memodifikasi proses gelatinisasi dan retrogradasi.

2.10 Kadar Total Serat Pangan

Serat pangan dikenal juga dengan *dietary fiber* merupakan komponen bahan pangan yang tidak dapat dicerna atau dihidrolisis oleh enzim-enzim dalam sistem pencernaan manusia. Serat pangan dapat dibedakan menjadi dua yaitu serat larut air dan serat tidak larut air. Komponen serat yang dapat larut dalam air terdiri dari pektin, dan gum. Serat pangan tidak larut air adalah serat yang tidak dapat larut baik di dalam air maupun di dalam saluran pencernaan. Komponen yang termasuk dalam kelompok serat pangan tidak larut air adalah lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Serat pangan memiliki peran penting dalam menjaga kesehatan sistem pencernaan, menurunkan kadar kolesterol, dan mengontrol kadar gula darah (Sinulingga, 2020). Mocaf dan tepung okara memiliki kandungan serat yang tinggi. Serat larut, seperti pektin dan gum, mampu meningkatkan viskositas dan *water holding capacity* (WHC), sedangkan serat tidak larut seperti selulosa dan hemiselulosa berperan dalam penyerapan air dan pembentukan struktur fisik bahan (Tan *et al.*, 2017).

Kandungan serat berpengaruh langsung terhadap kemampuan penyerapan air, *swelling power*, viskositas gelatinisasi, dan karakteristik tekstur. Penambahan bahan tinggi serat seperti okara dapat meningkatkan WHC dan menghasilkan adonan yang lebih padat serta stabil, karena serat mampu mengikat air dalam jumlah besar dan membatasi mobilitas air bebas dalam sistem. Keterbatasan air yang tersedia untuk pembengkakan granula pati akibat adanya komponen serat pada

okara dapat memengaruhi karakteristik *pasting properties*. Penambahan okara pada tepung gandum dilaporkan menurunkan *peak viscosity, trough viscosity*, *breakdown viscosity,* dan *final viscosity* seiring dengan peningkatan proporsi okara, yang dikaitkan dengan tingginya kandungan serat serta komponen non pati lainnya yang memengaruhi proses gelatinisasi pati (Adebowale *et al*., 2025). Selain itu, serat juga berinteraksi dengan pati dan protein melalui ikatan hidrogen dan interaksi fisik lainnya, yang dapat menghambat pembengkakan granula pati serta memodifikasi proses gelatinisasi dan pembentukan gel (Zhang *et al.,* 2025). Oleh karena itu, analisis serat pangan menjadi penting untuk memahami kontribusinya terhadap sifat fungsional dan performa reologi tepung komposit.

2.11 Sifat Pasta (*Pasting Properties*)

Sifat pasta (*pasting properties*) juga menjadi bagian penting dalam evaluasi tepung komposit, khususnya yang berbasis pati seperti Mocaf. *Pasting properties* menggambarkan perubahan viskositas pati selama proses pemanasan dan pendinginan (Parwiyanti *et al.*, 2019). Parameter utama yang digunakan meliputi *pasting temperature, peak viscosity, trough viscosity, breakdown viscosity, final viscosity,* dan *setback viscosity*. *Pasting temperature* menunjukkan suhu ketika peningkatan viskositas mulai terdeteksi akibat proses gelatinisasi, sedangkan *peak viscosity* menunjukkan viskositas maksimum yang dicapai selama pemanasan (Lin *et al.*, 2023). Selanjutnya, *trough viscosity* menggambarkan viskositas minimum setelah pasta mengalami pemanasan dan gaya geser, sementara *breakdown viscosity* merepresentasikan penurunan viskositas dari *peak viscosity* menuju *trough viscosity*

yang berkaitan dengan stabilitas granula pati terhadap panas dan gaya geser (Gokcan *et al.*, 2023). Setelah tahap pemanasan, pendinginan pasta menyebabkan perubahan susunan molekul pati yang berkontribusi terhadap peningkatan viskositas hingga mencapai *final viscosity*. Perbedaan antara *final viscosity* dan *trough viscosity* menghasilkan *setback viscosity*, yang dapat digunakan sebagai indikator kecenderungan molekul pati, terutama amilosa dan bagian amilopektin, untuk mengalami reasosiasi selama pendinginan dan berkaitan dengan fenomena retrogradasi (Patil *et al.*, 2020).

Penambahan *soy protein isolate* (SPI) dan tepung okara dapat memodifikasi *pasting properties* tepung komposit melalui perubahan ketersediaan air dan interaksi antara komponen non pati dengan pati. SPI memiliki kandungan protein yang tinggi, sedangkan okara mengandung protein dan serat pangan, sehingga keduanya memiliki kemampuan berinteraksi dengan air dan dapat berkompetisi dengan pati selama proses pemanasan. Protein dari SPI maupun okara dapat berinteraksi dengan molekul pati melalui ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, maupun interaksi elektrostatik, sedangkan serat pada okara memiliki gugus hidrofilik yang mampu mengikat dan mempertahankan air (Chen *et al.,* 2023; Arunprasath *et al.,* 2026). Kompetisi tersebut dapat mengurangi jumlah air yang tersedia untuk pembengkakan granula pati dan selanjutnya memengaruhi *pasting temperature, peak viscosity*, serta stabilitas pasta. Selain itu, penggantian sebagian Mocaf dengan SPI dan okara menurunkan proporsi pati sebagai komponen pembentuk pasta, sementara keberadaan protein dan serat dapat mengubah kontinuitas matriks pati serta interaksi antarmolekul selama pemanasan dan

pendinginan (Hu et al., 2022; Adeyanju *et al.,* 2025). Perubahan tersebut pada akhirnya dapat memengaruhi *trough viscosity, breakdown viscosity, final viscosity*, dan *setback viscosity*.

2.12 Reologi

Reologi merupakan kajian mengenai perilaku aliran dan deformasi bahan pangan ketika dikenai gaya, dan menjadi parameter penting dalam evaluasi kualitas tepung komposit karena mampu menggambarkan interaksi antara pati, protein, dan serat dalam membentuk struktur adonan (Wilson, 2018). Pengujian reologi dapat mengetahui sifat aliran (*flow behavior*) melalui pemetaan hubungan *shear rate–shear stress*, penentuan viskositas sebagai fungsi gaya geser, serta identifikasi tipe fluida. Selain karakteristik aliran, bahan pangan juga memiliki respons terhadap deformasi yang tidak hanya menunjukkan kemampuan bahan untuk mengalir, tetapi juga mencerminkan kemampuan bahan mempertahankan dan melepaskan energi selama deformasi. Karakteristik tersebut dapat dievaluasi melalui pengujian osilatori untuk mengetahui sifat viskoelastis bahan. Pengujian osilatori memberikan informasi mengenai sifat viskoelastis melalui parameter *storage modulus* (G'), yang merepresentasikan elastisitas atau kemampuan menyimpan energi, dan *loss modulus* (G"), yang menunjukkan karakteristik viskos atau energi yang hilang sebagai panas, rasio keduanya (tan δ) digunakan untuk menentukan dominasi sifat elastik atau viskos dalam adonan (Kaczmarska *et al.*, 2024). Perbandingan antara G' dan G" melalui nilai tan δ dapat digunakan untuk menentukan komponen yang lebih dominan dalam sistem, dengan tan $\delta < 1$ menunjukkan dominasi sifat elastik

dan tan δ > 1 menunjukkan dominasi sifat viskos (Hong *et al.*, 2024). Analisis tersebut penting pada sistem tepung karena perubahan G" dan G' dapat menunjukkan perubahan kekuatan jaringan dan tingkat keterikatan antar komponen selama proses hidrasi maupun pembentukan struktur.

Sifat reologi pada sistem tepung komposit dipengaruhi oleh komposisi dan interaksi antar komponen penyusunnya, terutama pati, protein, dan serat (Polachini *et al.*, 2023). Pati berperan sebagai komponen utama yang mengalami hidrasi dan pembengkakan, sedangkan protein dan serat dapat memodifikasi distribusi air serta struktur matriks yang terbentuk. Interaksi tersebut menyebabkan perubahan pada karakteristik aliran maupun sifat viskoelastis bahan. Perubahan komposisi tepung melalui substitusi atau penambahan bahan kaya protein dan serat dapat menghasilkan perubahan yang berbeda terhadap parameter reologi, bergantung pada jenis dan konsentrasi komponen yang ditambahkan. Interaksi pati dengan protein dapat berlangsung melalui ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, dan interaksi elektrostatik yang akan memengaruhi mobilitas rantai polimer serta sifat struktural sistem, sedangkan keberadaan serat dapat memodifikasi karakteristik hidrasi dan viskositas melalui kemampuan mengikat air (Scott *and* Awika, 2023).

BAB III

MATERI DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 7 bulan pada Desember 2025 hingga Juli 2026 di Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian, serta Laboratorium *Food Processing* Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro, untuk pembuatan dan preparasi sampel, pengujian kadar bahan kering, kadar abu, kadar protein, kadar lemak, kadar karbohidrat, dan *pasting properties*. Bab ini menguraikan materi dan metode, yang diuraikan sebagai berikut.

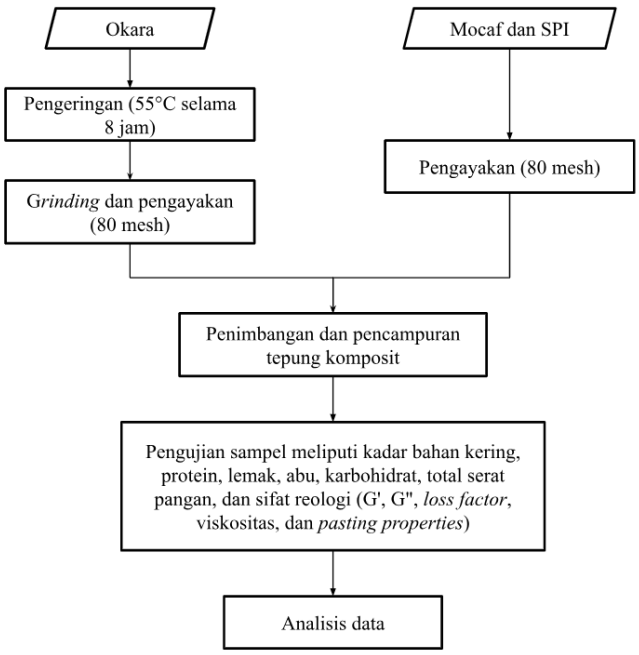
3.2 Materi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi Mocaf yang diproduksi Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) Mekar Sari Boyolali di Jawa Tengah, *soy protein isolate* (SPI) yang diproduksi oleh Shandong Protein Co. Ltd. Provinsi Shandong China, okara yang diproduksi oleh Pabrik Tahu WD di Jawa Tengah, H_2SO_4 (Merck, Jerman), NaOH 45% (ROFA, Indonesia), indikator *methyl red* dan *methyl blue*, selenium (Merck, Jerman), asam borat 4% (Merck, Jerman), n-heksana (Merck, Jerman), HCl 0,1 N (Merck, Jerman), akuades, kertas saring, etanol 95%, α-amilase, pepsin, dan β-amilase.

Alat yang digunakan adalah *cabinet dryer* (Maksindo, Indonesia), reometer (Lamy DSR 500, Prancis; MCR 302 Anton Paar, Austria), timbangan analitik (Ohaus, Amerika Serikat), gelas ukur (Iwaki, Indonesia), oven kadar air (Memmert, Jerman), Erlenmeyer (Iwaki, Indonesia), tanur (Thermolyne, Amerika Serikat), *mixer* (KitchenAid, Amerika Serikat), ekstraktor Soxhlet (Pyrex, Amerika Serikat), baskom, corong, cawan porselen, desikator, ayakan 80 mesh, statif, buret, pipet, dan labu Kjeldahl.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri dari rancangan percobaan, prosedur penelitian, pengujian parameter, dan analisis data yang diperoleh. Metode penelitian yang dilakukan digambarkan dalam Ilustrasi 1 sebagai alur penelitian secara keseluruhan.



Ilustrasi 1. Diagram Alir Penelitian

Keterangan : G' = *Storage modulus*/ modulus elastis (energi yang tersimpan) (Pa); G" = *Loss mudulus*/ Modulus viskos (energi yang terlepas/hilang) (Pa); *loss factor* = tan/δ (perbandingan modulus elastis terhadap modulus viskos) (Pa); *pasting properties* = Sifat pasta yang meliputi *pasting temperature* (℃)*, peak viscosity* (cP)*, trough viscosity* (cP)*, breakdown viscosity* (cP)*, final viscosity* (cP)*,* dan *setback viscosity* (cP)*.*

3.3.1 Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas empat perlakuan formulasi tepung komposit berbasis Mocaf, yaitu P1 (100% Mocaf), P2 (92% Mocaf : 8% *soy protein isolate* (SPI)), P3 (64% Mocaf : 36% tepung okara), dan P4 (36% Mocaf : 64% tepung okara). Penelitian dilakukan untuk mengevaluasi sifat kimiawi dan reologi tepung komposit akibat perbedaan formulasi. Pengujian sampel meliputi kadar bahan kering, protein, lemak, abu, karbohidrat, serat pangan total, *pasting properties*, dan sifat reologi.

Pengujian parameter sifat kimiawi dilakukan masing-masing sebanyak 3 (tiga) kali ulangan uji. Data hasil pengujian sifat kimiawi kemudian dianalisis secara statistik menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) pada taraf signifikansi 5%. Apabila terdapat perbedaan yang signifikan, analisis dilanjutkan dengan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf signifikansi 5%.

Parameter sifat reologi meliputi *storage modulus* (G'), *loss modulus* (G"), *loss factor* (tan δ), dan viskositas, sedangkan parameter *pasting properties* yang diamati meliputi *pasting temperature* (PT), *peak viscosity* (PV), *trough viscosity* (TV), *breakdown viscosity* (BDV), *final viscosity* (FV), dan *setback viscosity* (SV). Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan karakteristik setiap perlakuan. Hubungan antara karakteristik kimiawi dan sifat

reologi dianalisis secara deskriptif, sedangkan hubungan antara karakteristik kimiawi dan *pasting properties* dianalisis menggunakan korelasi Pearson untuk mengetahui kecenderungan hubungan antar parameter.

3.3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan meliputi tiga tahapan utama, yaitu tahap pembuatan tepung okara, preparasi tepung komposit, serta pengujian parameter. Pengujian parameter meliputi kadar bahan kering, protein, lemak, abu, karbohidrat, total serat pangan, *pasting properties*, dan sifat reologi.

3.3.2.1 Pembuatan Tepung Okara

Prosedur penelitian yang dilakukan diawali dengan pembuatan tepung okara. Pembuatan tepung okara merujuk pada penelitian Rahmawati *et al.* (2020) dengan modifikasi. Proses pembuatan tepung okara dimulai dengan pencucian okara (ampas tahu) menggunakan air bersih untuk menghilangkan sisa kotoran atau zat asing yang mungkin masih menempel. Setelah proses pencucian, ampas tahu disaring menggunakan kain saring dan diperas hingga kadar airnya berkurang. Okara yang telah diperas kemudian diratakan di atas loyang dengan ketebalan ±1 cm agar pengeringan berjalan merata. Pengeringan dilakukan menggunakan *cabinet dryer* dengan suhu 55°C selama 8 jam hingga ampas tahu benar-benar kering. Setelah itu, okara kering di-*grinder* hingga menjadi serbuk halus. Tepung yang dihasilkan kemudian diayak menggunakan ayakan berukuran 80 mesh, sesuai

dengan standar kehalusan tepung yang mengacu pada SNI 7622 : 2011 tentang syarat mutu Mocaf.

3.3.2.2 Preparasi Tepung Komposit

Preparasi tepung komposit dilakukan dengan mencampurkan tepung Mocaf dengan SPI atau tepung okara sesuai dengan formulasi perlakuan yang telah ditentukan. Sebelum pencampuran, tepung Mocaf, SPI, dan tepung okara diayak menggunakan ayakan berukuran 80 mesh. Masing-masing bahan yang telah diayak kemudian ditimbang sesuai dengan komposisi pada setiap perlakuan. Tepung Mocaf dan SPI ditimbang dengan perbandingan 92% : 8% untuk menghasilkan perlakuan P2, sedangkan tepung Mocaf dan tepung okara ditimbang dengan perbandingan 64% : 36% untuk P3 dan 36% : 64% untuk P4. Perlakuan P1 digunakan sebagai kontrol dengan komposisi 100% tepung Mocaf. Setiap bahan kemudian dicampurkan secara manual menggunakan sendok selama 5 menit, kemudian dilanjutkan pencampuran menggunakan *mixer* selama 5 menit.

Formulasi Mocaf–SPI ditetapkan berdasarkan hasil optimasi sebelumnya pada produk pao yaitu dengan target kadar protein 7,6%. Sementara itu, formulasi Mocaf–tepung okara belum memiliki acuan hasil optimasi sebelumnya, sehingga penetapan proporsinya dilakukan menggunakan dua pendekatan, yaitu pendekatan pertama dengan mengacu pada target kadar protein 7,6% berdasarkan formulasi Mocaf–SPI, dan pendekatan kedua dengan mengacu pada target kadar protein sekitar 13% yang mendekati karakteristik tepung terigu protein tinggi. Perhitungan jumlah Mocaf, SPI, dan tepung okara yang digunakan pada masing-masing

formulasi disajikan pada Lampiran 11−13. Meskipun komposisi kimia tepung komposit dapat dikalkulasikan berdasarkan proporsi dan kadar kimia masing-masing bahan penyusun, nilai tersebut belum tentu sepenuhnya merepresentasikan karakteristik kimia aktual setelah proses pencampuran. Perbedaan antara nilai kalkulasi dan aktual dapat terjadi karena perubahan kadar air riil pada saat pencampuran dan homogenitas distribusi komponen selama pencampuran. Oleh karena itu, pengujian kimia pada tepung komposit tetap diperlukan untuk memperoleh karakteristik aktual yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pengujian selanjutnya yaitu *pasting properties* dan sifat reologi.

3.3.2.3 Kadar Bahan Kering

Pengujian kadar bahan kering dilakukan mengacu pada metode AOAC (2005) menggunakan oven pengering (Musa *et al.*, 2017). Sebanyak 2 g sampel tepung ditimbang dan ditempatkan ke dalam cawan porselen kering yang sebelumnya telah dipanaskan dalam oven selama 1 jam. Sampel kemudian dioven pada suhu 105 °C selama 4 jam, didinginkan dalam desikator selama 30 menit, dan ditimbang. Pemanasan dilanjutkan kembali pada suhu yang sama selama 1 jam, kemudian didinginkan dan ditimbang ulang. Proses pemanasan–pendinginan tersebut diulangi hingga diperoleh massa konstan, yaitu ketika perubahan berat sampel tidak melebihi 0,02 g. Nilai kadar bahan kering ditentukan dengan membandingkan massa akhir sampel setelah mencapai berat konstan dengan massa awal sebelum pengeringan.

$$\text{DMC (\%)} = \frac{\text{Massa sampel konstan setelah pengovenan (g)}}{\text{Massa sampel sebelum pengovenan (g)}} \times 100\% \qquad (1)$$

3.3.2.4 Kadar Protein

Pengujian kadar protein mengikuti metode AOAC 2005 dalam Musa *et al.* (2017). Penentuan kadar protein dilakukan menggunakan metode Kjeldahl, yang mencakup tiga tahapan utama yaitu destruksi, destilasi, dan titrasi.

1. Tahap Destruksi

Sebanyak 0,5 g sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl 100 ml. Kemudian ditambahkan 0,5 g katalisator (campuran selenium) untuk mempercepat proses destruksi dan 10 ml asam sulfat pekat. Labu dipanaskan hingga larutannya berubah menjadi jernih kehijauan yang menandakan proses destruksi selesai.

2. Tahap Destilasi

Larutan hasil destruksi didinginkan dan ditambahkan 100 ml akuades. Selanjutnya, ditambahkan 40 ml NaOH 45% dan alat destilasi dirangkai dengan kondensor, dan ujung kondensor dicelupkan ke dalam erlenmeyer berisi 5 ml asam borat 4% yang telah diberi indikator metil merah dan metil biru. Uap hasil pemanasan akan mengalir melalui kondensor menuju erlenmeyer penampung.

3. Tahap Titrasi

Larutan hasil destilasi dalam erlenmeyer kemudian dititrasi menggunakan larutan HCl 0,1 N. Titik akhir titrasi dicapai ketika warna larutan berubah dari hijau menjadi biru.

$$\% \text{ Kadar Protein} = \frac{(\text{titran sampel} - \text{blanko}) \times \text{N HCl} \times 14{,}008}{Berat\ sampel \times 1000} \times 100\% \quad (2)$$

Hasil perhitungan dikali dengan faktor konversi sebesar 6,25.

3.3.2.5 Kadar Lemak

Pengujian kadar lemak mengikuti metode AOAC 2005 dalam Budiarti *et al.* (2016). Sampel tepung sebanyak 2 g ditimbang secara tepat, kemudian dibungkus menggunakan kertas saring. Kertas saring kemudian diletakkan di oven dengan suhu 105℃ selama 4 jam, didinginkan dalam desikator selama 30 menit, dan ditimbang sebagai berat konstan. Kertas saring berisi sampel ditempatkan pada ruang ekstraktor alat Soxhlet yang terpasang di antara kondensor di bagian atas dan labu lemak di bagian bawah. Selanjutnya, labu lemak dipasangkan pada alat Soxhlet, dan pelarut lemak (n-heksana) dituangkan ke labu ekstraksi. Rangkaian Soxhlet kemudian dipanaskan menggunakan pemanas listrik pada suhu sekitar 40–60°C, sehingga pelarut menguap, naik ke kondensor, mengembun, dan menetes kembali menuju selongsong yang berisi sampel. Proses ekstraksi dilakukan secara terus-menerus selama 6 jam atau hingga siklus refluks berlangsung stabil. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 105℃ selama 1 jam dan didinginkan dalam desikator selama 30 menit, kemudian ditimbang hingga mencapai berat akhir. Kadar lemak ditentukan dengan persamaan (3).

$$\text{Kadar Lemak} = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

W_1 = Berat awal sampel (g)

W_2 = Berat sampel konstan (g)

W_3 = Berat akhir sampel setelah pengujian lemak (g)

3.3.2.6 Kadar Abu

Pengujian kadar abu mengikuti metode AOAC 2005 dalam Budiarti *et al.* (2016). Cawan tanur untuk analisis abu terlebih dahulu dibersihkan, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu sekitar 105°C selama 1 jam. Setelah itu, cawan didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang. Sampel hasil pengujian kadar air dimasukkan ke dalam cawan tersebut. Selanjutnya, cawan dimasukkan ke dalam tanur pengabuan dan diabukan pada suhu 600°C selama 6 jam. Setelah proses pengabuan selesai, cawan dikeluarkan, didinginkan kembali di dalam desikator hingga mencapai suhu ruang, dan ditimbang untuk memperoleh nilai abu. Perhitungan kadar abu sebagai berikut.

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{\mathrm{C} - \mathrm{A}}{\mathrm{B} - \mathrm{A}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

A = Berat cawan abu porselen kosong (g)

B = Berat cawan abu porselen dengan sampel (g)

C = Berat cawan abu porselen dengan sampel yang sudah dikeringkan (g)

3.3.2.7 Kadar Karbohidrat

Pengujian kadar karbohidrat dianalisis dengan metode *by difference* mengacu pada AOAC 2005 dalam Talitha *et al.* (2025). Perhitungan kadar karbohidrat

menggunakan pengurangan 100% kandungan gizi sampel dengan kadar air, kadar abu, kadar protein, dan kadar lemak dengan penentuan nilai karbohidrat berdasarkan persamaan (5).

$$\text{Karbohidrat} = 100\% - (\%\ \text{kadar air} + \%\ \text{abu} + \%\ \text{lemak} + \%\ \text{protein}) \quad (5)$$

3.3.2.8 Kadar Serat Pangan Total

Pengujian kadar serat enzimatis-gravimetri mengacu pada metode AOAC 1995 dalam Mentari *et al.* (2016). Sebanyak 0,5 g sampel ditambahkan 50 ml buffer fosfat pH 7 dan 0,1 ml enzim α-amilase, kemudian dipanaskan dalam penangas air pada suhu 100°C selama 30 menit. Setelah didinginkan, ditambahkan 20 ml air destilasi, 5 ml HCl 1 N, dan 1 ml enzim pepsin 1%, lalu diinkubasi kembali dalam penangas air selama 30 menit. Selanjutnya ditambahkan 5 ml NaOH 1 N dan 0,1 ml enzim β-amilase, kemudian diinkubasi selama 1 jam. Penentuan serat pangan tak larut dilakukan dengan menyaring sampel menggunakan kertas saring konstan yang telah diketahui berat awalnya. Residu dicuci menggunakan etanol dan aseton, kemudian dikeringkan pada suhu 105°C selama semalam, didinginkan dalam desikator, dan ditimbang. Filtrat hasil penyaringan digunakan untuk analisis serat pangan terlarut dengan penambahan etanol 95% hangat hingga terbentuk endapan. Endapan kemudian disaring menggunakan kertas saring bebas abu, dicuci dengan etanol dan aseton, dikeringkan pada suhu 105°C selama semalam, didinginkan dalam desikator, dan ditimbang. Kadar serat pangan total dihitung sebagai jumlah serat pangan tak larut dan serat pangan terlarut yang diperoleh secara gravimetri.

3.3.2.9 Sifat Pasta (*Pasting Properties*)

Pengujian reologi (*pasting properties*) dilakukan dengan menggunakan *Dynamic Shear Rheometer* DSR 500 (Lamy, Prancis) yang mengacu pada He *et al.* (2025) dengan modifikasi. Sampel sebanyak 2,0 g (*dry basis*) dan air sebanyak 25 ml dimasukkan ke dalam *measuring chamber*. *Water chamber* diatur pada suhu 95℃ dan disirkulasi ke reometer. Proses pengujian dilakukan dengan program suhu yang diawali pada 25°C ± 1℃, kemudian dipanaskan secara bertahap hingga *water chamber* mencapai suhu maksimal 95°C. Setelah ditahan pada suhu puncak selama 5 menit, sampel diturunkan kembali ke suhu sampel mencapai 25°C ± 1°C dan ditahan untuk membentuk viskositas akhir. *Shear rate* yang digunakan yaitu 200 s^{-1} selama 30 detik pertama untuk memastikan pencampuran awal yang homogen, lalu diturunkan menjadi 54 s^{-1} hingga pengujian selesai. Hasil pengujian ini meliputi nilai *peak viscosity* (PV), *trough viscosity* (TV), *final viscosity* (FV), *breakdown* (BD) dan *setback* (SB).

3.3.2.10 Sifat Reologi

Pengujian reologi dan viskositas dilakukan menggunakan Rheometer Physica MCR 302 (Anton Paar, Austria) dengan jenis *probe* berupa parallel plate 50 mm yang mengacu pada Dahdah *et al.* (2024) dengan modifikasi. Pengujian viskositas dilakukan pada suhu 25 ℃ dengan rentang *shear rate* 0,1–1000 s^{-1}, serta uji *frequency sweep* untuk mengetahui G’ dan G” dilakukan pada rentang 0,1–10 rad.s^{-}

[1] pada *shear strain* 2%, suhu 25 ℃. Interval waktu pengujian selama 20 detik dengan pengambilan data setiap detik pada 20 titik.

3.3.3 Analisis Data

Analisis data hasil pengujian sifat kimiawi dilakukan dengan menggunakan program SPSS 26.0 *for windows* dengan taraf kepercayaan 95%. Analisis dengan uji parametrik *Analysis of Variance* (ANOVA). Apabila terdapat pengaruh nyata, dilakukan uji lanjutan yaitu *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) untuk mengetahui perbedaan nyata antar perlakuan. Hubungan antara sifat kimiawi dengan karakteristik *pasting properties* dianalisis menggunakan korelasi Pearson dengan bantuan Microsoft Excel 2021 untuk mengetahui arah dan kekuatan hubungan antar parameter. Nilai koefisien korelasi 0,70 digunakan sebagai batas untuk mengidentifikasi hubungan yang tergolong kuat, baik hubungan positif maupun negatif. Selain itu, dilakukan analisis hubungan antara sifat kimiawi dengan sifat reologi secara deskriptif dengan membandingkan pola perubahan parameter sifat kimiawi dan parameter reologi pada masing-masing perlakuan untuk mengidentifikasi kecenderungan hubungan yang terjadi.