

**PERBANDINGAN SIFAT REOLOGI DAN KIMIAWI TEPUNG  
KOMPOSIT BERBASIS MOCAF (*MODIFIED CASSAVA FLOUR*)  
ANTARA PENAMBAHAN *WHEY PROTEIN ISOLATE* DENGAN *EGG  
WHITE POWDER***

---

**SKRIPSI**

---

**Oleh**

**AISA PUTRI SAPTARINA**



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

PERBANDINGAN SIFAT REOLOGI DAN KIMIAWI TEPUNG KOMPOSIT  
BERBASIS MOCAF (*MODIFIED CASSAVA FLOUR*) ANTARA  
PENAMBAHAN *WHEY PROTEIN ISOLATE* DENGAN *EGG WHITE POWDER*

Oleh

AISA PUTRI SAPTARINA  
NIM : 23020122120009

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 : Aisa Putri Saptarina  
NIM : 23020122120009  
Program studi : S-1 Teknologi Pangan

dengan ini menyatakan sebagai berikut :

1. Skripsi yang berjudul: **Perbandingan Sifat Reologi Dan Kimiawi Tepung Komposit Berbasis Mocaf (*Modified Cassava Flour*) Antara Penambahan *Whey Protein Isolate* Dengan *Egg White Powder*** 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 **Dr. Sri Mulyani, S.Pt., M.P.**

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.

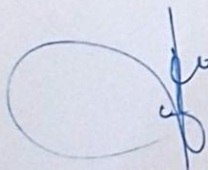
Semarang, (September 2026)  
Penulis,



(Aisa Putri Saptarina)

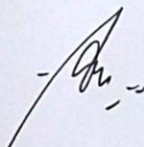
Mengetahui :

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Anggota



(Dr. Sri Mulyani, S.Pt., M.P. )

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : PERBANDINGAN SIFAT REOLOGI DAN KIMIAWI TEPUNG KOMPOSIT BERBASIS MOCAF (*MODIFIED CASSAVA FLOUR*) ANTARA PENAMBAHAN *WHEY PROTEIN ISOLATE* DENGAN *EGG WHITE POWDER*

Nama Mahasiswa : AISA PUTRI SAPTARINA

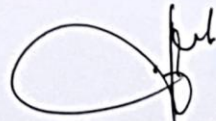
Nomor Induk Mahasiswa : 23020122120009

Program Studi/Departemen : S-1 Teknologi Pangan / Pertanian

Fakultas : PETERNAKAN DAN PERTANIAN

Telah disidangkan di hadapan Tim Penguji  
dan dinyatakan lulus pada tanggal 13.09.2025.

Pembimbing Utama

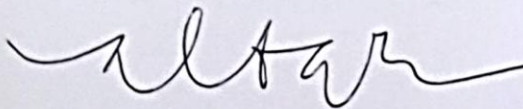


Setya Budi M. Abdurrahman, S.Pt., M.Sc., Ph.D.  
Ketua Program Studi

Pembimbing Anggota



Dr. Sri Mulyani, S.Pt., M.P.  
Ketua Panitia Ujian Akhir Program



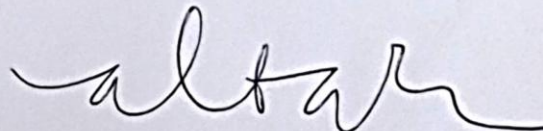
Ahmad N. Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.  
Dekan



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



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



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

## RINGKASAN

**AISA PUTRI SAPTARINA.** 23020122120009. 2026. Perbandingan Sifat Reologi dan Kimiawi Tepung Komposit Berbasis Mocaf (*Modified Cassava Flour*) Antara Penambahan *Whey Protein Isolate*, dengan *Egg White Powder*. (Pembimbing: **SETYA BUDI M. ABDUH** dan **SRI MULYANI**)

Mocaf mengandung kadar protein yang rendah dan tidak mengandung gluten sehingga kemampuan membentuk adonan menjadi terbatas. Sehingga diperlukan penambahan sumber protein untuk memperbaiki sifat fungsional dan reologi Mocaf. Penelitian ini dilakukan selama 7 bulan yaitu mulai dari bulan Desember 2025 hingga Juli 2026 di Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan (KGP) dan Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian (RPHP), Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat reologi tepung komposit berbasis Mocaf yang ditambahkan dengan *Whey Protein Isolate* (WPI) dan *Egg White Powder*. Oleh karena itu, penambahan protein diharapkan dapat memperbaiki sifat fungsional dan reologi tepung komposit mendekati karakteristik tepung terigu.

Penelitian ini menggunakan tiga perlakuan yaitu Mocaf, Mocaf-WPI dan Mocaf-EWP dan tiga kali pengulangan. Parameter yang dianalisis meliputi sifat reologi, kadar bahan kering, protein, lemak, abu, karbohidrat, dan serat pangan total. Data hasil pengujian reologi dianalisis secara deskriptif yang disajikan dalam bentuk diagram sebagai ilustrasi. Data dari pengujian parameter proksimat dan serat pangan total dianalisis menggunakan uji parametrik *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan taraf signifikansi 95%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan WPI dan EWP dapat meningkatkan kadar protein, dan kadar abu, serta menurunkan kadar lemak dan kadar karbohidrat. Penambahan WPI dapat meningkatkan kadar bahan kering, sedangkan penambahan EWP dapat meningkatkan kadar serat pangan total. Sifat reologi pada sampel Mocaf-EWP memiliki nilai *storage modulus* ( $G'$ ) dan *loss modulus* ( $G''$ ) yang paling tinggi serta memiliki nilai viskositas terendah dibandingkan kedua sampel lainnya. Kadar serat pangan total merupakan komponen yang memiliki pengaruh terhadap *storage modulus* ( $G'$ ), *loss modulus* ( $G''$ ), dan *loss factor* ( $\tan \delta$ ). Selain itu, viskositas dipengaruhi oleh kadar bahan kering, protein, lemak, abu, dan serat pangan total. Mocaf-EWP menghasilkan viskositas puncak yang tinggi tapi strukturnya lebih lemah dalam mempertahankan stabilitas dan lebih cepat retrogradasi sedangkan Mocaf-WPI menghasilkan *pasting temperature* yang lebih tinggi dan kecenderungan retrogradasi lebih rendah. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penambahan WPI dan EWP pada Mocaf dapat mempengaruhi karakteristik kimia dan sifat reologi tepung komposit berbasis Mocaf. Perubahan kimiawi tepung komposit memiliki pengaruh terhadap sifat reologi dan *pasting properties*.

## 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 “Perbandingan Sifat Reologi dan Kimiawi Tepung Komposit Berbasis Mocaf (*Modified Cassava Flour*) Antara Penambahan *Whey Protein Isolate*, dengan *Egg White Powder*” 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) serta Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian (RPHP) Fakultas Peternakan dan Pertanian, 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. Bapak Setya Budi Muhammad Abduh, S.Pt., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama dan Ibu Dr. Sri Mulyani, S.Pt., M.P. selaku dosen pembimbing anggota atas dukungan penuh, baik secara moral maupun materi, ilmu, saran, bimbingan, arahan, serta semangat dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama penelitian, penulisan skripsi, hingga penulis menuntaskan studi dengan penuh kesabaran;
2. 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;
3. 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 S1-Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro;

4. Ir. Ahmad N. Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D. selaku Kepala Departemen Pertanian serta Kepala Program Studi S-1 Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro yang telah memberikan izin, dukungan, ilmu, arahan, masukan, dan semangat kepada penulis selama menjadi mahasiswa S-1 Teknologi Pangan;
5. Ulil Afidah, S.Pt., M.Sc. selaku dosen wali yang telah banyak memberikan arahan, saran, masukan, dan semangat kepada penulis selama menjalani perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini;
6. Seluruh dosen, tenaga kependidikan, 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;
7. 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 yang sangat berarti selama penulis beraktivitas di laboratorium Teknologi Pangan;
8. Semua anggota keluarga, khususnya kedua orang tua dan adik penulis, yang telah memberikan dukungan moral maupun materi sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan skripsi dengan baik.
9. 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 .....                                  | viii    |
| DAFTAR TABEL.....                                 | x       |
| DAFTAR ILUSTRASI.....                             | xi      |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                             | xii     |
| BAB I PENDAHULUAN .....                           | 1       |
| 1.1 Latar Belakang .....                          | 1       |
| 1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....           | 4       |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                     | 5       |
| 2.1 Tepung Komposit.....                          | 5       |
| 2.2 Mocaf ( <i>Modified Cassava Flour</i> ) ..... | 5       |
| 2.3 Whey Protein Isolate (WPI).....               | 8       |
| 2.4 <i>Egg White Powder</i> (EWP) .....           | 10      |
| 2.5 Kadar Bahan Kering .....                      | 12      |
| 2.6 Kadar Protein .....                           | 14      |
| 2.7 Kadar Lemak.....                              | 15      |
| 2.8 Kadar Abu .....                               | 16      |
| 2.9 Kadar karbohidrat .....                       | 17      |
| 2.10 Kadar Serat Pangan Total.....                | 18      |
| 2.11 Reologi .....                                | 19      |
| 2.12 <i>Pasting Properties</i> .....              | 21      |
| BAB III MATERI DAN METODE .....                   | 24      |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Materi .....                                              | 24 |
| 3.2 Metode .....                                              | 25 |
| 3.3 Pengujian Parameter .....                                 | 27 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....                              | 34 |
| 4.1 Kadar Bahan Kering .....                                  | 34 |
| 4.2 Kadar Protein .....                                       | 36 |
| 4.3 Kadar Lemak.....                                          | 37 |
| 4.4 Kadar Abu .....                                           | 39 |
| 4.5 Kadar Karbohidrat ( <i>by difference</i> ) .....          | 41 |
| 4.6 Kadar Serat Pangan Total.....                             | 43 |
| 4.7 Sifat Reologi .....                                       | 45 |
| 4.8 <i>Pasting Properties</i> .....                           | 50 |
| 4.9 Hubungan Sifat Kimia dengan Reologi Tepung Komposit ..... | 56 |
| BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....                                | 64 |
| 5.1 Simpulan .....                                            | 64 |
| 5.2 Saran .....                                               | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                          | 65 |
| LAMPIRAN.....                                                 | 76 |
| RIWAYAT HIDUP .....                                           | 94 |

## DAFTAR TABEL

| Nomor                                                                                       | Halaman |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Syarat Mutu Mocaf .....                                                                  | 7       |
| 2. Komposisi Kimia <i>Whey Protein Isolate</i> .....                                        | 8       |
| 3. Komposisi kimia <i>Egg White Powder</i> .....                                            | 10      |
| 4. Pasting Properties Tepung Terigu .....                                                   | 23      |
| 5. Kadar Bahan Kering Tepung Berbasis Mocaf .....                                           | 34      |
| 6. Kadar Protein Tepung Berbasis Mocaf .....                                                | 36      |
| 7. Kadar Lemak Tepung Berbasis Mocaf .....                                                  | 38      |
| 8. Kadar Abu Tepung Berbasis Mocaf .....                                                    | 39      |
| 9. Kadar Karbohidrat Tepung Berbasis Mocaf .....                                            | 41      |
| 10. Kadar Serat Pangan Total Tepung Berbasis Mocaf .....                                    | 43      |
| 11. <i>Pasting Properties</i> Tepung Komposit Berbasis Mocaf .....                          | 50      |
| 12. Hubungan Regresi Sifat Kimia dan Reologi Tepung Berbasis Mocaf .....                    | 57      |
| 13. Hubungan Korelasi Sifat Kimia dan <i>Pasting Properties</i> Tepung Berbasis Mocaf ..... | 59      |

## DAFTAR ILUSTRASI

| Nomor                                                                                                                              | Halaman |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Diagram Alir Pembuatan Tepung Komposit .....                                                                                    | 27      |
| 2. Kadar Bahan Kering Tepung Berbasis Mocaf.....                                                                                   | 35      |
| 3. Kadar Protein Tepung Berbasis Mocaf .....                                                                                       | 36      |
| 4. Kadar Lemak Tepung Berbasis Mocaf.....                                                                                          | 38      |
| 5. Kadar Abu Tepung Komposit.....                                                                                                  | 40      |
| 6. Kadar Karbohidrat Tepung Komposit .....                                                                                         | 41      |
| 7. Kadar Serat Pangan Total Tepung Berbasis Mocaf.....                                                                             | 43      |
| 8. <i>Storage Modulus</i> $G'$ (Pa) dengan <i>Angular Frequency</i> $\omega$ (rad/s) Tepung<br>Komposit Berbasis Mocaf.....        | 46      |
| 9. <i>Loss Modulus</i> $G''$ (Pa) dengan <i>Angular Frequency</i> $\omega$ (rad/s) Tepung<br>Komposit Berbasis Mocaf.....          | 46      |
| 10. <i>Loss Factor</i> $\tan(\delta)$ $G''/G'$ (Pa) dengan <i>Angular Frequency</i> $\omega$ (rad/s)<br>Tepung Berbasis Mocaf..... | 47      |
| 11. Viskositas (m.Pa) dengan <i>Shear Rate</i> (1/s) Tepung Berbasis Mocaf.....                                                    | 49      |
| 12. <i>Pasting Properties</i> Mocaf .....                                                                                          | 51      |
| 13. <i>Pasting Properties</i> Mocaf–WPI.....                                                                                       | 51      |
| 14. <i>Pasting Properties</i> Mocaf–EWP .....                                                                                      | 52      |

## DAFTAR LAMPIRAN

| Nomor                                                                | Halaman |
|----------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Perhitungan Formulasi Tepung .....                                | 76      |
| 2. Perhitungan Jumlah WPI dan EWP .....                              | 77      |
| 3. Kadar Proksimat Bahan Baku .....                                  | 78      |
| 4. Data Hasil Pengujian Kadar Bahan Kering (DMC) Tepung .....        | 79      |
| 5. Data Hasil Pengujian Kadar Protein Tepung Berbasis Mocaf .....    | 80      |
| 6. Data Hasil Pengujian Kadar Lemak Tepung Berbasis Mocaf.....       | 81      |
| 7. Data Hasil Pengujian Kadar Abu Tepung Berbasis Mocaf .....        | 82      |
| 8. Data Hasil Pengujian Kadar Karbohidrat Tepung Berbasis Mocaf..... | 83      |
| 9. Data Hasil Pengujian Serat Pangan Total.....                      | 84      |
| 10. Data Hasil Pengujian Reologi Tepung Berbasis Mocaf.....          | 85      |
| 11. Data Hasil Pengujian Viskositas Tepung Berbasis Mocaf .....      | 87      |
| 12. Data Hasil Pengujian <i>Pasting Properties</i> .....             | 89      |
| 13. Hasil Pengujian Normalitas Data dengan SPSS 26.....              | 90      |
| 14. Hasil Pengujian One-Way ANOVA dengan SPSS 26 .....               | 91      |
| 15. Dokumentasi Kegiatan Penelitian .....                            | 92      |

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Mocaf (*Modified cassava flour*) merupakan tepung dari ubi kayu yang melalui tahapan proses fermentasi. Proses fermentasi tersebut dapat menurunkan kadar asam sianida (HCN) pada singkong (Hapsari and Hartati, 2023). Mocaf memiliki keunggulan berupa ketersediaan melimpah dan harganya yang relatif terjangkau. Namun, Mocaf memiliki keterbatasan yaitu tidak terdapat gluten dan kadar protein sangat rendah dibandingkan tepung terigu (Al-Baarri *et al.*, 2022). Mocaf mengandung lebih rendah protein dibandingkan tepung terigu yaitu berkisar 1,19% (Fiqtinovri, 2020). Hal tersebut menyebabkan sifat adonan menjadi kurang elastis, cenderung kaku, dan keras. Keterbatasan tersebut berdampak pada produk pangan yang dihasilkan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Mocaf yang ditambahkan pada adonan menghasilkan roti yang lebih keras, kurang mengembang dan kurang elastis (Du *et al.*, 2025). Sehingga kemampuan Mocaf dalam membentuk jaringan adonan masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penambahan komponen lain seperti sumber protein menghasilkan tepung komposit untuk memperbaiki sifat fungsional dan reologi Mocaf.

Penambahan sumber protein pada tepung komposit berbasis Mocaf dapat berasal dari sumber nabati maupun hewani. Sumber protein nabati dapat dihasilkan dari sereal dan kacang-kacangan. Penelitian oleh O.Alugue *et al.* (2016) menunjukkan bahwa tepung komposit terigu yang ditambahkan dengan sorgum dan

kedelai meningkatkan kadar protein, serat pangan, dan abu. Penelitian lain oleh Rafida *et al.* (2026) mengenai penggunaan Mocaf dan tepung kacang hijau dapat meningkatkan kandungan protein, serat, dan udara dalam adonan, tetapi menurunkan daya mengembang karena tingginya serat yang menghambat pembentukan struktur adonan. Protein kacang polong memiliki nilai gizi tinggi, komposisi asam amino yang cukup seimbang, dan rendah alergen, tapi kemampuan dalam membentuk gel masih kurang baik, sehingga penggunaannya dalam tepung komposit masih terbatas (Zhao *et al.*, 2024). Selain itu, penggunaan tepung kacang-kacangan menimbulkan aroma langu atau *beany flavor* yang dapat memengaruhi sensori. Hal tersebut menunjukkan bahwa sumber protein nabati memiliki keterbatasan dalam penggunaannya sebagai tepung komposit.

Sumber protein hewani yang dapat ditambahkan sebagai komposit pada Mocaf seperti *whey protein isolate* dan *egg white powder*. *Whey protein isolate* merupakan fraksi protein dari *whey* yang telah melalui proses pemurnian. Protein pada *whey protein isolate* sebanyak 90-92% (Andriani *et al.*, 2019). Tingginya kandungan protein tersebut dapat meningkatkan kadar protein pada tepung komposit. Penambahan *whey protein isolate* juga dapat meningkatkan kelarutan dan kemampuan pembentukan gel (Khairunnisa *et al.*, 2018). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan *whey protein isolate* pada roti dari tepung beras dapat meningkatkan volume spesifik hingga 18,8%, meningkatkan viskoelastis adonan, dan distribusi pori yang lebih merata pada roti yang dihasilkan (Li *et al.*, 2025). Peningkatan viskoelastis terjadi karena protein WPI mengalami perubahan struktur melalui interaksi antarmolekul protein dan komponen pati. Penelitian oleh

Wang *et al.* (2021) menunjukkan bahwa penambahan WPI pada tepung beras dapat berinteraksi selama pemanasan memengaruhi stabilitas pasta selama pemanasan dan pendinginan, serta memengaruhi sifat viskoelastis sistem, yang secara reologi dapat tercermin pada nilai  $G'$  dan  $G''$ .

Sumber protein hewani lain yang berpotensi digunakan dalam tepung komposit berbasis Mocaf yaitu *egg white powder*. *Egg white powder* merupakan sumber protein dari putih telur ayam yang melalui proses pengeringan menjadi bubuk. Kadar protein yang terkandung pada bubuk putih telur yaitu 80,59% (Evanuarini and Nidhal, 2024). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan *Egg White Powder* dalam pembuatan roti dapat meningkatkan kandungan protein dan menghasilkan elastisitas serta kekenyalan yang lebih besar (Piluk *et al.*, 2025). Penelitian lain yang dilakukan oleh Abduh *et al.* (2025) menunjukkan bahwa pencampuran *egg white powder* dan Mocaf pada pao dapat meningkatkan kadar protein sebanyak 10,81% hingga 11,17% dan meningkatkan ekspansi volume adonan hingga 33,40% setelah pengukusan. Protein pada putih telur memiliki kemampuan dalam membentuk jaringan protein. Pembentukan jaringan tersebut berpotensi meningkatkan kemampuan adonan dalam menahan deformasi. Penelitian oleh Bai *et al.* (2022) mengenai penambahan EWP pada produk mi menunjukkan nilai  $G'$  dan  $G''$  meningkat seiring peningkatan komposisi EWP, yang mengindikasikan mi memiliki sifat yang lebih kokoh akibat kandungan protein yang lebih tinggi dalam EWP.

Meskipun penelitian sebelumnya mengenai penggunaan WPI dan EWP sebagai sumber protein pada tepung komposit berbasis Mocaf telah dilakukan,

informasi mengenai perubahan sifat viskoelastis tepung komposit yang ditunjukkan melalui *storage modulus* ( $G'$ ), *loss modulus* ( $G''$ ), *loss factor* ( $\tan \delta$ ), serta perilaku aliran berdasarkan *shear rate* masih terbatas. Keberadaan dan karakteristik protein dapat memengaruhi sifat reologi melalui interaksi protein, air, dan pati. Perbedaan karakteristik protein WPI dan EWP menyebabkan mekanisme pembentukan jaringan yang dihasilkan dapat berbeda. Sehingga perubahan sifat viskoelastis dan *pasting properties* tepung komposit berbasis Mocaf yang dihasilkan juga berbeda. Selain itu, hubungan antara perubahan komposisi kimia akibat penambahan sumber protein dengan reologi dan *pasting properties* belum dijelaskan secara lengkap. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi terhadap sifat reologi dan karakteristik kimia tepung komposit berbasis Mocaf dengan penambahan WPI dan EWP untuk memperoleh informasi mengenai perubahan karakteristik tepung yang dihasilkan.

## 1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penambahan WPI dan EWP terhadap sifat reologi dan kimiawi dari tepung komposit berbasis Mocaf. Aspek yang dianalisis meliputi reologi, kadar bahan kering, kadar protein, kadar lemak, kadar abu, dan kadar serat pangan. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi mengenai sifat reologi tepung komposit Mocaf-WPI dan Mocaf-EWP sehingga dapat digunakan sebagai alternatif bahan baku produk bebas gluten di kemudian hari.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tepung Komposit**

Tepung merupakan bahan pangan setengah jadi yang berbentuk partikel halus untuk bahan baku pengolahan produk seperti mie, roti, atau *cookies*. Tepung terbuat melalui proses penggilingan atau penumbukan bahan pangan. Tepung dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu tepung tunggal dan tepung komposit. Tepung tunggal merupakan tepung yang terbuat dari satu jenis bahan pangan seperti sereal dan umbi-umbian. Sedangkan tepung komposit merupakan tepung yang terdiri dari dua atau lebih bahan pangan yang bertujuan untuk menggantikan terigu sebagian atau seluruhnya (Hidayat *et al.*, 2020).

Tepung komposit dapat dihasilkan dari umbi-umbian, sereal, atau kacang-kacangan, baik antara tepung terigu dengan non terigu, ataupun antara tepung-tepung non terigu yang berbeda (Syaiful *et al.*, 2022). Tepung komposit dibuat untuk mendapatkan karakteristik bahan yang diinginkan dan diolah menjadi produk yang bersifat fungsional tertentu. Adanya tepung komposit dapat mengurangi ketergantungan akan tepung terigu dan pengembangan produk tepung komposit berbahan baku lokal (Aluge *et al.*, 2016).

#### **2.2 Mocaf (*Modified Cassava Flour*)**

Mocaf (modified cassava flour) merupakan tepung yang terbuat dari singkong yang diproses dengan modifikasi sel melalui proses fermentasi oleh bakteri asam

laktat (BAL). Melalui proses fermentasi, dapat mengubah sifat fungsional dari mocaf. Proses fermentasi dapat mengubah karakteristik berupa naiknya viskositas, gaya rehidrasi, dan kemampuan melarut yang menyebabkan mocaf memiliki karakter yang menyerupai tepung terigu (Gusriani *et al.*, 2021). Selain itu, proses fermentasi dapat menurunkan senyawa anti nutrisi yang terkandung pada singkong. Fermentasi menurunkan kadar HCN pada singkong sebesar 89,70%-93,42% dan menghasilkan tepung dengan total sianida sebesar 8,25-10,89 mg HCN ekivalen/kg bahan kering (Indrastuti *et al.*, 2018).

Pembuatan mocaf melalui proses fermentasi dapat dilakukan secara alami dan penambahan starter. Proses fermentasi secara alami dilakukan dengan cara merendam singkong selama 2-3 hari tanpa penambahan starter. Fermentasi juga dapat dilakukan dengan menggunakan starter bakteri asam laktat seperti *Lactobacillus Plantarum*. Mikroorganisme yang ditambahkan menyebabkan proses fermentasi menjadi lebih stabil dan terkontrol. Proses fermentasi pada singkong dapat menurunkan daya kembang dan kelarutan tapi meningkatkan penyerapan air (Indrastuti *et al.*, 2018). Setelah proses fermentasi, dilakukan proses pengeringan dalam pembuatan Mocaf dikarenakan mempunyai syarat kadar air maksimal sebesar 13% (Aisah *et al.*, 2021). Pembuatan Mocaf harus sesuai dengan syarat mutu yang telah ditetapkan, syarat mutu Mocaf dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Syarat Mutu Mocaf

| Starat Mutu                       | Jumlah                   |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Warna                             | Putih                    |
| Bau                               | Normal                   |
| Kadar air (%)                     | Maksimum 13              |
| Kadar abu (%)                     | Maksimum 1,5             |
| Serat kasar (%)                   | Maksimum 2               |
| HCN (%)                           | Maksimum 1               |
| Derajat putih (mg/kg)             | Minimum 87               |
| Derajat asam (mL NaOH)            | Maksimum 4               |
| Cemaran arsen (mg/kg)             | Maksimum 0,5             |
| Cemaran timbal (mg/kg)            | Maksimal 0,3             |
| Merkuri (mg/kg)                   | Maksimum 0,05            |
| Angka lempeng total (koloni/g)    | Maksimum $1 \times 10^6$ |
| <i>Escherichia coli</i> (APM/g)   | Maksimum 10              |
| <i>Bacillus cereus</i> (koloni/g) | $<1 \times 10^4$         |
| Kapang (koloni/g)                 | Maksimum $1 \times 10^4$ |

Sumber: Standar Nasional Indonesia, 2011

Mocaf didominasi dengan kandungan karbohidrat, terutama pati. Pati merupakan polisakarida yang tersusun atas dua komponen utama yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa memiliki struktur yang relatif linear dengan ikatan  $\alpha$ -1,4-glikosidik, sedangkan amilopektin memiliki struktur bercabang dengan ikatan  $\alpha$ -1,4-glikosidik dan titik percabangan  $\alpha$ -1,6-glikosidik (Abduh *et al.*, 2024). Proporsi amilosa dan amilopektin dapat memengaruhi sifat fungsional tepung, terutama kemampuan menyerap air, pembengkakan granula, serta karakteristik viskositas selama pemanasan. Pati Mocaf mengandung amilosa dan amilopektin sebesar 16,22% dan 83,78% (Putri *et al.*, 2022). Perbandingan amilosa dan amilopektin berperan penting dalam menentukan karakteristik gelatinisasi dan viskositas mocaf (Biduski *et al.*, 2018). Amilosa yang relatif linear dapat membentuk struktur gel dan berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan gel, sedangkan amilopektin berperan dalam pengembangan granula dan peningkatan viskositas selama pemanasan.

### 2.3 Whey Protein Isolate (WPI)

*Whey* merupakan hasil samping dalam pembuatan keju yang diperoleh dari proses koagulasi kasein susu. Protein dalam susu sendiri sebagian besar terdiri dari kasein (80%) sedangkan sisanya berupa *whey* (Moentamaria *et al.*, 2025). *Whey Protein Isolate* (WPI) merupakan bentuk protein dengan kemurnian tinggi yang berasal dari *whey*. WPI dihasilkan dari proses pemurnian *whey* melalui ultrafiltrasi, mikrofiltrasi, dan nanofiltrasi. Proses pemurnian tersebut juga bertujuan untuk mengurangi laktosa (<1%) dan lemak yang terkandung pada *whey* (Mehra *et al.*, 2021). *Whey Protein Isolate* mengandung 90-95% protein setelah proses penyaringan (Abish *et al.*, 2024). Protein whey dapat berkontribusi dalam pengembangan produk kue (Brião *et al.*, 2024). Mineral yang terkandung dalam 100 gram WPI yaitu 513 mg/100 gram kalium (K), 411 mg/100 gram kalsium (Ca), 167,2 mg/100 gram natrium (Na), dan 72 mg/100 gram magnesium (Mg) (Prabhakaran *et al.*, 2024).

Tabel 2. Komposisi Kimia *Whey Protein Isolate*

| Komposisi kimia       | Jumlah |
|-----------------------|--------|
| Kadar air (%)         | 6,04   |
| Kadar protein (%)     | 79,16  |
| Kadar lemak (%)       | 1,26   |
| Kadar abu (%)         | 2,97   |
| Kadar karbohidrat (%) | 10,57  |

Sumber: Data sekunder Penelitian Homogenitas Tepung komposit Mocaf-Protein Whey sebagai Bahan Baku Pao, 2024

Komponen utama yang terkandung dalam protein *whey* yaitu  $\beta$ -lactoglobulin ( $\beta$ -lg) dan  $\alpha$ -lactalbumin ( $\alpha$ -la) dengan proporsi 80% dari seluruh protein yang terdapat pada *whey* (Nurhartadi *et al.*, 2018). Protein WPI dapat mengalami proses

gelasi yaitu pembentukan jaringan tiga dimensi melalui denaturasi, agregasi, dan interaksi antar protein. WPI memiliki kemampuan berinteraksi dengan air melalui ikatan hidrogen dengan gugus hidrofilik molekul protein (Al-Jassar *et al.*, 2020). Ketika mengalami pemanasan, protein WPI akan mengalami denaturasi. WPI mulai mengalami denaturasi pada suhu 69°C (Perez *et al.*, 2022). Hal tersebut dapat mengekspos gugus hidrofobik dan gugus sulfhidril yang sebelumnya berada di dalam struktur protein (Finnegan *et al.*, 2024). Gugus hidrofobik tersebut memungkinkan adanya interaksi antar protein menyebabkan terbentuknya agregat yang berkontribusi terhadap pembentukan struktur jaringan protein. WPI mulai membentuk agregat antar protein pada suhu 73°C (Quevedo *et al.*, 2020). Protein WPI mengandung sedikit asam amino sistein yang memiliki gugus tiol atau sulfhidril pada rantainya. Gugus sulfhidril tersebut terdapat pada  $\alpha$ -lactalbumin dan  $\beta$ -laktoglobulin dapat membentuk agregat melalui pembentukan ikatan disulfida antar molekul protein (Feng *et al.*, 2021).

Selain berinteraksi antar molekul protein, protein WPI juga berinteraksi dengan pati dalam tepung komposit. Interaksi tersebut terjadi melalui ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik pada gugus protein dan pati (Liu *et al.*, 2021). Keberadaan WPI dalam sistem pati dapat menyebabkan terjadinya kompetisi air antara protein dan pati karena protein WPI memiliki gugus hidrofilik yang mampu mengikat air. Selain itu, WPI dapat membentuk lapisan di sekitar granula pati (Yang *et al.*, 2019). Sehingga dapat membatasi pembengkakan granula pati selama proses pemanasan. Hal tersebut dapat mempengaruhi sifat viskoelastis dan *pasting properties* tepung komposit. Oleh karena itu, penggunaan WPI sebagai tepung

komposit dalam pembuatan produk pangan bebas gluten dapat berpotensi mempengaruhi karakteristik reologi adonan.

## 2.4 Egg White Powder (EWP)

Putih telur merupakan bagian telur yang mengandung protein lebih banyak dibandingkan dengan kuning telur. Namun putih telur tidak memiliki masa simpan yang lama karena sifatnya yang mudah rusak. Oleh karena itu, untuk meningkatkan daya simpan, stabilitas, dan kemudahan penyimpanan putih telur kemudian dilakukan proses pengawetan. Salah satu jenis pengawetan yang dapat dilakukan adalah dengan teknologi pengeringan menjadi bubuk agar memiliki masa simpan yang lama karena kandungan kadar air yang rendah (Wulandari *and* Arif, 2022). Mineral yang terkandung dalam 100 gram bubuk putih telur yaitu 403 mg/100 gram natrium (Na), 163 mg/100 gram kalium (K), 11 mg/100 gram magnesium (Mg), dan 7,21 mg/100 gram kalsium (Ca), serta 0,10 mg/100 gram zat besi (Fe) (Budiyanto *et al.*, 2026) . Komposisi kimia *egg white powder* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi kimia *Egg White Powder*

| Komposisi kimia       | Jumlah |
|-----------------------|--------|
| Kadar air (%)         | 10,19  |
| Kadar protein (%)     | 77,40  |
| Kadar lemak (%)       | 0,53   |
| Kadar abu (%)         | 5,43   |
| Kadar karbohidrat (%) | 6,43   |

Sumber: (Abduh *et al.*, 2025)

Protein pada putih telur tersusun dari sebagian besar ovalbumin dan terdiri dari jenis protein lain seperti ovotransferrin, ovomucoid, dan ovomucin. Putih telur mengandung 54% ovalbumin, 12-13% ovotransferin, 11% ovomucoid, dan 1,5-

3,5% ovomucin (Li *et al.*, 2022). Komponen protein tersebut menentukan sifat fungsionalnya yaitu kemampuan menghasilkan buih dan kemampuan membentuk gel (Pramualkijja *et al.*, 2022). Ovalbumin berperan besar dalam pembentukan *foam*, sedangkan ovomucin berperan dalam meningkatkan viskositas dan stabilitas busa. Hal tersebut menjadikan putih telur memiliki keunggulan sebagai *foaming agent* dalam produk industri *bakery* (Evanuarini and Nidhal, 2024).

Protein utama pada EWP yaitu ovalbumin yang dapat mengalami perubahan struktur ketika mengalami pemanasan. Proses pemanasan menyebabkan denaturasi sehingga struktur protein yang semula terlipat mengalami *unfolding*. Ovalbumin memiliki suhu denaturasi sebesar 84°C (Liu *et al.*, 2017). Perubahan tersebut dapat mengekspos bagian molekul protein seperti gugus hidrofobik dan sulfhidril yang sebelumnya berada di dalam struktur protein dan memungkinkan terjadinya interaksi antar molekul protein. Pemanasan menyebabkan protein putih telur menggumpal melalui ikatan hidrofobik, dan ikatan hidrogen (Lechevalier *et al.*, 2017) . Interaksi tersebut menyebabkan pembentukan agregat dan pembentukan jaringan tiga dimensi (*protein network*) (Deleu *et al.*, 2016) . Protein EWP juga dapat berinteraksi dalam sistem pati. Pati membutuhkan air untuk hidrasi dan mengalami pembengkakan pati. Keberadaan protein EWP dapat memengaruhi interaksi air dan struktur pati. Selama pemanasan, denaturasi dan agregasi protein yang berlangsung bersamaan dengan gelatinisasi pati dapat menghasilkan struktur sistem yang lebih kompleks. Perubahan struktur tersebut dapat memengaruhi respons viskoelastis dan *pasting properties* tepung komposit yang dihasilkan.

Pembentukan awal gel pada putih telur melibatkan ovomucin pada suhu 56°C (Zhang *et al.*, 2025). Hal tersebut menyebabkan pembentukan gel yang lebih cepat pada putih telur. Protein ovomucin pada putih telur merupakan protein fibrilar yang termasuk dalam glikoprotein yaitu protein yang berinteraksi dengan karbohidrat. Glikoprotein pada ovomucin mengandung tinggi kadar karbohidrat. Ovomucin memiliki subunit  $\alpha$  yang relatif rendah karbohidrat sebesar 10-15% dan  $\beta$  yang kaya karbohidrat sebanyak 50-65% serta memiliki berat molekul yang tinggi (Li *et al.*, 2022). Karbohidrat tersebut terdapat dalam bentuk rantai glikan yang terikat secara kovalen pada struktur protein melalui proses glikosilasi. Struktur glikoprotein ini bertanggung jawab dalam membentuk kekentalan dan gel pada putih telur. Selain itu, ovomucin mengandung asam amino sistein yang memiliki gugus sulfhidril. Kandungan asam amino sistein pada putih telur memainkan peran penting dalam menstabilkan jaringan gel bersama melalui ikatan disulfida (Zhang *et al.*, 2021). Selama pemanasan, perubahan struktur protein dapat menyebabkan gugus sulfhidril menjadi lebih terekspos sehingga memungkinkan terjadinya pembentukan ikatan disulfida antarmolekul protein (Zhao *et al.*, 2024). Pembentukan ikatan disulfida tersebut mendorong agregasi protein dan pembentukan jaringan tiga dimensi yang berkontribusi terhadap kekuatan dan sifat viskoelastis gel EWP.

## 2.5 Kadar Bahan Kering

Kadar bahan kering (*dry matter content*) merupakan parameter penting yang menunjukkan proporsi komponen padatan dalam suatu bahan setelah seluruh

komponen air dihilangkan. Kadar bahan kering menggambarkan keseluruhan total zat padat. Padatan tersebut mengandung mineral dan bahan organik yang mencakup karbohidrat, protein, dan lemak (Nurhayati *et al.*, 2025). Kadar bahan kering dapat diukur dengan mengeringkan bahan lalu membandingkan massa setelah dikeringkan dengan massa total atau massa basah. Hasil pengukuran kadar bahan kering dapat dihitung dengan mengurangi 100% dengan persentase kadar air (Wachira *et al.*, 2021). Nilai kadar bahan kering dapat digunakan untuk mengetahui jumlah total padatan yang merupakan komponen penyusun bahan setelah hilangnya komponen air.

Kadar bahan kering dapat berfungsi untuk mengetahui karakter dari produk atau bahan pangan yang mendukung pengolahan dan penyimpanan. Tepung komposit yang mengandung kadar bahan kering yang semakin tinggi, maka akan memiliki masa simpan yang lebih lama. Kadar bahan kering yang cenderung rendah dapat menghambat penyimpanan sedangkan kadar bahan kering yang relatif tinggi akan memperpanjang masa simpan (Desnita *et al.*, 2015). Tingginya kadar bahan kering berbanding terbalik dengan kadar air, sehingga semakin tinggi kadar bahan kering maka semakin rendah kadar air. Kadar air yang tinggi dapat menurunkan kualitas selama penyimpanan akibat pertumbuhan mikroorganisme dan menurunkan kadar bahan kering (Li *et al.*, 2026). Bahan pangan dengan kadar bahan kering tinggi cenderung memiliki stabilitas yang lebih baik dan tidak mudah mengalami kerusakan.

## 2.6 Kadar Protein

Protein merupakan salah satu zat gizi makronutrien yang terdapat pada bahan pangan dan dibutuhkan oleh tubuh. Protein terbentuk dari unsur-unsur karbon yang terdiri dari karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan nitrogen (N). Molekul protein tersusun dari asam amino yang saling terhubung membentuk rantai panjang melalui ikatan peptida (Akmaliyah, 2025). Protein memiliki berbagai peran dalam tubuh manusia. Beberapa fungsi protein yaitu sebagai elemen struktural, sintesis hormon, enzim dan antibodi, serta terlibat dalam transportasi oksigen (Prayoga *et al.*, 2018). Selain itu, fungsi fungsional protein juga berkaitan dengan kemampuan fisikokimia produk pangan seperti kelarutan, kemampuan membentuk gel, emulsifikasi, pengikatan air, viskositas, serta pembentukan buih (*foaming*).

Pengujian kadar protein umumnya ditentukan dengan melalui metode kjeldahl. Prinsip metode kjeldahl ini yaitu mengukur total nitrogen dalam sampel lalu dikonversikan dengan faktor konversi 6,25 (Pakerti dan Purnama, 2022). Pengujian kadar protein dengan metode kjeldahl melalui beberapa tahapan yaitu destruksi, destilasi, dan titrasi. Proses destruksi dilakukan dengan dipecahnya sampel menggunakan asam sulfat pekat dengan bantuan katalis (Tiara *and* Efendi, 2025). Proses destruksi bertujuan untuk mengubah unsur nitrogen organik yang terdapat dalam sampel makanan menjadi  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Hasil destruksi yang mengandung ion amonium kemudian dinetralkan dengan basa kuat (NaOH) dan dilakukan destilasi. Proses destilasi bertujuan untuk memisahkan zat yang diinginkan dengan memecah amonium sulfat menjadi gas ammonia ( $\text{NH}_3$ ) (Romsiah dan Purnamasari, 2019). Gas amonia yang terbentuk kemudian

diuapkan dan dialirkan menuju labu penerima yang berisi larutan asam borat ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ). Dalam larutan tersebut, gas amonia ditangkap serta membentuk ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan ion borat ( $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ). Setelah itu hasil dari distilasi dilakukan proses titrasi untuk menghitung jumlah nitrogen total yang terkandung dalam sampel. Proses titrasi dilakukan menggunakan larutan asam standar, seperti asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) atau asam klorida ( $\text{HCl}$ ).

## 2.7 Kadar Lemak

Kadar lemak merupakan parameter penting yang digunakan untuk mengetahui total lemak yang terkandung pada bahan pangan. Lemak merupakan senyawa organik yang tidak larut dalam air dan larut dalam pelarut organik (Natesan and Kim, 2021). Lemak berperan sebagai sumber energi, pelarut vitamin lipofilik (A, D, E, K), serta berkontribusi terhadap tekstur, cita rasa, dan kestabilan produk pangan. Kadar lemak juga berperan dalam menentukan mutu dan stabilitas pangan. Bahan pangan yang memiliki kadar lemak tinggi cenderung lebih mudah mengalami ketengikan akibat terutama selama penyimpanan. Mocaf mengandung kadar lemak yang relatif rendah yaitu 0,71% (Wulandari *et al.*, 2023).

Pengujian kadar lemak dapat dilakukan dengan menggunakan metode *soxhlet*. Metode tersebut menganalisis kadar lemak dengan cara mengekstrak lemak menggunakan pelarut organik seperti heksana, petroleum eter, dan dietil eter. Prinsip kerja dari metode *soxhlet* yaitu sampel lemak kering diekstraksi secara terus menerus dengan jumlah pelarut yang tetap (Stefanie *et al.*, 2023). Pelarut n-heksana umumnya lebih sering dipilih untuk pengujian kadar lemak dengan metode *soxhlet*

karena kemampuannya yang tinggi dalam melarutkan lemak dari bahan pangan (Prasetyo dan Wahyuni Maharani, 2024). Lemak tergolong senyawa non polar dan pelarut n-heksana juga termasuk senyawa non polar. Kesamaan sifat polar tersebut menyebabkan lemak dapat diekstraksi ke dalam n-heksana (Ariani *et al.*, 2024). Setelah proses ekstraksi selesai, sampel dikeringkan dalam oven suhu 100°C dan dikeringkan dalam desikator lalu ditimbang untuk diketahui kadar lemaknya.

## **2.8 Kadar Abu**

Kadar abu merupakan kadar residu dari mineral yang tidak dapat terbakar dari suatu bahan. Kadar abu digunakan sebagai indikator kandungan total mineral dalam bahan pangan, seperti kalsium, kalium, magnesium, natrium, dan fosfat. Penentuan kadar abu pada tepung bertujuan untuk mengetahui banyaknya kandungan mineral, di mana semakin tinggi kadar abu maka semakin rendah kualitas dari tepung terigu (Tahar *et al.*, 2017). Sebaliknya, semakin rendah kadar abu maka semakin tinggi kestabilan adonan tepung terigu (Sabir, 2020). Penetapan kadar abu juga bertujuan untuk menilai kemurnian suatu bahan, karena tingginya kadar abu menunjukkan adanya kontaminasi logam, tanah, atau kotoran lain yang tidak diinginkan. Kadar abu pada Mocaf umumnya relatif rendah yang menunjukkan tingkat kemurnian tepung dan rendahnya kontaminasi bahan anorganik. Mocaf pada varietas Adira mengandung kadar abu sebanyak 0,31-0,51% (Seveline *et al.*, 2020).

Pengujian kadar abu dilakukan dengan cara menguapkan kandungan air dan kandungan lainnya dengan proses pembakaran pada suhu yang sangat tinggi. Suhu

yang sangat tinggi tersebut menyebabkan zat organik pada tepung akan terbakar dan hanya menyisakan sisa berupa abu. Pengujian kadar abu umumnya menggunakan metode tanur pada suhu 550°C (Pangestuti dan Darmawan, 2021). Metode tanur dapat menguapkan air dan bahan volatil lain lalu membakar zat organik hingga menghasilkan CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan N<sub>2</sub>. Prinsip kerja metode tanur yaitu mengoksidasi semua zat organik yang terkandung pada bahan dengan suhu tinggi sekitar 500-600°C lalu dilakukan penimbangan pada zat yang akhir pengabuan (Rahmawati *et al.*, 2015).

## 2.9 Kadar karbohidrat

Kadar karbohidrat merupakan parameter yang menunjukkan jumlah total senyawa karbohidrat dalam bahan pangan meliputi pati, gula sederhana, serat pangan, serta komponen polisakarida lain. Karbohidrat dibutuhkan oleh tubuh sebagai sumber energi utama dan berperan dalam metabolisme tubuh. Karbohidrat umumnya banyak ditemukan dalam kadar yang banyak pada sereal, umbi-umbian, dan tepung-tepungan. Mocaf umumnya mengandung banyak kadar karbohidrat. Kadar karbohidrat pada mocaf yang menggunakan varietas Adira yaitu berkisar 87,99%-91,59% (Seveline *et al.*, 2020). Kadar karbohidrat sangat berkaitan dengan karakteristik fisik, tekstur, dan nilai gizi produk pangan.

Kadar karbohidrat dapat ditentukan menggunakan metode *by difference*. Metode ini digunakan secara luas karena relatif mudah, cepat, dan tidak memerlukan analisis khusus terhadap senyawa karbohidrat secara langsung. Karbohidrat yang diukur secara *by difference* merupakan gambaran karbohidrat

setelah dikurangi kadar air, lemak, protein, dan abu (Puspaningtyas *et al.*, 2019). Kadar karbohidrat dengan metode tersebut dilakukan dengan mengurangkan 100% dengan total dari kadar air, lemak, protein, dan abu. Metode *by difference* hanya mengukur total karbohidrat, bukan bentuk karbohidrat secara spesifik seperti pati dan serat.

## 2.10 Kadar Serat Pangan Total

Serat pangan (*dietary fiber*) merupakan komponen karbohidrat kompleks yang tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan manusia. Komponen serat pangan umumnya terdiri dari selulosa, hemiselulosa, pektin, lignin, beta-glukan, dan oligosakarida. Serat memiliki peran penting dalam tubuh seperti mendukung kesehatan pencernaan, penanggulangan diabetes, menurunkan darah tinggi dan mengurangi tingkat kolesterol. Dalam bahan pangan seperti tepung, serat dapat memengaruhi kemampuan penyerapan air, tekstur adonan, stabilitas pemanasan, daya pembengkakan, dan kelarutan. Nilai kapasitas penyerapan air pada Mocaf sebesar 96% lebih tinggi daripada *low protein wheat flour* sebesar 56%, yang disebabkan karena kehadiran gugus hidroksil dari serat kasar pada singkong (Abduh *et al.*, 2024). Hal tersebut karena kadar serat pada mocaf lebih banyak daripada kadar serat pada tepung terigu (Nabillah *et al.*, 2025).

Penentuan serat pangan umumnya menggunakan metode enzimatik gravimetri. Metode ini bertujuan untuk mengukur kadar serat pangan total dengan menjumlahkan fraksi serat pangan larut maupun serat pangan tidak larut. Prinsip dasar metode ini adalah pemecahan serat pada bahan secara bertahap menggunakan

enzim-enzim pencernaan yang menyerupai proses fisiologis di tubuh. Enzim yang digunakan yaitu enzim  $\alpha$ -amilase, enzim protease, dan enzim amyloglukosidase (Idayati *et al.*, 2019). Enzim amilase berfungsi untuk memecah glukosa, protease untuk memecah protein, dan amyloglukosidase untuk menghidrolisis sisa pati menjadi glukosa. Setelah proses enzimatik, residu serat dipisahkan kemudian dikeringkan hingga berat konstan dan ditimbang.

Keberadaan sumber protein hewani seperti WPI dan EWP pada tepung komposit berbasis Mocaf dapat memengaruhi hasil dari pengujian kadar serat pangan total. Metode enzimatik gravimetri menggunakan enzim protease untuk menghidrolisis protein. Protein yang tidak dapat terhidrolisis secara sempurna dapat tertinggal sebagai residu dan ikut terhitung sebagai bagian dari serat pangan. Residu yang telah dikeringkan lalu residu protein dan abu dikurang dengan bobot residu untuk memperoleh kadar serat pangan total (McCleary, 2023). Dengan demikian, sebagian protein hewani yang terdapat dalam residu dapat menyebabkan nilai serat pangan terukur menjadi lebih tinggi dan tidak seluruhnya merepresentasikan komponen serat yang berasal dari polisakarida.

## **2.11 Reologi**

Reologi merupakan ilmu yang mempelajari perubahan bentuk atau deformasi dan aliran suatu bahan ketika diberi gaya atau tekanan tertentu (Yazar, 2023). Dalam industri pangan, reologi menjadi parameter penting untuk memahami tekstur dan stabilitas fisik, terutama pada tepung karena berhubungan langsung dengan kualitas adonan, kemampuan proses, dan karakteristik hasil akhir produk. Komponen utama

reologi mencakup viskositas, elastisitas, dan plastisitas (Erturk *et al.*, 2023). Sifat reologi pada tepung komposit dipengaruhi oleh komposisi kimia dari bahan yang digunakan seperti protein, pati, serat lemak, dan air serta dipengaruhi oleh ukuran partikel, struktur granula pati, serta kemampuan menyerap air.

Parameter utama yang sering diukur pada pengujian reologi meliputi *shear stress* ( $\tau$ ), *shear rate* ( $\dot{\gamma}$ ), viskositas ( $\eta$ ), modulus elastik ( $G'$ ), *modulus viskos* ( $G''$ ), dan *yield stress* ( $\sigma_y$ ). Modulus elastik atau *storage modulus* ( $G'$ ) menunjukkan respons elastisitas bahan pangan sedangkan modulus viskos atau *loss modulus* ( $G''$ ) menunjukkan bagian energi yang hilang menjadi panas. Sifat reologi larutan menunjukkan kecenderungan sifat struktural viskos ketika  $G' \leq G''$  terjadi ketika frekuensi sudut ( $\omega$ ) meningkat (Abouzeid *et al.*, 2025). Rasio antara  $G''$  dan  $G'$ , disebut *loss tangent* ( $\tan \delta$ ), digunakan untuk melihat perilaku bahan lebih mendekati sifat padat atau sifat cair. Jika  $\tan \delta$  kurang dari 1 ( $\delta < 1$ ), bahan lebih dominan bersifat padat (*solid-like*). Hal ini ditunjukkan oleh nilai  $G'$  yang lebih besar dibandingkan  $G''$ , menandakan sifat elastis lebih dominan daripada sifat cairnya (Kaczmarska *et al.*, 2024).

Viskositas merupakan ukuran kekentalan yang diperoleh dengan membandingkan antara *shear stress* dan *shear rate*. *Shear stress* adalah besar gaya geser yang bekerja setiap satuan luas bahan, sedangkan *shear rate* ukuran suatu bahan mengalami perubahan bentuk akibat gaya tersebut. Bahan dapat diklasifikasikan menjadi fluida Newtonian dan non-Newtonian. Fluida Newtonian merupakan cairan yang memiliki viskositas yang konstan dan tidak berubah ketika diberikan gaya geser (Martínez-Padilla, 2023). Sedangkan fluida non-Newtonian

merupakan bahan yang memiliki viskositas yang berubah tergantung pada gaya geser (*shear rate*) yang diberikan. Perilaku non-Newtonian berdasarkan respons viskositas terhadap peningkatan *shear rate* secara umum dapat dibedakan menjadi *shear-thinning* dan *shear-thickening*. Pada perilaku *shear-thinning* atau pseudoplastik, viskositas tampak menurun ketika *shear rate* meningkat (Li *et al.*, 2021). Sebaliknya, pada perilaku *shear-thickening* atau dilatan, viskositas tampak meningkat ketika *shear rate* meningkat.

## 2.12 Pasting Properties

*Pasting properties* merupakan perubahan fisik dan reologi yang terjadi pada bahan berbasis pati yang terjadi selama pemanasan hingga pendinginan. Perubahan *pasting properties* berkaitan erat dengan proses gelatinisasi. Selama gelatinisasi, granula pati menyerap air dan membengkak, sehingga struktur kristalin internal meleleh dan menyebabkan granula tersebut terurai (Balet *et al.*, 2019). Ketika suatu adonan tepung dipanaskan, air akan masuk ke dalam granula pati sehingga granula akan mengembang dan viskositas meningkat. Peningkatan viskositas tersebut berlangsung selama pemanasan hingga mencapai *peak viscosity*, merupakan viskositas maksimum yang dicapai selama pemanasan (Putri *et al.*, 2022). Setelah mencapai *peak viscosity*, fase *holding time* pada suhu tinggi dengan disertai pengadukan menyebabkan granula pati yang membengkak mengalami kerusakan sehingga viskositas menurun hingga mencapai *trough viscosity*.

Parameter lain dalam *pasting properties* yaitu *breakdown viscosity*. *Breakdown viscosity* merupakan selisih antara *peak viscosity* dan *trough viscosity* yang menunjukkan tingkat kerusakan granula pati selama pemanasan dan

pengadukan (Yildiz *et al.*, 2013). Nilai *breakdown viscosity* yang tinggi menunjukkan bahwa granula pati lebih mudah mengalami kerusakan selama proses pemanasan. Sebaliknya, nilai *breakdown viscosity* yang rendah menunjukkan bahwa granula pati memiliki ketahanan dan stabilitas yang tinggi. Setelah tahap pemanasan, pasta pati mengalami proses pendinginan yang menyebabkan viskositas kembali meningkat. Peningkatan tersebut terjadi karena molekul pati yang sebelumnya terdispersi mulai mengalami retrogradasi. Retrogradasi merupakan penyusunan kembali granula pati yang telah terdispersi selama pendinginan (Putri *et al.*, 2022). Viskositas pada akhir tahap pendinginan disebut *final viscosity*, sedangkan peningkatan viskositas dari *trough viscosity* menuju *final viscosity* disebut *setback viscosity*. Nilai *setback viscosity* diperoleh dari selisih antara *final viscosity* dan *trough viscosity*. Nilai *setback viscosity* yang lebih rendah mengindikasikan kecenderungan yang lebih rendah bagi granula pati untuk mengalami retrogradasi (Balet *et al.*, 2019).

*Pasting properties* sebagai sifat fisik dapat diukur menggunakan *rheometer*. Pengujian *pasting properties* digunakan untuk mempelajari profil gelatinisasi pati, termasuk suhu pasta, puncak viskositas, *breakdown*, *setback*, dan *final viscosity*. Hal tersebut sangat penting karena dapat menjelaskan perubahan struktur pati selama pemanasan dan pendinginan. Menurut penelitian dari Adeyanju *et al.* (2024) menyatakan bahwa nilai viskositas *setback* pada mocaf lebih rendah daripada tapioka yaitu 1466 cP, yang menunjukkan bahwa mocaf lebih lambat dalam retrogradasi dibandingkan dengan tapioka. Dalam pengembangan tepung komposit berbasis Mocaf sebagai alternatif tepung terigu, karakteristik *pasting properties*

tepung terigu dapat digunakan sebagai salah satu bahan pembanding. Nilai *pasting properties* tepung terigu yang dilaporkan dalam beberapa penelitian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. *Pasting Properties* Tepung Terigu

| Jenis tepung                 | <i>Pasting temperature</i><br>(°C) | <i>Peak viscosity</i><br>(cP) | <i>Breakdown viscosity</i><br>(cP) | <i>Final viscosity</i><br>(cP) | <i>Setback viscosity</i><br>(cP) |
|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Tepung terigu protein rendah | 83,15                              | 2684                          | 1121                               | 2607                           | 1044                             |
| Tepung terigu protein tinggi | 84,85                              | 2491                          | 975                                | 2578                           | 1062                             |

Sumber: (Abduh *et al.*, 2024)