

## Mikroenkapsulasi ekstrak keratin bulu ayam broiler (*Gallus domesticus*) untuk fortifikasi susu bubuk

*Microencapsulation of broiler chicken feather (Gallus domesticus) keratin extract for fortification of powdered milk*

Mukhammad Sholeh Khuddin<sup>1</sup>, Rizka Ajeng Karimah<sup>1</sup>, Nadifa Zurotul Ummah<sup>1</sup>,  
Khoirin Maghfiroh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prodi Ilmu dan Teknologi Pangan, Pertanian, Yudharta Pasuruan, Indonesia

\*Email korespondensi: [khoirin@yudharta.ac.id](mailto:khoirin@yudharta.ac.id)

### Informasi artikel:

Dikirim: 10/09/2024; disetujui: 15/03/2025; diterbitkan: 30/03/2025

### ABSTRACT

*In Indonesia, the use of chicken feather waste is currently limited to animal feed, even though chicken feathers contain rich nutritional value, such as keratin. With the application of appropriate technology, chicken feathers have the potential as a functional food ingredient. Currently, in Indonesia, keratin from chicken feathers is usually used in cosmetic products. This research aims to change the status of chicken feathers from waste or animal feed to food additives. Through experimental methods with Ft-ir, SEM, Psa testing and also food safety testing with XRF. Keratin is an amino acid. And in the wave number range 2000-3600 cm<sup>-1</sup>, which is an alcohol peptide bond (O-H). Also found in the wave number range 1480-1575 cm<sup>-1</sup> which is the amide II peptide bond (NH bending), and in the wave number range 1229-1301 cm<sup>-1</sup> which is the amide III peptide bond (CN Stretching). This indicates that samples A and B both identified the presence of amino acids including cysteine, arginine, lysine, serine and threonine. Thus, the results of this study provide an in-depth understanding of the characteristics of keratin in the context of broiler chicken feathers and the potential and optimization of fortification deficiencies in powdered milk.*

**Keywords:** *keratin, chicken feathers, fortified milk*

### ABSTRAK

Di Indonesia, penggunaan limbah bulu ayam saat ini terbatas pada pakan ternak, padahal bulu ayam mengandung nilai gizi yang kaya, seperti keratin. Dengan penerapan teknologi yang tepat, bulu ayam memiliki potensi sebagai bahan pangan fungsional. Saat ini, di Indonesia, keratin dari bulu ayam biasanya digunakan dalam produk kosmetik. Penelitian ini bertujuan untuk mengubah status bulu ayam dari limbah atau pakan ternak menjadi bahan tambahan pangan. Melalui metode eksperimental dengan pengujian FTIR, SEM, Psa dan juga uji keamanan pangan dengan XRF. Keratin adalah asam amino. Serta pada rentang bilangan gelombang 2000-3600 cm<sup>-1</sup>, yang merupakan ikatan peptida alkohol (O-H). Juga terdapat pada rentang bilangan gelombang 1480-1575 cm<sup>-1</sup> yang merupakan ikatan peptida amida II (NH bending), dan pada rentang bilangan gelombang pada 1229-1301 cm<sup>-1</sup> yang merupakan ikatan peptida amida III (CN Stretching). Ini mengindikasikan bahwa sampel A dan B sama-sama teridentifikasi keberadaan asam amino diantaranya yaitu sistein, arginin, Lisin, Serin dan Treonin. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan pemahaman mendalam tentang karakteristik keratin dalam konteks bulu ayam broiler

dan potensi serta optimalisasi definisi fortifikasi pada susu bubuk.

**Kata kunci** : keratin, bulu ayam, susu terfortifikasi

## PENDAHULUAN

Daging ayam broiler kaya akan protein, lemak, mineral, dan vitamin penting yang mendukung metabolisme tubuh dan memenuhi kebutuhan gizi masyarakat. Menurut data statistik pada tahun 2019, konsumsi daging ayam broiler mencapai 4,94 kg per orang per tahun. Produksi ayam broiler di Provinsi Jawa Timur menunjukkan peningkatan dalam beberapa tahun terakhir. Pada tahun 2016, produksinya mencapai 219.833 ekor, dan pada tahun 2018, produksinya naik menjadi 480.309 ekor (Rukmini *et al.*, 2019).

Dalam industri pemotongan ayam saat ini, penanganan limbah bulu ayam menjadi krusial karena berdampak besar pada pencemaran lingkungan. Untuk mengurangi pencemaran tersebut maka harus diterapkan prinsip zero waste untuk menjaga pelestarian lingkungan, agar berfokus pada mengurangi dampak lingkungan dengan memanfaatkan limbah peternakan secara efisien (Apriyanti, 2018).

Di Indonesia, penggunaan limbah bulu ayam saat ini terbatas pada pakan ternak, padahal bulu ayam mengandung nilai gizi yang kaya, seperti keratin. Keratin terbentuk dari dua molekul asam amino sistein dan memberikan sifat mekanik yang kuat, ketahanan terhadap panas, serta perlindungan terhadap degradasi fisikokimia dari lingkungan yang baik (Andriani *et al.*, 2024).

Dengan penerapan teknologi yang tepat, bulu ayam memiliki potensi sebagai bahan pangan fungsional. Saat ini, di Indonesia, keratin dari bulu ayam biasanya digunakan dalam produk kosmetik. Penelitian ini bertujuan untuk mengubah status bulu ayam dari limbah atau pakan ternak menjadi bahan tambahan pangan dengan nilai gizi yang tinggi. Sehingga aplikasi pemrosesan bulu ayam secara luas akan berdampak positif pada ketersediaan sumber protein dan pelestarian lingkungan.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan dua sampel perlakuan. Penelitian dilaksanakan dalam dua tahap utama: (1) ekstraksi keratin dari bulu ayam menggunakan metode hidrolisis dan proses mikroenkapsulasi, serta (2) pengujian karakteristik hasil mikroenkapsulasi dan kualitas produk susu yang difortifikasi.

### Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah bulu ayam broiler (\**Gallus domesticus*\*) yang diperoleh dari tempat pemotongan ayam di wilayah Jawa Timur. Bahan lain yang digunakan meliputi:

1. Susu sapi segar yang telah dipasteurisasi
2. Gum Arabic (GA) sebagai bahan penyalut
3. Maltodekstrin (MD) sebagai bahan penyalut
4. Carboxymethyl Cellulose (CMC) sebagai bahan pengikat, penstabil emulsi, dan pengental
5. Bahan kimia untuk proses hidrolisis meliputi NaOH, HCl, dan petroleum eter
6. Akuades
7. Bahan kimia untuk analisis meliputi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, katalis selenium, NaOH 40%, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 2%, dan indikator metil merah

### Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Alat-alat gelas laboratorium (gelas beaker, gelas ukur, pipet volume, pipet tetes, erlenmeyer)
2. Timbangan analitik dengan ketelitian 0,0001 g
3. Hot plate dan magnetic stirrer
4. pH meter digital Lutron PH-201
5. Oven pengering Memmert UN55
6. Freeze dryer Labconco FreeZone 4.5
7. Homogenizer Ultra-Turrax T25

8. Spektrofotometer Inframerah Transformasi Fourier (FT-IR) Shimadzu IRPrestige-21
9. Scanning electron Microscope (SEM) JEOL JSM-6510LA
10. Particle Size Analyzer (PSA) Malvern Zetasizer Nano ZS
11. X-Ray Fluorescence (XRF) Bruker S2 Ranger
12. Peralatan untuk uji kimia (destilator Kjeldahl Buchi K-350, furnace Thermolyne F6000, oven Memmert UN55, desikator Pyrex)
13. Sonicator Branson 2510
14. Alat pendingin

### Prosedur Penelitian

- A. Ekstraksi Keratin dan Mikroenkapsulasi
- ◆ Preparasi Bulu Ayam: Bulu ayam dicuci bersih, dikeringkan, dan dipotong kecil-kecil untuk memperbesar luas permukaan.
  - ◆ Hidrolisis Keratin: Bulu ayam dihidrolisis menggunakan metode sokletasi dan maserasi dengan variasi suhu dan waktu. Proses hidrolisis melibatkan penggunaan larutan NaOH pada suhu 70°C selama 3 jam, kemudian dinetralkan dengan HCl hingga pH netral untuk mendapatkan ekstrak keratin.
  - ◆ Mikroenkapsulasi: Ekstrak keratin dimikroenkapsulasi menggunakan dua formula penyalut:
  - ◆ Sampe A: Ekstrak keratin disalut dengan Gum Arabic dan Maltodekstrin dengan perbandingan 1:1
  - ◆ Sampe B: Ekstrak keratin disalut dengan Gum Arabic, Maltodekstrin, dan penambahan CMC dengan perbandingan 1:1:0,5
  - ◆ Fortifikasi pada Susu: Mikrokapsul keratin fortifikasi pada susu yang telah dipasteurisasi dengan konsentrasi 2% (b/v), kemudian dikeringkan menggunakan freeze dryer untuk mendapatkan susu bubuk.

### Metode Pengujian

#### A. Uji FT-IR

Uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) dilakukan untuk mengidentifikasi struktur kimia dan gugus fungsi dalam keratin. Sampe diukur pada bilangan gelombang 4000-500  $\text{cm}^{-1}$  menggunakan spektrofotometer FT-IR Shimadzu IRPrestige-21. Analisis spektrum dilakukan untuk mengidentifikasi keberadaan ikatan peptida dan asam amino karakteristik keratin, termasuk ikatan O-H, N-H, dan C-N.

#### B. Uji SEM

Pengamatan morfologi partikel dilakukan menggunakan Scanning electron Microscope (SEM) JEOL JSM-6510LA. Sampai bubuk mikropartikel dilapisi dengan lapisan emas tipis untuk meningkatkan konduktivitas. Pengamatan dilakukan pada perbesaran 3000× untuk menganalisis bentuk dan karakteristik permukaan mikropartikel keratin pada kedua sampe.

#### C. Uji PSA

Particle Size Analyzer (PSA) Malvern Zetasizer Nano ZS digunakan untuk menentukan ukuran partikel mikroenkapsulasi berdasarkan prinsip light scattering (pemendaran cahaya) pada suhu 25°C. Sampe disonikasi terlebih dahulu, kemudian 1 ml suspensi sampe dimasukkan ke dalam fluid tank yang telah berisi 10 ml aquades sebagai baseline. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan rata-rata diameter partikel.

#### D. Uji XRF

X-Ray Fluorescence (XRF) Bruker S2 Ranger digunakan untuk mengidentifikasi kandungan unsur-unsur logam pada sampel susu fortifikasi. Analisis dilakukan untuk menentukan kandungan mineral dan memastikan tidak adanya kontaminasi logam berat yang berbahaya sesuai standar SNI 01-2970-2006. Pengujian dilakukan dengan metode spektrometri emisi sinar-X untuk mendeteksi unsur-unsur seperti K, Ca, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo, Re, dan Au.

#### E. Uji Kimia

Uji kimia dilakukan untuk mengevaluasi kualitas susu bubuk fortifikasi keratin, meliputi:

- Uji Kadar Protein: Analisis kadar protein dilakukan menggunakan metode Kjeldahl sesuai SNI 01-2891-1992. Metode ini terdiri dari tiga tahapan: destruksi, destilasi, dan titrasi. Sampel didestruksi dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat dan katalis selenium, kemudian di destilasi dan dititrasi untuk menghitung kadar nitrogen total yang dikonversi menjadi kadar protein dengan faktor konversi 6,25.
- Uji Kadar Air: Analisis kadar air dilakukan menggunakan metode gravimetri dengan pengeringan dalam oven pada suhu 105°C hingga berat konstan sesuai SNI 01-2891-1992. Pengurangan berat sebelum dan sesudah pengeringan digunakan untuk menghitung persentase kadar air.
- Uji Kadar Abu: Analisis kadar abu dilakukan dengan metode pengabuan kering pada suhu 550°C selama 5-8 jam sesuai SNI 01-2891-1992. Sampel diabukan dalam furnace dan berat abu yang tersisa digunakan untuk menghitung persentase kadar abu yang mewakili kandungan mineral total.

### Analisis data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan disajikan dalam bentuk tabel serta grafik untuk memperjelas pola, distribusi, serta hubungan antar variabel yang diteliti. Perbandingan dilakukan antara sampel A (Gum Arabic dan Maltodekstrin) dan sampel B (Gum Arabic, Maltodekstrin, dan CMC) guna mengevaluasi pengaruh penambahan CMC terhadap karakteristik mikropartikel, stabilitas produk, serta kualitas sensorik susu fortifikasi. Parameter utama yang dianalisis meliputi ukuran partikel, efisiensi enkapsulasi, tingkat kelarutan, dan daya tahan terhadap kondisi penyimpanan.

Selain itu, hasil analisis dibandingkan dengan standar SNI 2970:2015 untuk menilai kelayakan produk sebagai bahan pangan.

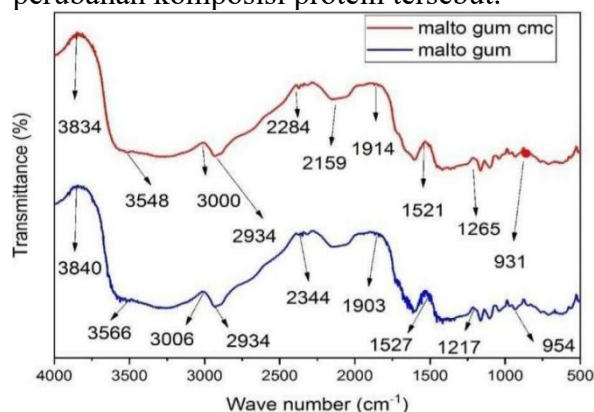
Evaluasi ini bertujuan memastikan bahwa susu fortifikasi yang dihasilkan memenuhi kriteria kualitas dan keamanan yang telah ditetapkan, sehingga layak dikonsumsi oleh masyarakat dan dapat berkontribusi dalam penyediaan produk bernutrisi yang stabil serta berkualitas tinggi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik mikropartikel keratin bulu ayam

#### Uji FT-IR

Pengukuran FTIR digunakan untuk mengidentifikasi struktur kimia dalam keratin, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1 (Cardamone 2010). Dalam spektrum FT-IR geombang biru (Sampe A Gum Malto), adanya serapan pada rentang 3000-3600 cm<sup>-1</sup>. Ini mengindikasikan bahwa pita pada 3548, 3000 cm<sup>-1</sup> terkait dengan ikatan peptida (O-H Stretching). Selain itu, kita dapat mengamati bilangan gelombang pada 2934, 2284, dan 2159 cm<sup>-1</sup>, yang merupakan ikatan peptida alkohol (O-H). Selanjutnya, juga terdapat bilangan gelombang pada 1521 yang merupakan ikatan peptida amida II (NH bending), dan bilangan gelombang pada 1269 yang merupakan ikatan peptida amida III (CN Stretching). Sampel uji diukur pada bilangan gelombang antara 4000-500 cm<sup>-1</sup>. Spektra FTIR yang dihasilkan menunjukkan puncak-puncak serapan bilangan gelombang dari sampel uji (Yan *et al.*, 2008). Ini memberikan informasi penting tentang struktur protein keratin dan perubahan komposisi protein tersebut.



Gambar 1. Uji FT-IR

Gugus fungsi senyawa organik CN. Pada bilangan 2934, 2284, dan 2159  $\text{cm}^{-1}$ , terdapat gugus fungsi alkohol (O-H), sementara pada serapan rentang 3000-3600  $\text{cm}^{-1}$ , yaitu pita pada 3548, 3000  $\text{cm}^{-1}$  terdapat gugus fungsi asam karboksilat (-OH). Sedangkan, ditunjukkan dalam Gambar 1. Dalam spektrum FT-IR gelombang merah (Sampe B Gum Malto CMC), adanya serapan pada rentang 3000-3600  $\text{cm}^{-1}$ . Ini mengindikasikan bahwa pita pada 3566, 3006  $\text{cm}^{-1}$  terkait dengan ikatan peptida (O-H Stretching). Selain itu, kita dapat mengamati bilangan gelombang pada 2934, 2344  $\text{cm}^{-1}$ , yang merupakan ikatan peptida alkohol (O-H).

Hasil pembacaan analisis spektrum FTIR pada sampe B panjang gelombangnya dapat ditentukan dengan menggunakan senyawa yang terbuat dari karboksimetil selulosa, dapat dilihat pada gambar 1. Selulosa memiliki gugus hidroksil (-OH), yang merupakan ciri khas. Gugus (-OH) menurut (Safitri *et al.* 2017) berada pada kisaran bilangan gelombang 3300-3500  $\text{cm}^{-1}$ . Berdasarkan hasil analisis gugus fungsi antara sampel A dan sampe B tidak berbeda jauh yaitu pada bilangan gelombang 3328  $\text{cm}^{-1}$  sampe A dan 3354  $\text{cm}^{-1}$  untuk sampai B dengan gugus fungsi -OH. Gugus hidrokarbon (C-H) berada pada kisaran 2800-2950  $\text{cm}^{-1}$ . Tidak ada perbedaan yang mencolok dari hasil FTIR, Kedua sampe

menunjukkan adanya ikatan peptida amida II dan III. Hanya saja, pada sampe Gum Malto CMC terdapat bilangan gelombang 1000-1200 menunjukkan adanya keberhasilan maltodextrin sebagai bahan pengoptimalan penyalut. Dengan demikian, bahwa sampe A dan B sama-sama teridentifikasi keberadaan asam amino diantaranya yaitu sistein, arginin, Glisin, Serin dan Treonin.

### Uji SEM (*scanning electron microscope*)

Jika dilihat dari hasil uji FT-IR, maka terlihat beberapa gugus fungsi dari protein keratin. memberikan sifat seperti komponen penyusun protein berserat. Berdasarkan pengujian gugus fungsi, keratin murni terlihat memiliki puncak (peak) yang lebih banyak yang muncul. Kemunculan banyak peak ini menunjukkan bahwa dalam keratin yang terbentuk terdapat banyak jenis ikatan. Dimana keratin merupakan suatu biopolimer yang mempunyai beberapa gugus fungsi dominan, seperti karbonil ester (C=O), ikatanpolimerik C-O, O-H, dan C-H. Prinsip pengujian FTIR menggunakan infrared yang melewati celah sampai, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampe. Sampe yang diujikan pada pengujian FTIR ini adalah ekstrak bulu ayam dengan larutan petroleum eter metode soxhletasi dan maserasi dengan variasi suhu dan waktu. (Handayania *et al.*, 2015).



Gambar 2. Uji SEM

Pengamatan morfologi partikel dilakukan dengan menggunakan alat Scanning electron Microscope (SEM). Pengamatan morfologi partikel dilakukan pada serbuk mikropartikel ekstrak kinang dengan variasi waktu (30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit) dan suhu (50°C, 60°C, dan 70°C) ultrasonikasi. Hasil pengamatan menggunakan alat SEM menunjukkan bahwa semua perlakuan menghasilkan bentuk yang tidak sferis atau tidak beraturan. Hal ini kemungkinan dikarenakan adanya pengaruh lingkungan luar dan proses cross-linking yang tidak sempurna. Kombinasi polimer kitosan dan natrium tripolifosfat berpengaruh terhadap karakteristik fisik mikropartikel (Pradana *et al.*, 2022). Berdasarkan hasil analisis SeM, Morfologi mikropartikel kedua sampe Susu Fortifikasi menunjukkan bentuk tidak beraturan dan persebaran yang kurang merata. Perlakuan Gum Malto memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan perlakuan Gum Malto CMC. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan zat penyalut mempengaruhi morfologi mikropartikel. Semakin banyak bahan penyalut akan menambah ukuran pada morfologi sampe. Mikropartikel adalah partikel yang mempunyai ukuran sebesar 1-1000  $\mu\text{m}$ . Mikropartikel dapat menjadi sistem penghantaran efektif untuk zat aktif yang dapat diberikan melalui oral, transdermal, intramuskular, intraperitoneal dan paru-paru. Mikropartikel mempunyai ukuran partikel yang kecil sehingga ekstrak mudah larut dan memiliki efisiensi penyerapan yang tinggi (Ratner *et al.*, 2020). Scanning electron Microscope (SeM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10- 3.000.000 kali, depth of field 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, depth of field yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. Gambar permukaan sampai bubuk

protein keratin diselidiki oleh SEM dari ukuran perbesaran 500 $\times$  sampai 6000 $\times$ .

### Uji PSA (*particle size analyzer*)

Tab 1. Grafik PSA Keratin A (MG) dan Keratin B (MG-CMC)

No.	Formulasi	Ukuran Mikropartikel ( $\mu\text{m}$ )
1	Malto Gum	184,93
2	Malto Gum CMC	196,90

PSA (Particle Size Analyzer) berdasarkan prinsip light scattering (pemendaran cahaya) pada suhu 25°C untuk menentukan ukuran partikel dan zeta potensial dari transfersom yang terbentuk. Sebagai baseline dimasukan 10 ml larutan aquades kedalam fluid tank. Sampai dimasukan sebanyak 1 ml ke dalam fluid tank. Pengukuran ini dilakukan sesudah sonikasi. Rata-rata diameter ukuran partikel pada mikrokapsul keratin A (MG) adalah 196,90 nanometer, sedangkan rata-rata diameter partikel pada mikrokapsul keratin B (MG-CMC) adalah 184,93 nanometer. Semakin tinggi konsentrasi lesitin cair melapisi permukaan maka semakin tebal lapisan yang terbentuk (Ji *et al.*, 2017). Hal ini sejalan dengan penelitian ini, semakin banyak enkapsulan akan semakin tinggi lapisan. Semakin kecil ukuran partikel maka akan mempermudah untuk menembus membran dan pembentuk vesikel yang digunakan yaitu fosfolipid 90H karena fosfolipid merupakan vesikel alami yang stabil dan merupakan molekul amfifilik dimana bersifat anionik, kationik dan netral.

### UJI XRF

Uji ini digunakan untuk mengidentifikasi kandungan unsur-unsur logam pada susu fortifikasi keratin A (Gum Malto) dan B (Gum Malto CMC) supaya dapat ditentukan berdasarkan kandungan unsur logam yang ada pada produk tersebut layak konsumsi atau tidak dan juga untuk mengetahui mineral yang terkandung dalam sampe. Mineral merupakan komponen penting dari hormon, enzim, dan jaringan

tubuh lainnya. Misalnya saja besi diperlukan untuk mensintesis hemoglobin dalam sel darah merah. Hemoglobin mentransfer oksigen dari paru-paru ke jaringan, sehingga tanpa zat besi, tubuh tidak dapat menggunakan oksigen yang kita hirup. Mineral dibagi menjadi, yaitu makro mineral (mineral utama) dan mikro mineral (mineral sekunder). Kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), natrium (Na), klorin (Cl), fosfor (P) dan belerang (S) termasuk ke dalam

makro mineral karena dibutuhkan dalam kuantitas yang lebih besar. Mineral yang termasuk ke dalam mikromineral adalah iodium (I), seng (Zn), selenium (Se), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), kobalt (Co), molibdenum (Mo), fluor (F), kromium (Cr) dan boron (B) yang perlu kita konsumsi dalam jumlah sedikit. Keduanya penting untuk kesehatan yang baik dan harus dikonsumsi sesuai dengan kebutuhan organisme (Silva *et al.* 2019).

Tab 2. Hasil Uji XRF

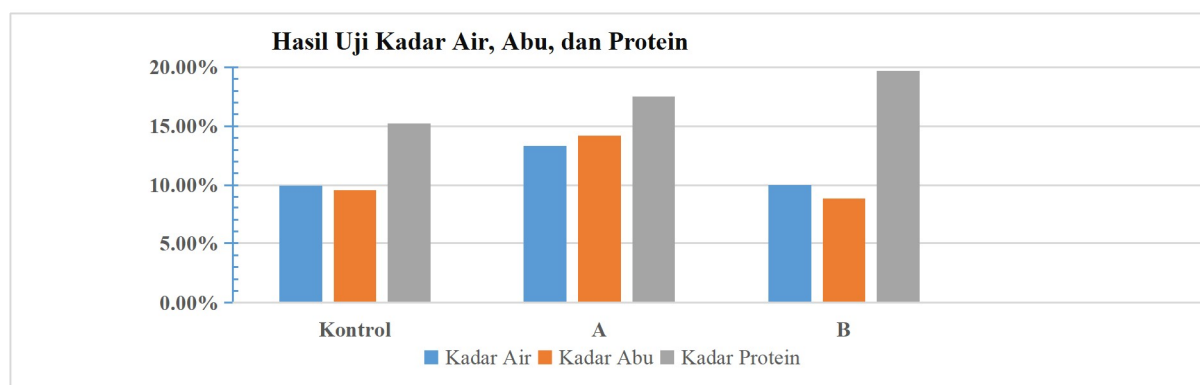
Susu Non Fortifikan		Sampe A (MG)		Sampai B (MG-CMC)	
Unsur Logam	Kadar	Unsur Logam	Kadar	Unsur Logam	Kadar
K	8,87%	K	31,1%	K	33,5%
Ca	63,5%	Ca	46,8%	Ca	48,9%
Fe	0,98%	Fe	0,60%	Fe	0,56%
Ni	0,62%	Cu	0,52%	Ni	0,30%
Cu	0,68%	Rb	1,3%	Cu	0,49%
Zn	0,95%	Mo	7,6%	Zn	0,1%
Mo	7,7%	Yb	1,1%	Rb	1,1%
Re	2%	Re	1,4%	Mo	8,0%
Au	3,1%			Re	1%

Mengacu pada standarisasi dari SNI sampe susu yang diuji bebas dari cemaran logam berat dan masih di batas ambang normal. Pada dokumen SNI 01-2970-2006 terdapat persyaratan mutu produk susu bubuk yang harus dipenuhi oleh setiap produsen susu bubuk. Uji timbal (Pb) pada susu bubuk menggunakan spektrofotometri serapan atom berdasarkan SNI 2970-2015.

#### Aplikasi keratin pada susu sapi bubuk

#### Uji kadar air, kadar abu, kadar protein susu

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar logam berat timbal (Pb) dan mineral pada susu bubuk. Prinsip pengujian mendestruksi contoh dengan pengabuan kering di dalam furnace pada suhu 450 °C. Adapun persyaratan mutu susu bubuk terdapat pada Tab 2. Pembahasan ini mendapatkan bahwa produk masih layak konsumsi.



Gambar 3. Diagram Uji kadar Protein, Air dan Abu

### Uji kadar air

Analisis kadar air pada susu bubuk menggunakan metode gravimetri. Metode gravimetri adalah metode analisis kuantitatif yang didasarkan pada pengukuran massa atau perubahan massa. Massa atau perubahan massa diukur melalui penimbangan hasil reaksi setelah analit direaksikan dengan reagen tertentu (Nadia *et al.*, 2019). Terjadinya perubahan kadar air dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Menurut (Astuti *et al.*, 2023), peningkatan kadar air pada produk pangan dipengaruhi oleh suhu dan permeabilitas kemasan. Lebih lanjut, (Idayanti *et al.*, 2018), menyatakan bahwa adanya permeabilitas kemasan dapat menyebabkan naiknya kadar air. Penggunaan suhu penyimpanan yang berbeda dapat berpengaruh terhadap sifat permeabilitas bahan kemasan. Menurut (Yudianto *et al.*, 2020) semakin kecil permeabilitas uap air kemasan maka daya tembus uap air semakin kecil pula, begitupun sebaliknya. Semakin tinggi suhu penyimpanan yang digunakan maka akan meningkatkan permeabilitas bahan kemasan terhadap uap air. Menurut SNI:2970:2015 menyatakan bahwa maksimum kandungan kadar air pada susu bubuk adalah 4%. Dari data hasil uji kadar air pada Gambar 3, menunjukkan hasil susu tidak terfortifikasi adalah 9,95%, susu bubuk fortifikasi A adalah 13,35% dan susu fortifikasi B menyentuh angka 10%. Hasil dari uji yang telah dilakukan semua sampel susu belum memenuhi standarisasi SNI tentang kandungan air. Perlu dilakukan penelitian yang lebih tepat untuk menurunkan kadar air pada susu bubuk.

### Uji kadar abu

Abu adalah zat organik sisa hasil pembakaran suatu bahan organik. Tujuan dilakukannya pengujian kadar abu adalah untuk memberikan gambaran kandungan mineral internal dan eksternal yang berasal dari proses awal sampai terbentuknya ekstrak (Dayanti *et al.*, 2022). Prinsip penentuan kadar abu di dalam bahan pangan adalah dengan menimbang berat sisa mineral hasil pembakaran bahan organik pada suhu sekitar

5500C. Penentuan kadar abu dapat dilakukan secara langsung dengan cara membakar bahan pada suhu tinggi (500-6000 C) selama beberapa (2-8) jam dan kemudian menimbang sisa pembakaran yang tertinggal sebagai abu. Residu abu diperoleh dari sampai-sampai yang merupakan senyawa organik. Sampel yang dipanaskan terjadi pendestruksian senyawa organik, sehingga yang tersisa hanya unsur mineral dan anorganik. Selain itu penetapan kadar abu juga dimaksudkan untuk mengontrol jumlah pencemar benda-benda organik seperti debu, atau zat pengotor yang terikat dalam sediaan nabati maupun hewani (Ulfah *et al.*, 2021). Mineral yang banyak terkandung dalam susu antara lain kalsium dan fosfor. Regulasi SNI:2970:2015 mengatur tentang ambang batas kadar abu susu bubuk maksimum 6%. Kadar abu pada kedua sampel melampaui standarisasi SNI, sampel bubuk fortifikasi A 13,35% dan susu bubuk fortifikasi B 10%. Berbanding terbalik dengan susu kontrol yang hanya memiliki kadar abu 4%. Kadar abu sangat dipengaruhi oleh banyaknya kandungan kalsium dan fosfor pada susu.

### Uji kadar protein

Protein merupakan makronutrien yang penting untuk berbagai aktivitas seluler, serta metabolisme tubuh. Protein mendukung pertumbuhan dan pemeliharaan jaringan tubuh. Sintesis protein terutama dikendalikan oleh ketersediaan asam amino dalam jumlah stoikiometri sebanding dengan jumlah protein yang dibutuhkan untuk sintesis dan kebutuhan energi yang diperlukan untuk itu mempertahankan proses sintetik. Asam amino adalah basa sebagai bahan penyusun protein dan diklasifikasikan sebagai esensial atau non-esensial. Asam amino esensial dapat diperoleh dari makanan yang kaya akan protein seperti daging, kacang-kacangan dan unggas (Sudhakar Rao *et al.*, 2019). Penentuan protein dalam susu, tidak serumit yang dibayangkan jika Anda menggunakan instrumen yang tepat untuk mendukung metode analisa. Sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *Association of Analytical Communities*

(AOAC), penentuan protein dalam susu dilakukan dengan menggunakan metode Kjeldahl yang terdiri dari tiga tahapan yaitu destruksi, destilasi, dan titrasi. Ketiga tahapan ini dapat dilakukan dengan mudah, cepat dan akurat dengan penggunaan instrumen destruksi, instrumen destilasi dan titrator atau instrumen destilasi yang dilengkapi dengan titrator. Penetapan kadar protein dengan metode kjeldahl merupakan metode tidak langsung yaitu melalui penetapan kadar N dalam bahan yang disebut protein kasar (Sumantri, 2013).

Hasil pengujian kandungan protein menunjukkan bahwa Susu bubuk fortifikasi memiliki kadar protein tertinggi. Menurut SNI 01-4231-1996 tentang susu formula, syarat kadar protein minimum susu adalah 3 gr setiap 100 kkl. Menurut (Nadia *et al.*, 2018), minimal kandungan protein pada susu adalah 2,8%. Berdasarkan syarat tersebut, maka kadar protein semua fortifikasi telah memenuhi standar. Susu merupakan sumber protein yang bermutu tinggi. Protein susu terutama sangat kaya akan lisin, yaitu salah satu asam amino esensial yang sangat dibutuhkan tubuh. Susu fortifikasi keratin merupakan susu yang mengandung keratin. Protein Keratin cukup tinggi mencapai 80% per 100 gr bulu ayam kering. Kadar protein susu tidak terfortifikasi berada di 15, 26%, Susu bubuk fortifikasi A (GUM dan Malto kadar protein mencapai 17,51% dan 19,70% pada susu bubuk terfortifikasi B (GUM, MALTO, CMC).

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut: 1) Gugus fungsi yang terdapat pada keratin sebagian besar adalah mengandung asam amino, hal itu dibuktikan dalam uji partikel FT-IR. Partikel mikroskopis keratin dari hasil SEM menunjukkan bahwa permukaan keratinnya kasar, Gugus fungsi yang terdapat pada keratin. Ukuran partikel pada mikrokapsul keratin A (MG) adalah 196,90 nanometer, sedangkan rata-rata diameter partikel pada mikrokapsul keratin B (MG-

CMC) adalah 184,93. Hasil uji XRF susu banyak mengandung mineral dan bebas dari logam berat. 2) Susu Fortifikasi Gum Malto CMC yaitu memiliki kadar protein sebanyak 19,70 %, yakni memiliki kenaikan 4,44% dari susu control. Dari sini dapat disimpulkan bahwasanya mikroenkapsulasi dengan tambahan cmc lebih kuat melindungi kadar protein daripada yang hanya memakai malto dan gum. Jika keratin difortifikasikan ke dalam susu bubuk kemungkinan besar membuat susu bubuk menjadi tahan lama, akan tetapi memiliki mineral yang cukup besar.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, Direktur Pembelajaran dan Kemahasiswaan atas hibah Program Kreatif Mahasiswa Riset eksakta (PKM-Re) tahun 2023.

### DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, Y., Pratama, R. I., & Hanidah, I. I. (2024). A review on chicken feather flour potential for fish feed. *Torani Journal of Fisheries and Marine Science*, 7(2), 171–180. <https://doi.org/10.35911/torani.v7i2.34396>
- Apriyanti, E. (2018). Efek sentra pemotongan ayam terhadap kesehatan lingkungan masyarakat pemukiman. *Jurnal Green Growth dan Manajemen Lingkungan*, 7(1), 35–50. <https://doi.org/10.21009/jgg.071.03>
- Astuti, N. B., Raya, M. K., & Rahayu, E. S. (2023). Pengaruh suhu dan tempat penyimpanan terhadap kadar air dan mutu organoleptik biskuit substitusi tepung belut (*Monopterus albus* Zuiew). *Action: Aceh Nutrition Journal*, 8(1), 81–90. <https://doi.org/10.30867/action.v8i1.811>
- Cardamone, J. M. (2010). Investigating the microstructure of keratin extracted from wool: Peptide sequence (MALDI-TOF/TOF) and protein conformation (FTIR). *Journal of Molecular*

- Structure*, 969(1–3), 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2010.01.043>
- Dayanti, E., Rachma, F. A., & Saptawati, T. (2022). Penetapan parameter spesifik dan non spesifik ekstrak etanol biji buah trembesi (*Samanea saman*). *Jurnal Pharmascience*, 9(2), 47–55. <https://doi.org/10.20527/jps.v9i2.14022>
- Handayani, A. S., Putra, A. R., Yaumala, A., & Chalida, M. (2015). Sifat mekanik pada isotactic polypropylene termodifikasi dengan serat bulu ayam. *Seminar Nasional Polimer*, 10, 1–5.
- Idayanti, D., Darmawati, E., & Sutrisno. (2018). Pembuatan dan penentuan lama simpan bubuk asam sunti dalam kemasan dengan metode sorpsi. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 6(2), 151–158. <https://doi.org/10.21776/ub.jkp.2018.06.02.7>
- Ji, J., Cronin, K., Fitzpatrick, J., & Miao, S. (2017). Enhanced wetting behaviours of whey protein isolate powder: The different effects of lecithin addition by fluidised bed agglomeration and coating processes. *Food Hydrocolloids*, 71, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.013>
- Nadia, A., Penggalih, M. H. S. T., & Huriyati, E. (2018). Pengembangan produk susu yang mengandung kalsium, inulin, dan teripang sebagai susu kaya prebiotik dan kolagen. *Agritech*, 38(4), 442–449. <https://doi.org/10.22146/agritech.13603>
- Pradana, A. T., Nawatila, R., & Rachman, M. R. (2022). Karakteristik fisik mikropartikel kuersetin dengan kombinasi kitosan-natrium tripolifosfat menggunakan metode orifice ionic gelation. *Jurnal Ilmiah Ibnu Sina*, 7(1), 133–142. <https://doi.org/10.36387/jiis.v7i1.864>
- Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J., Lemons, J. E., & Kohane, D. S. (Eds.). (2020). *Biomaterials science: An introduction to materials in medicine* (4th ed.). Academic Press.
- Rukmini, N. K. S., Mardewi, N. K., & Rejeki, I. G. A. D. S. (2019). Kualitas kimia daging ayam broiler umur 5 minggu yang dipelihara pada kepadatan kandang yang berbeda. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 3(1), 31–37. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JLIP/article/view/51615>
- Safitri, D., Rahim, E. A., Prisma Wiryanti, P., & Sikanna, R. (2017). Sintesis karboksimetil selulosa (CMC) dari selulosa kulit durian (*Durio zibethinus*). *Kovalen: Jurnal Riset Kimia*, 3(1), 58–68. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2017.v3.i1.7846>
- Silva, C. S., Moutinho, C., da Vinha, A., & Matos, C. (2019). Trace minerals in human health: Iron, zinc, copper, manganese and fluorine. *International Journal of Science and Research Methodology*, 13(3), 57–80. <https://ijsr.m.net/index.php/ijstrm/article/view/1670>
- Sudhakararao, G., Priyadarsini, K. A., Kiran, G., Karunakar, P., & Chegu, K. (2019). Physiological role of proteins and their functions in human body. *International Journal of Pharma Research and Health Sciences*, 7(1), 2874–2878. <https://doi.org/10.20959/ijprhs.2019.v7i1.2874-2878>
- Sumantri, A. (2013). *Kesehatan lingkungan*. Kencana Prenada Media.
- Ulfah, M., Kurniawan, R. C., & Erny, M. (2021). Standarisasi parameter non spesifik dan spesifik ekstrak etanol daun jambang (*Syzygium cumini* (L.) Skees). *Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik*, 17(2), 35–42. <https://doi.org/10.31942/jiffk.v17i2.4066>
- Yan, M., Li, B., Zhao, X., Ren, G., Zhuang, Y., Hou, H., Zhang, X., Chen, L., & Fan, Y. (2008). Characterization of acid-soluble collagen from the skin of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*). *Food Chemistry*, 107(4), 1581–1586. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.020>
- Yudianto, D., Widhisono, P. W., Adha, S. D., Nurhasanah, N., & Hadisetyana, S.

(2020). Quality evaluation of chili flakes by variation of packaging and storage temperature. *Journal of*

*Tropical Food and Agroindustrial Technology*, 1(1), 11–16. <https://doi.org/10.21070/jtfat.v1i01.290>