

PENGEMBANGAN TEPUNG KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca L.*) SEBAGAI EKSFOLIAN ALAMI UNTUK APLIKASI *BODY SCRUB*

LUTFI MAULANA



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “Pengembangan Tepung Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca* L.) Sebagai Eksfolian Alami untuk Aplikasi *Body Scrub*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tugas akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Lutfi Maulana
NIM F3401221101



ABSTRAK

LUTFI MAULANA. Pengembangan Tepung Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca L.*) Sebagai Eksfolian Alami untuk Aplikasi *Body Scrub*. Dibimbing oleh RINI PURNAWATI dan MOH. YANI.

Peningkatan produksi pisang di Indonesia menghasilkan limbah kulit pisang kepok dalam jumlah besar yang berpotensi dimanfaatkan sebagai eksfolian alami pada formulasi *body scrub*. Penelitian ini bertujuan merancang proses produksi tepung kulit pisang kepok, menentukan perlakuan perendaman terbaik, mengarakterisasi tepung, serta mengevaluasi karakteristik dan tingkat penerimaan *body scrub*. Pengaruh konsentrasi larutan NaCl (0,0%; 0,5%; dan 1,0%) serta lama perendaman (12, 18, dan 24 jam) terhadap pelarutan tanin dianalisis menggunakan rancangan acak lengkap faktorial, sedangkan perlakuan perendaman terbaik ditentukan berdasarkan kadar tanin dan atribut sensori menggunakan metode indeks efektivitas De Garmo. Lama perendaman berpengaruh nyata terhadap pelarutan tanin, sedangkan konsentrasi NaCl dan interaksinya tidak berpengaruh nyata. Perendaman menggunakan larutan NaCl 0,5% selama 24 jam menghasilkan nilai indeks efektivitas tertinggi (0,914) dan meningkatkan rendemen tepung menjadi $9,3 \pm 0,3\%$ (basis basah) atau $63 \pm 3\%$ (basis kering). Tepung hasil perlakuan terbaik memiliki kadar air $8,3 \pm 0,1\%$, pH $6,39 \pm 0,03$, dan memenuhi persyaratan cemaran logam berat, serta morfologi partikel tidak beraturan berukuran 11,24–66,97 μm . Formulasi *body scrub* berukuran 60 mesh menunjukkan karakteristik fisik yang lebih baik dengan tingkat penerimaan sensori yang relatif sama. Tepung kulit pisang kepok berpotensi dimanfaatkan sebagai eksfolian alami dalam formulasi *body scrub*.

Kata kunci: *body scrub*, eksfolian alami, kulit pisang kepok, NaCl, tepung.

@Hak Cipta IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRACT

LUTFI MAULANA. Development of Kepok Banana (*Musa paradisiaca* L.) Peel Flour as a Natural Exfoliant for Body Scrub Applications. Supervised by RINI PURNAWATI and MOH. YANI.

The increasing production of bananas in Indonesia generates substantial quantities of kepok banana peel waste, offering considerable potential as a natural exfoliating agent for body scrub formulations. This study aimed to design a production process for kepok banana peel flour, determine the optimal soaking treatment, characterize the resulting flour, and evaluate the physicochemical properties and sensory acceptance of the formulated body scrub. The effects of NaCl concentration (0.0%, 0.5%, and 1.0%) and soaking duration (12, 18, and 24 h) on tannin leaching were investigated using a factorial completely randomized design. The optimal treatment was selected based on tannin content and sensory attributes using the De Garmo effectiveness index method. Soaking duration significantly affected tannin leaching, whereas NaCl concentration and its interaction with soaking duration showed no significant effects. Soaking in 0.5% NaCl for 24 h achieved the highest effectiveness index (0.914) and increased flour yield to $9.3 \pm 0.3\%$ (wet basis) or $63 \pm 3\%$ (dry basis). The resulting flour exhibited a moisture content of $8.3 \pm 0.1\%$, a pH of 6.39 ± 0.03 , irregularly shaped particles ($11.24\text{--}66.97\text{ }\mu\text{m}$), and heavy metal concentrations within permissible regulatory limits. The body scrub containing 60-mesh flour exhibited superior physicochemical properties while maintaining comparable sensory acceptance, demonstrating its potential as a natural exfoliating agent.

Keywords: body scrub, flour, kepok banana peel, NaCl, natural exfoliant.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PENGEMBANGAN TEPUNG KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca* L.) SEBAGAI EKSFOLIAN ALAMI UNTUK APLIKASI *BODY SCRUB*

LUTFI MAULANA

Tugas Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tugas Akhir:

1. Dr. Prayoga Suryadarma, S.TP., M.T.
2. Prof. Dr. Endang Warsiki, S.TP., M.Si.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



Judul Tugas Akhir : Pengembangan Tepung Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca* L.) Sebagai Eksfolian Alami untuk Aplikasi *Body Scrub*

Nama : Lutfi Maulana
NIM : F3401221101

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Rini Purnawati, S.TP., M.Si.

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Moh. Yani, M.Eng.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ir. Ono Suparno, S.TP., M.T.
NIP 197212031997021001

Tanggal Ujian:
03 Agustus 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang dilaksanakan dari bulan Februari hingga bulan Juli 2026 ini mengangkat tema pemanfaatan limbah kulit pisang, dengan judul “Pengembangan Tepung Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca* L.) Sebagai Eksfolian Alami untuk Aplikasi *Body Scrub*”. Penelitian ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan tugas akhir pada Program Studi Teknik Industri Pertanian di Institut Pertanian Bogor.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa keberhasilan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan, arahan, dan motivasi yang diberikan oleh berbagai pihak. Atas dasar tersebut, dengan sepuh hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Eje dan Ibu Sri Holiday selaku orang tua tercinta atas doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta semangat yang senantiasa diberikan selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.
2. Dr. Rini Purnawati, S.TP., M.Si. dan Prof. Dr. Ir. Moh. Yani M.Eng selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan dalam penelitian ini.
3. UKM Unggul Barokah yang telah memberikan izin penelitian, menyediakan bahan baku, serta mendukung kelancaran pelaksanaan penelitian.
4. Keluarga besar serta adik dan kakak, yaitu Lusi, Luky, Luri, dan Luddy, atas doa, perhatian, dukungan, dan semangat yang senantiasa diberikan.
5. Rekan-rekan Rionaldy, Jihan, Tabina, Ghina, Alysha, Kezzia, Joshua, Abdun, Satria, Afiqah, Rafi, Fatih, Nur Najmi, Fahreza, Fadhlani, Lena, Safira, Naufal, serta seluruh keluarga besar TIN 59, atas kebersamaan, kerja sama, dukungan, dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan dan penelitian.
6. Seluruh tenaga kependidikan dan laboran Laboratorium Teknologi Industri Pertanian atas bantuan teknis, arahan, serta dukungan selama pelaksanaan penelitian.

Demikianlah tugas akhir ini disusun dengan harapan dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi bagi pihak yang berkepentingan. Penulis menyadari bahwa masih terdapat keterbatasan dan kekurangan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, penulis dengan rendah hati mengharapkan saran dan kritik yang konstruktif dari para pembaca untuk penyempurnaan karya tulis ini.

Bogor, Agustus 2026

Lutfi Maulana



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Hipotesis	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pisang dan Kulit Pisang Kepok	4
2.2 Reaksi Pencokelatan Enzimatis	4
2.3 Praperlakuan Perendaman dengan Larutan NaCl	6
2.4 Proses Produksi Tepung Kulit Pisang Kepok	8
2.5 Tepung Kulit Pisang Kepok	9
2.6 <i>Body Scrub</i>	9
METODE	11
3.1 Waktu dan Tempat	11
3.2 Tahapan Desain Keteknikan	11
3.3 Alat dan Bahan	12
3.4 Rancangan Percobaan dan Analisis Data	13
3.5 Prosedur Kerja	14
HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Hasil Eksplorasi	16
4.2 Hasil Pendefinisian Masalah	17
4.3 Hasil Ideasi	18
4.4 Hasil Pengembangan Prototipe	21
4.5 Hasil Validasi	35
SIMPULAN DAN SARAN	42
5.1 Simpulan	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	50
RIWAYAT HIDUP	65



DAFTAR TABEL

1	Perbandingan metode perendaman untuk mencegah pencokelatan kulit pisang kepok	6
2	Rancangan percobaan praperlakuan perendaman	13
3	Formulasi <i>body scrub</i> dengan tepung kulit pisang kepok sebagai eksfolian alami	13
4	Karakteristik kulit pisang kepok segar	16
5	Neraca massa proses produksi tepung kulit pisang kepok	18
6	Hasil pengujian sensori tepung kulit pisang kepok	23
7	Hasil penentuan perlakuan terbaik menggunakan metode indeks efektivitas De Garmo	24
8	Neraca massa proses produksi tepung kulit pisang kepok pada iterasi kedua	25
9	Karakteristik kimia tepung kulit pisang kepok	29
10	Karakteristik warna tepung kulit pisang kepok	30
11	Karakteristik fungsional tepung kulit pisang kepok	31
12	Kandungan logam berat pada tepung kulit pisang kepok	33
13	Nilai pH formulasi <i>body scrub</i>	36
14	Karakteristik warna formulasi <i>body scrub</i>	37
15	Daya sebar formulasi <i>body scrub</i>	38

DAFTAR GAMBAR

1	Mekanisme reaksi pencokelatan enzimatis (Tilley <i>et al.</i> 2023)	5
2	Tahapan desain keteknikan	11
3	Neraca massa produksi tepung kulit pisang kepok pada iterasi pertama	19
4	Diagram <i>fishbone</i> penyebab rendahnya rendemen tepung pada iterasi pertama	20
5	Pengaruh konsentrasi dan lama perendaman NaCl terhadap kadar tanin dalam media perendaman	22
6	Neraca massa proses produksi tepung kulit pisang kepok pada iterasi kedua	27
7	Neraca massa pada pengembangan proses produksi tepung kulit pisang kepok	28
8	Warna tepung kulit pisang kepok	30
9	Morfologi tepung kulit pisang kepok hasil pengamatan mikroskop pada perbesaran 100x	32
10	Diagram alir proses pembuatan <i>body scrub</i> menggunakan tepung kulit pisang kepok sebagai eksfolian alami	34
11	Perbandingan warna produk <i>body scrub</i> dengan ukuran partikel tepung kulit pisang 40 mesh (A) dan 60 mesh (B)	37
12	Hasil pengujian homogenitas produk <i>body scrub</i> dengan ukuran partikel tepung kulit pisang kepok 40 mesh (A) dan 60 mesh (B).	39

13	Hasil pengujian sensori produk <i>body scrub</i> pada ukuran partikel tepung kulit pisang 40 dan 60 mesh	40
14	Total skor uji sensori produk <i>body scrub</i> dengan ukuran partikel tepung kulit pisang 40 dan 60 mesh	41

DAFTAR LAMPIRAN

1	Prosedur analisis karakterisasi tepung kulit pisang kepok	51
2	Prosedur analisis produk <i>body scrub</i>	54
3	Kurva standar asam tanat dan contoh perhitungan kadar tanin	55
4	Hasil ANOVA pengaruh praperlakuan perendaman NaCl terhadap karakteristik sensori tepung kulit pisang kepok	56
5	Lembar penilaian uji sensori tepung	57
6	Hasil ANOVA pengaruh praperlakuan perendaman NaCl terhadap karakteristik sensori tepung kulit pisang kepok	58
7	Contoh perhitungan konversi rendemen tepung kulit pisang kepok dari basis basah ke basis kering	59
8	Perhitungan penentuan perlakuan terbaik menggunakan metode De Garmo	60
9	Lembar penilaian uji sensori <i>body scrub</i>	62
10	Hasil ANOVA pengaruh formulasi terhadap karakteristik sensori <i>body scrub</i>	63
11	Hasil perhitungan total skor uji sensori <i>body scrub</i>	64

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pisang merupakan salah satu komoditas hortikultura utama di Indonesia dengan produksi yang terus meningkat. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2025, produksi pisang mencapai 9,8 juta ton, meningkat 34,25% dibandingkan tahun 2018 yang sebesar 7,3 juta ton. Peningkatan produksi tersebut mendorong berkembangnya industri pengolahan pisang menjadi berbagai produk bernilai tambah, seperti keripik, sale, dan *puree*, yang sebagian besar masih didominasi oleh usaha kecil dan menengah (UKM). Peningkatan aktivitas pengolahan turut meningkatkan jumlah limbah kulit pisang. Kulit pisang menyumbang sekitar 30–40% dari total bobot buah (Bhavani *et al.* 2023), sehingga menjadi fraksi limbah utama yang berpotensi meningkatkan beban organik di tempat pembuangan serta menghasilkan emisi metana selama proses dekomposisi apabila tidak dimanfaatkan (Sari *et al.* 2024).

UKM Unggul Barokah merupakan salah satu produsen oleh-oleh berbasis keripik pisang kepok yang berlokasi di Bogor. Proses produksi keripik pisang di UKM Unggul Barokah menghasilkan kulit pisang kepok yang belum dimanfaatkan secara optimal dan masih dibuang sebagai limbah organik. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pengembangan proses pengolahan yang dapat mengonversi kulit pisang menjadi material bernilai tambah. Salah satu alternatif pemanfaatan tersebut adalah mengolah kulit pisang menjadi tepung sebagai material eksfolian alami pada produk kosmetik.

Kulit pisang kepok berpotensi dikembangkan sebagai bahan kosmetik karena mengandung senyawa bioaktif. Rahmi *et al.* (2021) melaporkan bahwa ekstrak etanol kulit pisang kepok memiliki aktivitas antioksidan dengan nilai IC_{50} sebesar 9,702 ppm. Pada kondisi ekstraksi berbantuan enzim yang optimum, ekstrak kulit pisang dilaporkan memiliki *total phenolic content* (TPC) sebesar 25,37 mg GAE/g berat kering dan *total flavonoid content* (TFC) sebesar 13,99 mg QE/g berat kering (Islam *et al.* 2023). Kulit pisang juga mengandung beberapa senyawa fenolik, termasuk asam ferulat heksosida (Vu *et al.* 2018). Salah satu potensi pemanfaatan kulit pisang adalah sebagai material eksfolian alami pada formulasi *body scrub*, yang bekerja melalui gesekan partikel abrasif untuk membantu mengangkat sel kulit mati. Karakteristik fisik partikel, terutama ukuran dan morfologi, berperan penting dalam menentukan performa eksfoliasi dan mutu produk kosmetik sehingga perlu dikarakterisasi sebelum diaplikasikan dalam formulasi (Ogorzalek *et al.* 2024).

Pemanfaatan kulit pisang sebagai material eksfolian alami memerlukan pengolahan menjadi tepung dengan karakteristik fisik yang sesuai. Kulit pisang segar memiliki kadar air tinggi, yaitu sekitar 85,47% (Khawas *et al.* 2014), sehingga rentan mengalami kerusakan akibat aktivitas mikroorganisme dan enzim selama penyimpanan. Pengolahan melalui tahapan pengeringan dan penepungan dapat menurunkan kadar air, meningkatkan stabilitas, serta memperpanjang umur simpan bahan (Dhake *et al.* 2023). Bentuk tepung juga memungkinkan pengendalian karakteristik material, terutama kadar air, warna, ukuran partikel, dan morfologi, yang dapat memengaruhi kesesuaiannya dalam formulasi *body scrub*. Pemanfaatan tepung kulit pisang masih didominasi oleh produk pangan, seperti roti, mi, biskuit,

dan pangan fungsional (Dom *et al.* 2021). Pada bidang kosmetik, Asuquo *et al.* (2025) mengembangkan krim berbasis ekstrak kulit pisang, sedangkan Di Bella *et al.* (2025) mengembangkan partikel eksfoliasi dari limbah pangan melalui proses pengeringan, penggilingan, pengayakan, dan karakterisasi material. Ukuran partikel menjadi parameter penting dalam pengembangan eksfolian karena dapat memengaruhi homogenitas, daya sebar, warna, tingkat gesekan, dan kenyamanan penggunaan produk (Ogorzalek *et al.* 2024). Penelitian terdahulu umumnya berfokus pada karakterisasi material eksfoliasi atau pemanfaatan ekstrak kulit pisang sebagai bahan kosmetik. Kajian yang secara khusus mengevaluasi tepung kulit pisang kepek berukuran 40 dan 60 mesh sebagai material eksfolian alami serta pengaruhnya terhadap karakteristik fisik dan penerimaan sensori *body scrub* masih terbatas.

Salah satu kendala dalam produksi tepung kulit pisang kepek adalah tingginya kandungan tanin dan keberadaan getah yang memicu pencokelatan enzimatis serta menurunkan mutu bahan. Kulit pisang kepek juga dilaporkan mengandung tanin terkondensasi sebesar 2,45% (Ryanata *et al.* 2015). Kerusakan jaringan akibat pemotongan menyebabkan senyawa fenolik berinteraksi dengan enzim polifenol oksidase (PPO), sehingga memicu pembentukan pigmen cokelat, sedangkan getah yang bersifat lengket dapat menghambat proses pengeringan dan penepungan. Perendaman dalam larutan NaCl dipilih sebagai praperlakuan karena relatif murah, mudah diperoleh, dan sederhana diterapkan pada skala UKM. NaCl dilaporkan dapat menghambat aktivitas PPO pada jaringan tanaman (Ma *et al.* 2021), sedangkan perendaman memungkinkan perpindahan tanin melalui mekanisme difusi dan pelindian (Dhlakama *et al.* 2022). Kajian mengenai pengaruh kombinasi konsentrasi NaCl dan lama perendaman terhadap kadar tanin dalam produksi tepung kulit pisang kepek masih terbatas. Selain itu, penelitian terdahulu umumnya mengevaluasi praperlakuan, karakterisasi material, atau formulasi kosmetik secara terpisah. Penelitian ini mengkaji pengaruh konsentrasi NaCl dan lama perendaman terhadap kadar tanin, mengarakterisasi tepung hasil perlakuan terbaik, serta mengevaluasi penerapannya sebagai material eksfolian alami pada formulasi *body scrub*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini dirumuskan untuk menjawab permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana perancangan proses produksi tepung kulit pisang kepek?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi dan lama perendaman air garam terhadap kadar tanin dan sensori?
3. Bagaimana karakteristik tepung kulit pisang kepek hasil perlakuan terbaik sebagai material eksfolian alami untuk aplikasi *body scrub*?
4. Bagaimana karakteristik dan tingkat penerimaan *body scrub* berbahan tepung kulit pisang kepek hasil perlakuan terbaik?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menyusun desain proses produksi tepung kulit pisang kepek
2. Mengkaji pengaruh variasi konsentrasi dan waktu perendaman air garam terhadap kadar tanin dan sensori

3. Mengkarakterisasi tepung kulit pisang kepok hasil perlakuan terbaik sebagai material eksfolian alami untuk aplikasi *body scrub*.
4. Mengevaluasi karakteristik dan tingkat penerimaan *body scrub* berbahan tepung kulit pisang kepok hasil perlakuan terbaik.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara teoretis maupun praktis. Secara teoretis, penelitian ini dapat menambah informasi ilmiah mengenai proses produksi tepung kulit pisang kepok serta pengaruh konsentrasi larutan garam dan lama perendaman terhadap kadar tanin dan penerimaan sensori sebagai dasar pengembangan material fungsional untuk aplikasi *body scrub*. Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif pemanfaatan limbah kulit pisang kepok menjadi produk bernilai tambah serta menjadi acuan dalam pengembangan bahan baku alami untuk formulasi *body scrub*.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini mencakup perancangan proses produksi tepung kulit pisang kepok melalui penyusunan tahapan proses dan neraca massa. Penelitian juga mengevaluasi pengaruh konsentrasi larutan garam dan lama perendaman terhadap kadar tanin untuk menentukan perlakuan terbaik. Tepung yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi dan diaplikasikan sebagai bahan baku formulasi *body scrub*, kemudian dievaluasi berdasarkan karakteristik produk dan uji sensori. Penelitian ini tidak mencakup perancangan pabrik, analisis Harga Pokok Produksi (HPP), maupun analisis kelayakan ekonomi.

1.6 Hipotesis

Pengaruh konsentrasi larutan NaCl (faktor A), lama perendaman (faktor B), dan interaksi keduanya terhadap kadar tanin terlarut dianalisis menggunakan model matematis:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

dengan Y_{ijk} sebagai kadar tanin terlarut, μ sebagai rata-rata umum, α_i sebagai pengaruh konsentrasi, β_j sebagai pengaruh lama perendaman, $(\alpha\beta)_{ij}$ sebagai pengaruh interaksi, dan ε_{ijk} sebagai galat percobaan. Hipotesis yang diuji meliputi:

1. $H_{0A} : \alpha_i = 0$; konsentrasi NaCl tidak berpengaruh terhadap kadar tanin terlarut
2. $H_{0B} : \beta_j = 0$; lama perendaman tidak berpengaruh terhadap kadar tanin terlarut
3. $H_{0AB} : (\alpha\beta)_{ij} = 0$; tidak terdapat interaksi antara konsentrasi NaCl dan lama perendaman terhadap kadar tanin terlarut

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pisang dan Kulit Pisang Kepok

Pisang (*Musa spp.*) merupakan tanaman hortikultura yang berasal dari Asia Tenggara, khususnya Indonesia. Tingginya keanekaragaman genetik menjadikan Indonesia sebagai salah satu pusat keragaman pisang dengan lebih dari 300 kultivar yang telah teridentifikasi dan dibudidayakan (Dwivannny *et al.* 2021). Kondisi iklim tropis serta kesesuaian lahan mendukung pertumbuhan tanaman pisang sehingga produksi nasional terus mengalami peningkatan. BPS melaporkan bahwa produksi pisang di Indonesia mencapai 9,82 juta ton pada tahun 2026. Salah satu kultivar yang banyak dibudidayakan adalah pisang kepok. Secara taksonomi, pisang kepok umumnya termasuk dalam Famili *Musaceae* dan Genus *Musa*. Pisang kepok memiliki kulit yang relatif tebal sehingga menghasilkan limbah dalam jumlah yang cukup besar selama proses pengolahan.

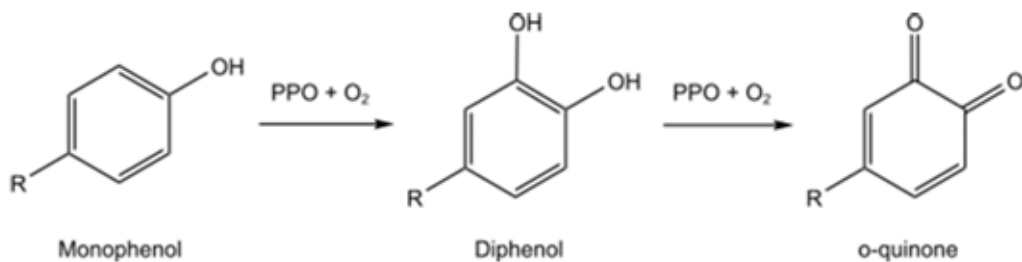
Sebagian besar kulit pisang tersebut belum dimanfaatkan secara optimal dan berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Padahal, proporsi kulit dari buah pisang hampir dari 30–40% dan sisanya daging buah (Bhavani *et al.* 2023), sehingga jumlah limbah yang dihasilkan relatif besar. Meskipun demikian, kulit pisang memiliki komposisi kimia yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku bernilai tambah. Secara proksimat, kulit pisang kepok didominasi oleh kadar air dan karbohidrat masing-masing sebesar 68,9% dan 18,5% (Novitasari 2013). Kulit pisang kepok mengandung mineral seperti, kalium, kalsium, magnesium, dan fosfor.

Kulit pisang kepok juga mengandung berbagai senyawa bioaktif yang berpotensi sebagai antioksidan. Senyawa tersebut meliputi fenolik, flavonoid, tanin, katekin, kuersetin, dan vitamin C. Vu *et al.* (2018) melaporkan bahwa lebih dari 40 senyawa fenolik telah teridentifikasi pada kulit pisang dengan kandungan fenolik total mencapai 47 mg GAE/g berat kering. Aboul-Einen *et al.* (2016) juga melaporkan bahwa kandungan fenol, flavonoid, dan tanin pada ekstrak kulit pisang kepok masing-masing sebesar 17,89 mg/g, 21,04 mg/g, dan 24,21 mg/g bahan kering. Kandungan senyawa bioaktif tersebut berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan, antimikroba, dan antiinflamasi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan aktif pada produk kosmetik. Rahmi *et al.* (2021) menunjukkan bahwa ekstrak kulit pisang kepok memiliki aktivitas antioksidan yang kuat dengan nilai IC₅₀ sebesar 9,702 ppm. Tingginya kandungan fenolik dan tanin juga dapat memicu pencokelatan enzimatis selama pengolahan sehingga diperlukan perlakuan awal untuk mempertahankan mutu tepung yang dihasilkan.

2.2 Reaksi Pencokelatan Enzimatis

Reaksi pencokelatan (*browning*) pada kulit pisang merupakan proses enzimatis yang terjadi ketika kulit pisang mengalami kerusakan fisik seperti dikupas, dipotong, atau terkena benturan. Pencokelatan enzimatis pada kulit pisang disebabkan oleh kandungan substrat senyawa fenolik yang terdapat pada kulit pisang. Reaksi pencokelatan enzimatis akan terjadi apabila adanya reaksi antara enzim PPO dan oksigen dengan substrat fenolik tersebut. PPO terdiri atas dua jenis utama, yaitu monofenol monooxygenase (EC 1.14.18.1) dan o-difenol oksidase (EC 1.10.3.2). Enzim pada kelompok pertama berperan dalam mengkatalisis oksidasi

monofenol menjadi o-difenol, sedangkan kelompok kedua mengkatalisis oksidasi o-difenol menjadi o-quinon dengan bantuan oksigen (Wohlt *et al.* 2021). Pada kulit pisang, enzim PPO mengkatalisis dua reaksi utama yaitu hidroksilasi monofenol dan oksidasi ortho-difenol yang akan membentuk ortho-quinon, sehingga menyebabkan terbentuknya warna coklat (Putri *et al.* 2020). Reaksi ini memerlukan kehadiran oksigen sebagai akseptor elektron dalam proses oksidasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi pencokelatan meliputi ketersediaan oksigen, pH, suhu, dan konsentrasi enzim serta substrat. Pencokelatan akan terjadi lebih cepat pada kondisi pH optimum enzim (6,0-7,0) dan suhu sekitar 30-40°C. Reaksi pencokelatan dapat dihambat dengan berbagai cara seperti penggunaan antioksidan (vitamin C), penurunan pH, pengurangan oksigen, atau inaktivasi enzim melalui pemanasan.



Gambar 1 Mekanisme reaksi pencokelatan enzimatik (Tilley *et al.* 2023)

Pencegahan reaksi pencokelatan menjadi tantangan utama dalam pengolahan tepung karena mengurangi nilai estetika dan kualitas nutrisi produk. Menurut Hamdan *et al.* (2022) mengemukakan bahwa inhibitor pencokelatan dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kategori, yaitu *acidulants*, *reducing agents*, *chelating agents*, *complexing agents*, dan *enzyme inhibitors*, yang masing-masing memiliki mekanisme kerja berbeda dalam menghambat terjadinya reaksi pencokelatan. Berbagai agen anti-pencokelatan telah banyak digunakan dalam industri pangan modern, baik yang berasal dari bahan alami maupun sintetis, di antaranya natrium metabisulfit, asam askorbat, larutan garam, cuka, gula, dan asam sitrat. Perbandingan metode perendaman berdasarkan jenis larutan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan metode perendaman untuk mencegah pencokelatan kulit pisang kepok

Parameter	Asam askorbat ^a	Natrium metabisulfit ^b	Asam sitrat ^c
Konsentrasi	1%	0,3%	0,8%
Lama perendaman	5 menit	60 menit	3 menit
Blanching	Ya	Tidak	Tidak
Pengeringan	Oven	Oven	Cabinet dryer
Kadar air (%)	8,17	6,41	3,55
Keunggulan	Aman dan mempertahankan mutu	Efektif menghambat pencokelatan	Meningkatkan indeks keputihan
Keterbatasan	Efektivitas terbatas	Berpotensi meninggalkan residu sulfit	Dapat memengaruhi aroma

Sumber: ^aSafitri *et al.* (2023); ^bMarsita *et al.* (2020); ^cYusuf *et al.* (2018)

Berdasarkan Tabel 1, berbagai metode praperlakuan telah diterapkan untuk menghambat pencokelatan enzimatis pada kulit pisang, baik melalui perlakuan fisik maupun kimia. Salah satu metode fisik yang umum digunakan adalah *blanching*, yaitu pemanasan singkat untuk menginaktivasi enzim PPO. Meskipun efektif menghambat pencokelatan, *blanching* dapat menyebabkan kehilangan sebagian senyawa bioaktif dan vitamin yang sensitif terhadap panas apabila kondisi proses tidak dikendalikan dengan baik (Xiao *et al.* 2017). Metode ini sering dikombinasikan dengan agen antipencokelatan seperti asam askorbat, asam sitrat, atau natrium metabisulfit. Di antara ketiga agen tersebut, natrium metabisulfit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) merupakan bahan yang paling banyak digunakan pada industri pangan karena efektif menghambat aktivitas PPO, mudah diaplikasikan, dan tersedia secara komersial. Natrium metabisulfit bekerja sebagai agen pereduksi yang menghambat oksidasi senyawa fenolik menjadi pigmen coklat (Wardhani *et al.* 2016). Natrium metabisulfit berfungsi sebagai agen antipencokelatan, sebagai pengawet berbasis antioksidan yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri dan kapang. Penggunaannya berpotensi meninggalkan residu sulfit yang dapat memicu reaksi hipersensitivitas pada individu sensitif. Penggunaan natrium metabisulfit perlu disertai pengendalian konsentrasi serta proses pencucian setelah perendaman untuk meminimalkan residu sulfit yang tertinggal pada bahan.

2.3 Praperlakuan Perendaman dengan Larutan NaCl

Getah pada jaringan kulit pisang merupakan material kompleks yang dapat terlepas dari jaringan dan berpotensi memengaruhi karakteristik bahan selama

pengolahan. Gracz-Bernaciak *et al.* (2021) menjelaskan bahwa lateks pada tanaman merupakan cairan biologis yang sangat kompleks dan terdiri atas berbagai metabolit sekunder, termasuk terpena, alkaloid, dan senyawa fenolik, serta beragam protein. Salah satu kelompok senyawa yang relevan dalam konteks tersebut adalah tanin, yaitu polifenol yang dapat berasosiasi dengan matriks dinding sel. Proses perendaman dapat diarahkan untuk membantu pelepasan komponen terlarut dari jaringan, di mana penurunan kadar tanin dapat digunakan sebagai indikator kuantitatif untuk menilai efektivitas praperlakuan.

Natrium klorida (NaCl) merupakan elektrolit kuat yang terdisosiasi sempurna dalam air menjadi ion Na^+ dan Cl^- sehingga meningkatkan kekuatan ionik larutan dan memengaruhi potensial kimia serta kondisi hidrasi air dalam jaringan. Ketika jaringan kulit pisang direndam dalam larutan NaCl, terjadi perbedaan kondisi kimia antara jaringan dan medium perendaman yang dapat mendorong perpindahan air dan zat terlarut. Perpindahan air terutama berkaitan dengan perbedaan potensial kimia air atau kondisi osmotik, sedangkan perpindahan senyawa terlarut, termasuk tanin, terutama berkaitan dengan gradien konsentrasi dan berlangsung melalui mekanisme difusi. Dengan demikian, osmosis dan difusi merupakan fenomena yang saling berkaitan, tetapi memiliki peran berbeda dalam proses perendaman. Pada saat perendaman, larutan NaCl membasahi permukaan kulit pisang dan secara bertahap masuk ke dalam jaringan melalui ruang antarsel dan struktur pori. Interaksi air dengan jaringan menyebabkan perubahan kondisi hidrasi dan dapat meningkatkan aksesibilitas komponen terlarut di dalam matriks kulit pisang. Kondisi tersebut memungkinkan tanin yang terdapat di dalam jaringan menjadi lebih mudah berpindah menuju permukaan bahan. Perubahan kondisi air dan ionik selama perendaman dapat memengaruhi hidrasi, struktur mikro, serta permeabilitas jaringan sehingga berpotensi mengubah aksesibilitas komponen yang berada di dalam matriks bahan (Ebrahim *et al.* 2020).

Perubahan lingkungan ionik juga berpotensi memengaruhi interaksi antara tanin dan komponen penyusun matriks jaringan. Tanin dapat berasosiasi dengan protein dan polisakarida melalui interaksi nonkovalen, sehingga perubahan kondisi medium dapat memengaruhi keseimbangan antara tanin yang terikat atau terasosiasi dengan matriks dan tanin yang lebih mudah berpindah ke fase cair. Apabila kondisi perendaman meningkatkan aksesibilitas matriks dan mempermudah pelepasan tanin, senyawa tersebut selanjutnya dapat berdifusi dari bagian dalam jaringan menuju permukaan dan mengalami leaching ke dalam larutan perendaman (Zayed *et al.* 2025). Pada konsentrasi NaCl yang relatif rendah, kondisi larutan memungkinkan air masuk dan berinteraksi dengan jaringan kulit pisang selama perendaman. Air yang masuk ke dalam jaringan dapat meningkatkan hidrasi matriks dan membantu melarutkan komponen tanin yang terdapat di dalam jaringan. Tanin yang telah terlarut kemudian bergerak dari bagian dalam jaringan menuju permukaan akibat adanya perbedaan konsentrasi antara jaringan dan larutan perendaman. Setelah mencapai permukaan, tanin berpindah ke dalam larutan melalui proses *leaching*. Perpindahan air dan tanin berlangsung dengan arah yang berbeda, yaitu air bergerak masuk atau berinteraksi dengan jaringan, sedangkan tanin yang telah terlarut bergerak keluar dari jaringan menuju larutan. Proses tersebut berlangsung secara bertahap selama perendaman dan dapat menyebabkan

berkurangnya kadar tanin yang tersisa dalam kulit pisang. Pengaruh NaCl terhadap penurunan kadar tanin lebih tepat dipahami sebagai hasil interaksi antara perubahan kondisi ionik dan osmotik, perubahan aksesibilitas jaringan, serta perpindahan massa tanin dari matriks kulit pisang menuju fase cair.

Efektivitas proses tersebut penting karena tanin tidak hanya berperan sebagai komponen kimia yang memberikan rasa sepat (*astringency*), tetapi juga dapat memengaruhi karakteristik bahan melalui interaksinya dengan komponen matriks dan kecenderungannya mengalami oksidasi yang berkontribusi terhadap perubahan warna (Vu *et al.* 2018). Pada tahap awal perendaman, perbedaan konsentrasi tanin antara jaringan kulit pisang dan larutan perendaman relatif besar sehingga perpindahan tanin berlangsung lebih cepat. Seiring berlangsungnya perendaman, konsentrasi tanin di dalam jaringan berkurang dan gradien konsentrasi dapat semakin kecil sehingga laju pelepasan tanin cenderung menurun. Peningkatan lama perendaman tidak selalu menghasilkan peningkatan pelepasan tanin secara proporsional. Dalam pengolahan kulit pisang menjadi tepung yang akan digunakan sebagai material eksfolian pada *body scrub*, pengurangan tanin melalui praperlakuan dapat menjadi salah satu upaya untuk menghasilkan bahan dengan karakteristik yang lebih sesuai untuk aplikasi selanjutnya. Intensitas praperlakuan perlu dikendalikan karena kondisi yang terlalu kuat atau terlalu lama tidak hanya dapat meningkatkan pelepasan tanin, tetapi juga berpotensi menyebabkan hilangnya senyawa fenolik atau komponen bioaktif lain yang bernilai fungsional (Ojo 2022). Kebutuhan proses terbaik untuk memperoleh kondisi perendaman yang mampu meningkatkan pelepasan tanin secara efektif tanpa menyebabkan kehilangan komponen penting secara berlebihan.

Efektivitas perendaman NaCl dipengaruhi oleh interaksi antara konsentrasi larutan, lama perendaman, karakteristik jaringan, dan komposisi kimia bahan (Muñiz-Becera *et al.* 2017; Ma *et al.* 2021; Ojo 2022). Variasi struktur jaringan dan komposisi kimia antar bahan hortikultura menyebabkan respons terhadap perlakuan NaCl tidak dapat digeneralisasi, sehingga kondisi praperlakuan perlu ditentukan secara spesifik untuk setiap material. Dalam konteks kulit pisang kepok, kajian mengenai pengaruh konsentrasi NaCl dan lama perendaman terhadap penurunan kadar tanin pada tahap produksi tepung masih terbatas. Pengkajian kedua faktor tersebut diperlukan untuk memahami respons kadar tanin terhadap kondisi perendaman serta menentukan kombinasi perlakuan yang efektif dalam menghasilkan tepung kulit pisang kepok dengan kadar tanin lebih rendah dan karakteristik yang sesuai sebagai material eksfolian dalam formulasi *body scrub*.

2.4 Proses Produksi Tepung Kulit Pisang Kepok

Proses produksi tepung kulit pisang kepok terdiri atas tahapan sortasi, pencucian, pemotongan, praperlakuan, pengeringan, penggilingan, dan pengayakan. Sortasi dan pencucian bertujuan untuk menghilangkan kotoran serta kontaminan yang dapat memengaruhi mutu produk, sedangkan pemotongan dilakukan untuk mempercepat proses pengeringan. Selain itu, ukuran kulit pisang yang lebih kecil dapat meningkatkan luas permukaan bahan, distribusi partikel yang seragam, dan laju difusi yang lebih cepat (Khetiwale dan Tonchar 2024). Kondisi tersebut meningkatkan efisiensi proses pengeringan dan menghasilkan tepung

dengan ukuran partikel yang lebih seragam. Tahap praperlakuan berperan penting dalam menghambat pencokelatan enzimatis sehingga warna dan komposisi kimia tepung tetap terjaga. Bahan tersebut dikeringkan hingga mencapai kadar air yang aman untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan meningkatkan stabilitas penyimpanan. Kondisi suhu dan waktu pengeringan harus terjaga agar degradasi senyawa bioaktif dapat diminimalkan. Khalangre *et al.* (2025) melaporkan bahwa semakin tinggi suhu dan waktu pengeringan dapat menyebabkan terjadinya degradasi TFC, TPC, dan *Antioxidant Activity* (AA), dengan suhu pengeringan optimum sebesar 50°C. Pada skala rumah tangga dan usaha kecil, pengeringan menggunakan sinar matahari masih banyak diterapkan karena sederhana, hemat energi, dan mudah diaplikasikan. Efektivitasnya dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan intensitas radiasi matahari (Rana *et al.* 2024). Tahap akhir meliputi penggilingan dan pengayakan untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam. Keseragaman ukuran partikel penting untuk menghasilkan tepung yang homogen sehingga mendukung aplikasi tepung sebagai material fungsional pada formulasi *body scrub*.

2.5 Tepung Kulit Pisang Kepok

Tepung kulit pisang kepok merupakan produk yang dihasilkan melalui proses pengeringan, penggilingan, dan pengayakan kulit pisang hingga menghasilkan partikel berukuran halus. Pengolahan menjadi tepung bertujuan menurunkan kadar air sehingga meningkatkan stabilitas selama penyimpanan, mempermudah penanganan, serta memperluas pemanfaatan bahan. Dibandingkan kulit pisang segar, bentuk tepung memiliki umur simpan yang lebih panjang dan lebih mudah ditangani, disimpan, dan diformulasikan ke dalam berbagai produk. Dhake *et al.* (2023) melaporkan bahwa proses penepungan mampu menurunkan kadar air awal sekitar 90,00–91,58% menjadi 6,25–9,73% dan menghasilkan *water activity* rendah. Kadar air dan *water activity* yang rendah berperan dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme sehingga meningkatkan mutu simpan dan stabilitas mikrobiologis tepung (Aliganza *et al.* 2025).

Karakteristik tepung kulit pisang kepok dipengaruhi oleh varietas, tingkat kematangan buah, metode praperlakuan, kondisi pengeringan, dan ukuran partikel. Faktor-faktor tersebut menentukan kadar air, warna, ukuran partikel, serta kandungan senyawa fungsional yang berpengaruh terhadap mutu tepung. Tepung kulit pisang kepok diketahui masih mempertahankan kandungan serat pangan, mineral, dan senyawa bioaktif setelah proses penepungan. May *et al.* (2019) melaporkan bahwa tepung tersebut juga mengandung mineral, seperti kalium, kalsium, magnesium, dan besi. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa tepung kulit pisang tidak hanya berpotensi sebagai bahan baku pangan, tetapi juga dapat dikembangkan sebagai material fungsional pada produk kosmetik. Bentuk tepung memungkinkan ukuran partikel dikendalikan sesuai kebutuhan formulasi sehingga berpotensi digunakan sebagai agen eksfoliasi alami pada *body scrub*.

2.6 Body Scrub

Body scrub merupakan sediaan kosmetik yang mengandung partikel padat untuk mengangkat sel-sel kulit mati melalui mekanisme eksfoliasi mekanis. Proses eksfoliasi membantu mempercepat pergantian sel pada lapisan stratum korneum sehingga permukaan kulit menjadi lebih halus, bersih, dan cerah

(Kitosongsermthon *et al.* 2018). Mekanisme agen eksfoliasi fisik didasarkan pada abrasi fisik. Partikel scrub dapat berasal dari dua sumber utama yaitu sintetis dan alami. Material eksfoliasi sintetis umumnya menggunakan *microbeads* berbahan polimer, seperti polietilena (PE), polipropilena (PP), dan polimetil metakrilat (PMMA) (Ummah *et al.* 2025). Meskipun efektif sebagai agen eksfolian, *microbeads* bersifat *non-biodegradable* sehingga dapat terakumulasi di lingkungan perairan dan berpotensi tertelan oleh organisme akuatik. Alex *et al.* (2024) melaporkan bahwa sifat eksfolian dari *microbeads* dapat menyebabkan *microtear* atau robekan pada kulit dan menyebabkan iritasi serta peradangan pada kulit yang sensitif. Dampak tersebut mendorong berbagai negara membatasi penggunaan *microbeads* plastik dalam produk kosmetik serta meningkatkan pengembangan material eksfoliasi alami yang lebih ramah lingkungan.

Material eksfoliasi alami umumnya berasal dari biomassa yang dihaluskan, seperti biji aprikot, cangkang kenari, almond, maupun berbagai limbah pertanian. Dibandingkan dengan *microbeads* sintetis, material tersebut bersifat *biodegradable*, berasal dari sumber terbarukan, serta berpotensi memberikan manfaat tambahan melalui kandungan senyawa bioaktifnya (Ogorzalek *et al.* 2024). Ukuran partikel merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kinerja material eksfoliasi karena berperan dalam menentukan kemampuan abrasi, homogenitas dispersi, dan kenyamanan penggunaan. Selain ukuran partikel, karakteristik lain seperti tingkat kekerasan dan jumlah partikel juga memengaruhi efektivitas pengangkatan stratum korneum. Li *et al.* (2013) menunjukkan bahwa kombinasi ukuran partikel dan kekerasan yang sesuai menghasilkan pengangkatan stratum korneum yang lebih efektif serta meningkatkan hidrasi dan permeabilitas kulit. Partikel yang lebih halus umumnya menghasilkan tekstur formulasi yang lebih lembut dan menurunkan potensi iritasi selama penggunaan (Kozłowska *et al.* 2019). Pemilihan ukuran partikel perlu mempertimbangkan antara efektivitas eksfoliasi, keamanan penggunaan, dan karakteristik fisik material.

Salah satu biomassa yang berpotensi dikembangkan sebagai material eksfoliasi alami adalah kulit pisang dalam bentuk tepung karena masih mengandung serat pangan dan senyawa bioaktif, sementara ukuran partikelnya dapat dikendalikan melalui proses penggilingan dan pengayakan. Pengendalian ukuran partikel penting untuk memperoleh karakteristik eksfoliasi yang sesuai serta menghasilkan dispersi yang stabil di dalam basis formulasi kosmetik (Kozłowska *et al.* 2019). Manika *et al.* (2026) melaporkan bahwa variasi ukuran partikel eksfolian cangkang telur ayam sebesar 40 mesh ($\pm 425 \mu\text{m}$), 60 mesh ($\pm 250 \mu\text{m}$), dan 100 mesh ($\pm 150 \mu\text{m}$) menghasilkan karakteristik *body scrub* yang berbeda, dengan ukuran 60 mesh memberikan performa terbaik berdasarkan pengujian fisik, iritasi, dan hedonik. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini menggunakan ukuran partikel 40 dan 60 mesh untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan ukuran partikel terhadap karakteristik fisik dan mutu sensoris *body scrub* berbasis tepung kulit pisang.

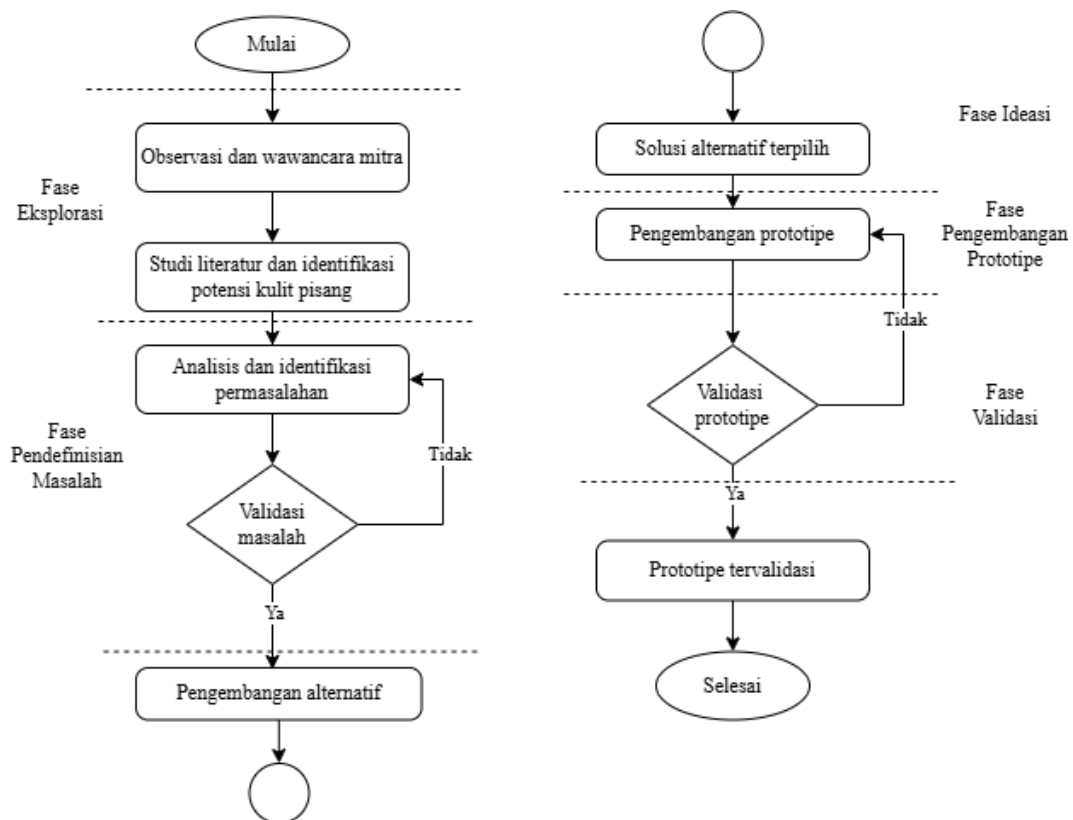
III METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama enam bulan yang dimulai pada bulan Februari-Juli 2026, dan dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Departemen Teknologi Industri Pertanian IPB dan Laboratorium Leuwikopo IPB, Dramaga Bogor.

3.2 Tahapan Desain Keteknikan

Pendekatan yang diterapkan pada proyek ini adalah pendekatan desain keteknikan dalam mendapatkan solusi terbaik dari permasalahan maupun kebutuhan dari UKM Unggul Barokah. Pendekatan ini memiliki beberapa fase yaitu fase eksplorasi, pendefinisian masalah, ideasi, pengembangan prototipe, dan validasi.



Gambar 2 Tahapan desain keteknikan

3.2.1 Fase Eksplorasi

Fase eksplorasi dilakukan untuk mengidentifikasi potensi bahan baku, kondisi eksisting, dan permasalahan yang berkaitan dengan pemanfaatan limbah kulit pisang kepek. Tahap ini meliputi observasi lapangan di UKM Unggul Barokah serta studi literatur mengenai karakteristik kulit pisang dan potensinya

sebagai material eksfolian alami. Informasi yang diperoleh menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan penelitian dan ruang lingkup pengembangan material.

3.2.2 Fase Pendefinisian Masalah

Fase pendefinisian masalah bertujuan untuk merumuskan permasalahan penelitian berdasarkan hasil eksplorasi. Analisis difokuskan pada rendahnya pemanfaatan limbah kulit pisang kepok serta belum tersedianya informasi yang komprehensif mengenai karakteristik material yang mendukung penggunaannya sebagai material eksfolian alami. Hasil analisis digunakan untuk menetapkan tujuan, spesifikasi material, dan parameter karakterisasi yang diperlukan.

3.2.3 Fase Ideasi

Fase ideasi dilakukan untuk menyusun alternatif solusi berdasarkan hasil identifikasi permasalahan dan kajian literatur. Tahap ini meliputi perancangan proses produksi tepung kulit pisang kepok sebagai material eksfolian alami, penentuan kondisi proses yang digunakan, serta penyusunan konsep formulasi *body scrub*. Selain itu, ditetapkan parameter karakterisasi material dan evaluasi produk yang digunakan untuk menilai kesesuaian tepung sebagai material eksfolian alami.

3.2.4 Fase Pengembangan Prototipe

Fase pengembangan prototipe dilakukan dengan merealisasikan rancangan proses menjadi tepung kulit pisang kepok sesuai kondisi operasi yang telah ditetapkan. Tepung yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi melalui pengujian sifat fisik, kimia, morfologi, cemaran logam berat, dan karakteristik fungsional. Sebagai bentuk validasi awal terhadap potensi aplikasinya, tepung kemudian digunakan sebagai material eksfolian dalam formulasi *body scrub* dan dievaluasi melalui pengujian sensori.

3.2.5 Fase Validasi

Fase validasi dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian karakteristik tepung kulit pisang kepok terhadap persyaratan sebagai material eksfolian alami. Evaluasi dilakukan berdasarkan hasil karakterisasi material, pengujian keamanan, serta penilaian sensori formulasi *body scrub*. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa tepung kulit pisang kepok memiliki potensi sebagai bahan baku kosmetik alami yang aman, fungsional, dan dapat diterima oleh pengguna.

3.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk proses produksi meliputi pisau, talenan, wadah/bak, *disc mill*, ayakan 60 mesh, dan timbangan. Alat yang digunakan untuk analisis meliputi oven listrik, tanur, alat destilasi, gelas piala, gelas ukur 100 mL, erlenmeyer, buret, pipet mohr, desikator, otoklaf, mikroskop, tabung ulir, plat kaca, kuvet, spektrofotometer UV-Vis, *moisture balance*, pH meter, dan cawan aluminium. Bahan yang digunakan meliputi kulit pisang kepok yang didapatkan dari mitra Unggul Barokah, natrium metabisulfit, garam dapur, air, larutan NaOH,

larutan H_2SO_4 , heksana, etanol 96%, akuades, dan bahan kimia pendukung lainnya untuk keperluan analisis.

3.4 Rancangan Percobaan dan Analisis Data

3.4.1 Praperlakuan Perendaman

Percobaan praperlakuan disusun menggunakan rancangan faktorial dua faktor (3×3). Faktor A adalah konsentrasi larutan NaCl yang terdiri atas tiga taraf, yaitu 0,0% (A1), 0,5% (A2), dan 1,0% (A3). Faktor B adalah lama perendaman yang terdiri atas 12 jam (B1), 18 jam (B2), dan 24 jam (B3). Kombinasi kedua faktor menghasilkan sembilan perlakuan sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Rancangan percobaan praperlakuan perendaman			
Waktu (B)	Konsentrasi (A)		
	0,0%	0,5%	1,0%
12 jam	A1B1	A2B1	A3B1
18 jam	A1B2	A2B2	A3B2
24 jam	A1B3	A2B3	A3B3

Parameter yang diamati meliputi kadar tanin terlarut dan atribut sensori tepung. Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dua arah pada taraf signifikansi 5%, dilanjutkan dengan uji Duncan apabila terdapat pengaruh nyata. Perlakuan terbaik ditentukan menggunakan indeks efektivitas De Garmo.

3.4.2 Formulasi *Body Scrub*

Formulasi *body scrub* dikembangkan menggunakan tepung kulit pisang kepek sebanyak 12% (b/b) sebagai material eksfolian alami. Formulasi F1 menggunakan tepung berukuran 40 mesh, sedangkan F2 menggunakan tepung berukuran 60 mesh. Komposisi bahan lainnya dibuat sama agar perbedaan karakteristik produk hanya dipengaruhi oleh ukuran partikel tepung. Komposisi masing-masing formulasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Formulasi *body scrub* dengan tepung kulit pisang kepek sebagai eksfolian alami

Bahan	Konsentrasi (b/b %)
	F1 dan F2
Tepung kulit pisang	12,00
Asam stearat	16,00
Setil alkohol	3,00
Propilen glikol	9,00
TEA	1,00
<i>Phenoxyethanol</i>	0,16
Minyak zaitun	0,80
Parfum	0,80
Akuades	57,24

Dimodifikasi dari Rusmin (2020)

3.5 Prosedur Kerja

3.5.1 Proses Produksi Tepung Kulit Pisang Kepok

Pembuatan tepung kulit pisang kepok diawali dengan pemotongan kulit pisang secara manual menggunakan pisau hingga berukuran sekitar 1–3 cm untuk memperbesar luas permukaan bahan. Selanjutnya, irisan kulit pisang direndam dalam larutan natrium metabisulfit 3.000 ppm (0,3%) selama 1 jam dengan rasio kulit pisang terhadap larutan sebesar 1:3 (b/v) untuk menghambat pencokelatan enzimatis. Setelah perendaman, irisan kulit pisang dicuci menggunakan air bersih selama 30 menit untuk mengurangi residu sulfit. Bahan yang telah dicuci direndam dalam larutan garam (NaCl) dengan variasi konsentrasi dan waktu perendaman sesuai perlakuan penelitian, lalu dicuci kembali menggunakan air bersih. Setelah itu, bahan dikeringkan menggunakan sinar matahari hingga kadar air kurang dari 10% selama 3 hari, kemudian digiling menggunakan *disc mill* dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh untuk menghasilkan tepung dengan ukuran partikel yang seragam.

3.5.2 Karakterisasi Produk Tepung Kulit Pisang Kepok

Karakterisasi produk dilakukan melalui analisis proksimat yang meliputi pengujian kadar air, kadar abu, kadar lemak, kadar protein, dan kadar serat kasar. Kadar karbohidrat total ditentukan menggunakan metode *carbohydrate by difference*. Selain itu, dilakukan pengujian sifat fisik, fungsional, dan morfologi yang meliputi pH, *swelling power*, kelarutan, suhu gelatinisasi, serta morfologi partikel menggunakan mikroskop. Perhitungan kadar karbohidrat dilakukan menggunakan persamaan berikut mengacu pada AOAC (2005), sedangkan prosedur pengujian seluruh parameter disajikan pada Lampiran 1.

$$\% \text{ Karbohidrat} = 100\% - (\% \text{ Air} + \% \text{ Abu} + \% \text{ Lemak} + \% \text{ Protein})$$

3.5.3 Uji Tanin

Metode kuantitatif pengujian kadar tanin mengacu pada AOAC (2005) menggunakan reagen Folin–Denis. Larutan stok asam tanat 1.000 mg/L diencerkan menjadi 100–300 mg/L, kemudian 1 mL larutan standar direaksikan dengan Folin–Denis dan Na₂CO₃ hingga volume 10 mL sehingga diperoleh konsentrasi akhir 10–30 mg/L. Setelah inkubasi 30 menit pada suhu ruang, absorbansi diukur pada 765 nm. Kurva standar digunakan untuk memperoleh persamaan regresi linear sebagai dasar penentuan kadar tanin sampel. Sampel dianalisis setelah dilakukan pengenceran yang sesuai, dan kadar tanin dihitung berdasarkan persamaan regresi linear dari kurva standar asam tanat.

$$y = ax + b$$

$$\text{Kadar Tanin (mg TAE/g)} = \frac{C \times V \times F_p}{W}$$

Keterangan:

y = absorbansi sampel

x = konsentrasi tanin (ppm)

C = konsentrasi tanin dari kurva standar (mg/L)

V = volume ekstrak (L)

Fp = faktor pengenceran

W = berat sampel (g)

3.5.4 Uji Logam

Analisis kandungan logam pada sampel dilakukan di Laboratorium SIG menggunakan metode ICP-MS dan ICP-OES. Pengujian dilakukan sesuai prosedur laboratorium yang berlaku untuk memastikan akurasi dan keandalan hasil analisis.

3.5.5 Formulasi *Body Scrub*

Formulasi *body scrub* pada penelitian ini menggunakan tepung kulit pisang kepok sebagai material eksfolian alami dengan dua variasi ukuran partikel yaitu, 40 mesh (F1) dan 60 mesh (F2). Seluruh komposisi bahan selain ukuran mesh tepung kulit pisang dibuat tetap pada setiap formulasi. Proses pembuatan *body scrub* diawali dengan menyiapkan seluruh alat dan bahan, kemudian masing-masing bahan ditimbang sesuai dengan formulasi yang telah ditentukan. Bahan kemudian dipisahkan menjadi fase minyak (asam stearat, setil alkohol, dan minyak zaitun) serta fase air (akuades dan propilen glikol). Fase air dipanaskan hingga suhu 40°C, sedangkan fase minyak dipanaskan hingga 70°C. Kedua fase dicampurkan dan diaduk hingga membentuk emulsi homogen. Selanjutnya ditambahkan *phenoxyethanol* dan tepung kulit pisang kepok sesuai perlakuan (40 mesh atau 60 mesh) secara bertahap sambil terus diaduk. Setelah homogen, ditambahkan parfum mawar dan *triethanolamine* (TEA) sambil diaduk perlahan. *Body scrub* yang telah diformulasikan kemudian dikemas dalam wadah bersih dan tertutup rapat, selanjutnya diuji sesuai dengan prosedur analisis yang tercantum pada Lampiran 2.



IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Eksplorasi

4.1.1 Profil Mitra

UKM Unggul Barokah merupakan usaha mikro yang bergerak di bidang pengolahan keripik pisang dan telah beroperasi sejak tahun 2010. Produk yang telah dihasilkan telah dipasarkan melalui toko ritel, platform daring, serta didistribusikan ke berbagai daerah di luar Pulau Jawa. Perusahaan telah memiliki legalitas usaha berupa Nomor Induk Berusaha (NIB), sertifikat halal, dan izin Pangan Industri Rumah Tangga (PIRT). Bahan baku pisang sebagian besar dipasok dari Palembang karena memiliki kualitas yang lebih baik dan tingkat penerimaan konsumen yang lebih tinggi dibandingkan daerah pemasok lainnya. Kapasitas produksi bergantung pada ketersediaan bahan baku dengan kebutuhan berkisar 0,8–2 ton per minggu, sehingga fluktuasi pasokan akibat kondisi cuaca maupun keterbatasan stok dari pemasok dapat memengaruhi kontinuitas proses produksi.

Proses produksi keripik pisang di UKM Unggul Barokah menghasilkan limbah kulit pisang kepok dalam jumlah besar yang hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah tersebut umumnya disimpan pada suhu ruang tanpa penanganan pascapanen sehingga cepat mengalami pencokelatan dan pembusukan. Kondisi tersebut menyebabkan penurunan mutu bahan baku dan membatasi potensi pemanfaatannya. Diperlukannya proses pengolahan yang tepat untuk mempertahankan kualitas bahan sekaligus meningkatkan nilai tambah limbah kulit pisang. Ketersediaan limbah secara kontinu di UKM Unggul Barokah menjadi dasar dalam perancangan proses produksi tepung kulit pisang kepok pada penelitian ini.

4.1.2 Karakterisasi Bahan Baku Kulit Pisang Kepok

Karakterisasi bahan baku dilakukan melalui analisis proksimat untuk mengetahui komposisi dasar kulit pisang kepok sebagai acuan perancangan proses produksi tepung. Hasil analisis disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Karakteristik kulit pisang kepok segar

Komponen	Kadar (%)
Air	$86,5 \pm 0,3$
Abu	$1,49 \pm 0,04$
Lemak	$7,4 \pm 0,4$
Protein	$0,22 \pm 0,04$
Karbohidrat	4,38*
Serat kasar	$39,1 \pm 0,7$

*Karbohidrat diukur dengan menggunakan metode *by difference*

Berdasarkan hasil analisis proksimat pada Tabel 4, kulit pisang kepok segar memiliki kadar air sebesar $86,5 \pm 0,3\%$, yang menunjukkan bahwa bahan baku didominasi oleh air. Kadar air yang tinggi merupakan karakteristik umum kulit pisang dan biomassa hortikultura sehingga berimplikasi terhadap

rendahnya stabilitas penyimpanan, tingginya aktivitas mikroba, serta meningkatnya kebutuhan energi selama proses pengeringan. Nilai tersebut sejalan dengan laporan Emaga *et al.* (2007) yang menunjukkan bahwa kulit pisang segar memiliki kadar air tinggi sehingga memerlukan proses pengeringan untuk meningkatkan stabilitas dan mempermudah penanganan selama pengolahan.

Komponen padatan didominasi oleh karbohidrat (4,38%) dan serat kasar ($39,1 \pm 0,7\%$), sedangkan kadar lemak ($7,4 \pm 0,4\%$) dan protein ($0,22 \pm 0,04\%$) relatif rendah. Kandungan serat tersebut menunjukkan bahwa kulit pisang masih mempertahankan matriks lignoselulosa yang tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin, sehingga berpotensi menghasilkan partikel dengan kekuatan mekanis yang memadai sebagai agen eksfoliasi alami. Selain itu, kadar lemak yang rendah diperkirakan mendukung stabilitas penyimpanan dengan mengurangi potensi oksidasi lipid, sedangkan kadar abu sebesar $1,49 \pm 0,04\%$ mengindikasikan bahwa mineral alami masih dipertahankan dalam jaringan kulit pisang. Karakteristik ini konsisten dengan laporan Pereira *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa kulit pisang merupakan biomassa lignoselulosa dengan kandungan serat struktural yang tinggi dan berpotensi dimanfaatkan sebagai biomaterial.

Selama penanganan bahan juga diamati keluarnya getah alami setelah proses pemotongan. Getah kulit pisang diketahui mengandung senyawa fenolik, termasuk tanin, yang berperan dalam mekanisme pertahanan tanaman terhadap kerusakan jaringan (Mohapatra *et al.* 2010; Acevedo *et al.* 2021). Keberadaan senyawa tersebut dapat meningkatkan adhesivitas bahan, mempercepat pencokelatan akibat oksidasi fenolik, serta memengaruhi karakteristik bahan selama pengolahan. Kadar tanin digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi efektivitas perlakuan perendaman dalam penelitian ini.

Berdasarkan karakteristik tersebut, pengembangan proses produksi difokuskan pada penurunan kadar air melalui pengeringan, pengurangan kandungan tanin melalui praperlakuan perendaman, serta pengendalian ukuran partikel melalui proses penepungan dan pengayakan. Pengendalian ukuran partikel penting karena memengaruhi kemampuan eksfoliasi, di mana partikel yang terlalu besar meningkatkan abrasivitas, sedangkan partikel yang terlalu halus menurunkan efektivitas pengangkatan korneosit pada lapisan *stratum corneum* (Ogorzałek *et al.* 2024). Karakteristik tersebut menjadi dasar penentuan parameter proses yang dievaluasi pada tahap praperlakuan dan pengeringan untuk menghasilkan tepung dengan sifat yang sesuai sebagai material eksfolian alami.

4.2 Hasil Pendefinisian Masalah

Hasil eksplorasi menunjukkan bahwa pemanfaatan kulit pisang kepek sebagai bahan baku tepung masih menghadapi beberapa kendala yang berpotensi memengaruhi kualitas material. Kendala tersebut meliputi rendahnya rendemen tepung yang dihasilkan serta keberadaan getah alami yang mengandung senyawa tanin. Rendemen yang rendah dapat menurunkan efisiensi pemanfaatan bahan baku, sedangkan kandungan tanin berpotensi menyebabkan pencoklatan, memengaruhi warna material, dan menurunkan mutu estetika bahan sehingga perlu dikurangi sebelum diaplikasikan sebagai material eksfolian alami. Temuan tersebut

menunjukkan bahwa pengembangan tepung kulit pisang kepek tidak cukup dilakukan melalui proses penepungan, tetapi juga memerlukan perlakuan awal yang mampu mengurangi kandungan tanin untuk menghasilkan material dengan karakteristik yang sesuai bagi aplikasi kosmetik. Berdasarkan permasalahan tersebut, tepung kulit pisang kepek perlu memenuhi karakteristik fisikokimia, sifat fungsional, mikrostruktur, dan keamanan yang mendukung penggunaannya sebagai material eksfolian alami. Karakterisasi dilakukan terhadap komposisi proksimat, pH, warna, sifat fungsional, morfologi partikel, cemaran logam berat, serta kadar tanin sebagai indikator efektivitas perlakuan awal. Hasil karakterisasi tersebut menjadi dasar dalam menilai kesesuaian tepung kulit pisang kepek sebagai material eksfolian alami pada formulasi *body scrub*.

4.3 Hasil Ideasi

Berdasarkan kebutuhan material yang telah dirumuskan, kulit pisang kepek dikembangkan menjadi tepung fungsional sebagai bahan baku *body scrub*. Bentuk tepung dipilih karena lebih homogen, mudah ditangani dan disimpan, serta memungkinkan pengendalian ukuran partikel dan karakterisasi material secara lebih komprehensif dibandingkan biomassa segar (Ramírez-Pulido *et al.* 2021). Selain itu, pendekatan ini meningkatkan nilai tambah biomassa sehingga lebih siap diaplikasikan pada berbagai produk.

4.3.1 Perancangan Proses Produksi Iterasi Pertama

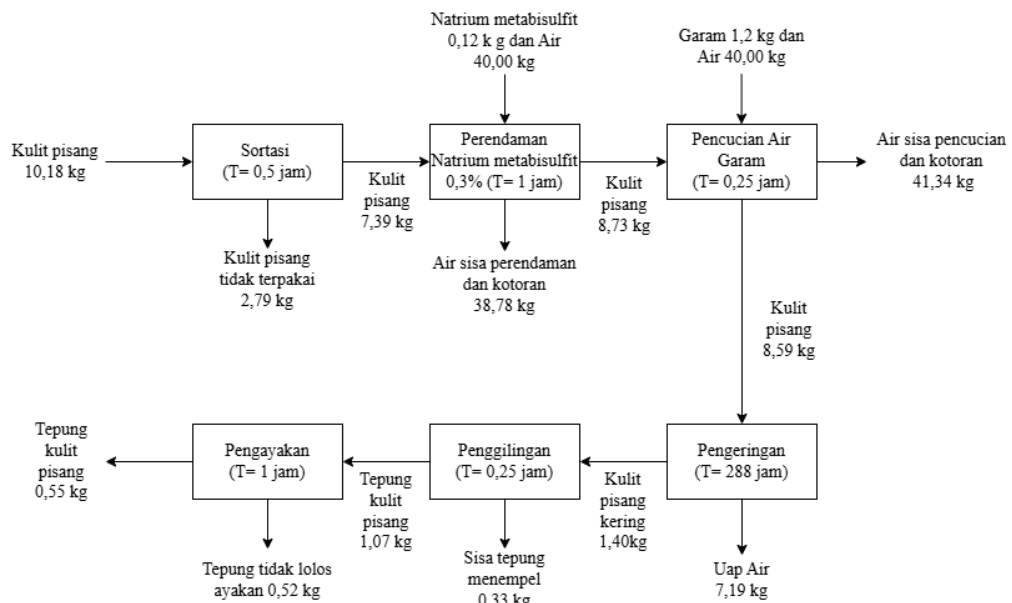
Proses produksi tepung kulit pisang kepek pada iterasi pertama terdiri atas tahapan sortasi, praperlakuan, pengeringan, penggilingan, dan pengayakan. Hasil neraca massa dan diagram alir proses masing-masing disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 3.

Tabel 5 Neraca massa proses produksi tepung kulit pisang kepek

Sortasi			
Massa masuk (kg)	Jumlah (kg)	Massa keluar (kg)	Jumlah (kg)
Kulit pisang	10,18	Kulit pisang	7,39
		Kulit tidak terpakai	2,79
Total	10,18		10,18
Perendaman natrium metabisulfit 0,3%			
Kulit pisang	7,39	Kulit pisang	8,73
Air	40,00	Air sisa rendaman	38,78
Na ₂ S ₂ O ₅	0,12		
Total	47,51		47,51
Pencucian NaCl 3%			
Kulit pisang	8,73	Kulit pisang	8,59
Air	40,00	Air sisa pencucian	41,34
Garam	1,20		
Total	49,93		49,93

Tabel 5 Neraca massa proses produksi tepung kulit pisang kepok (lanjutan)

Pengerinan			
Massa masuk (kg)	Jumlah (kg)	Massa keluar (kg)	Jumlah (kg)
Kulit pisang	8,59	Kulit pisang	1,4
		Uap air	7,19
Total	8,59		8,59
Penggilingan			
Kulit pisang kering	1,4	Tepung kulit pisang	1,07
		Sisa tepung menempel	0,33
Total	1,4		1,4
Pengayakan			
Tepung kulit pisang	1,07	Tepung kulit pisang lolos ayakan	0,55
		Tidak lolos ayakan	0,52
Total	1,07		1,07

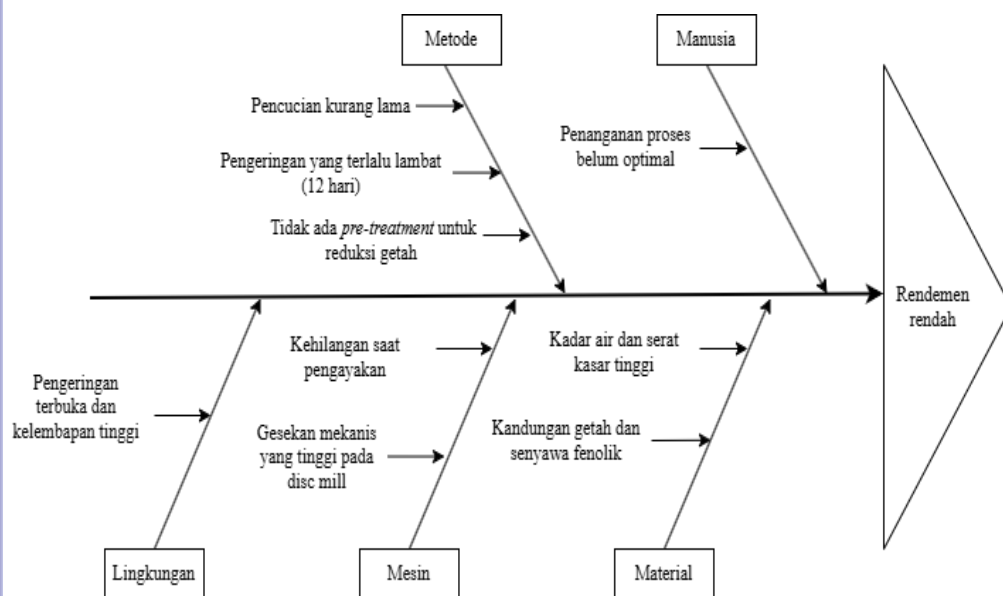


Gambar 3 Neraca massa produksi tepung kulit pisang kepok pada iterasi pertama

Berdasarkan prinsip neraca massa, setiap tahapan proses berkontribusi terhadap perubahan massa bahan akibat kehilangan komponen tertentu maupun penyusutan selama pengolahan (Deng *et al.* 2019). Berdasarkan hasil Tabel 5, dari 7,39 kg kulit pisang kepok segar setelah sortasi menghasilkan 0,55 kg tepung dengan rendemen sebesar $7,44 \pm 0,05$ % dalam bobot basah. Rendahnya rendemen terutama berkaitan dengan tingginya kadar air kulit pisang segar yang dapat mencapai $86,5 \pm 0,3\%$, sehingga penguapan air selama pengeringan menyebabkan penyusutan massa yang besar. Menurut Emaga *et al.* (2007), kulit pisang mengandung kadar air yang tinggi serta fraksi serat pangan yang didominasi oleh selulosa, hemiselulosa, dan lignin, sehingga proses pengeringan menyebabkan kehilangan bobot yang cukup besar. Kadar serat kasar tepung kulit pisang kepok yang diperoleh sebesar $39,1 \pm 0,7\%$ turut memengaruhi efisiensi

proses penepungan dan pengayakan. Kandungan serat yang tinggi menghasilkan partikel yang lebih bersifat fibrous dan kurang mudah terfragmentasi dibandingkan bahan yang kaya pati, sehingga sebagian material tertahan pada alat penepung maupun ayakan. Kehilangan bahan selama proses penggilingan dan pengayakan mencapai 60,61%, yang diduga disebabkan oleh tepung yang melekat pada permukaan *disc mill* serta fraksi berukuran kasar yang tidak lolos ayakan 60 mesh. Temuan ini sesuai dengan hasil Pathak *et al.* (2017), menjelaskan bahwa biomassa berbasis kulit buah dengan kandungan serat tidak larut yang tinggi umumnya menunjukkan efisiensi penepungan yang lebih rendah dibandingkan bahan berpati karena struktur dinding sel yang lebih resisten terhadap proses penghancuran mekanis.

4.3.2 Perancangan Praperlakuan Material



Gambar 4 Diagram *fishbone* penyebab rendahnya rendemen tepung pada iterasi pertama

Analisis akar penyebab menggunakan diagram fishbone menunjukkan bahwa rendahnya kinerja prototipe pada iterasi pertama dipengaruhi oleh faktor material, mesin, metode, manusia, dan lingkungan. Permasalahan utama yang teridentifikasi adalah rendahnya rendemen tepung setelah proses sortasi, yaitu sebesar $7,48 \pm 0,05\%$. Rendemen yang rendah terutama dipengaruhi oleh karakteristik intrinsik kulit pisang kepok yang memiliki kadar air tinggi (86,5%) dan kandungan serat kasar sebesar $39,1 \pm 0,7\%$ (basis kering). Kandungan air yang tinggi menyebabkan kehilangan massa yang signifikan selama proses pengeringan, sedangkan fraksi serat yang dominan meningkatkan kesulitan pada proses penggilingan dan pengayakan sehingga memperbesar kehilangan produk. Kondisi tersebut sejalan dengan Larrosa dan Otero (2021), yang menyatakan bahwa tahapan pengeringan, penggilingan, dan pengayakan merupakan unit operasi kritis yang menentukan rendemen dan mutu tepung berbasis limbah buah. Kandungan getah yang kaya senyawa fenolik dan polisakarida meningkatkan sifat adhesif material terhadap permukaan peralatan proses sehingga turut berkontribusi terhadap kehilangan produk selama penepungan. Temuan ini

didukung oleh Acevedo *et al.* (2021), yang melaporkan bahwa tingginya kandungan serat struktural dan senyawa fenolik pada kulit pisang memengaruhi perilaku fisik material selama pengolahan, sedangkan Mohapatra *et al.* (2010) menjelaskan bahwa getah alami pada kulit pisang berperan dalam meningkatkan adhesivitas material selama proses mekanis.

Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kinerja proses tidak hanya bergantung pada optimasi unit operasi, tetapi juga memerlukan modifikasi karakteristik bahan melalui tahapan praperlakuan. Berbagai metode praperlakuan, seperti perlakuan termal, fermentasi, dan perendaman, telah dilaporkan mampu memperbaiki karakteristik bahan sebelum proses pengolahan. Dalam penelitian ini dipilih perendaman menggunakan larutan NaCl karena merupakan metode yang sederhana, ekonomis, dan mudah diimplementasikan pada skala usaha kecil dan menengah. Perendaman dalam larutan garam diketahui mampu meningkatkan perpindahan massa sehingga memfasilitasi pelepasan senyawa yang larut dalam air, termasuk sebagian senyawa fenolik dan getah yang memengaruhi karakteristik fisik material (Gil-Martín *et al.* 2022). Berdasarkan mekanisme tersebut, kadar tanin digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi efektivitas praperlakuan dalam memperbaiki karakteristik tepung. Hasil evaluasi ini selanjutnya menjadi dasar pengembangan desain proses pada iterasi kedua melalui penambahan tahapan perendaman sebelum proses pengeringan dan penepungan.

4.3.3 Perancangan Distribusi Ukuran Partikel

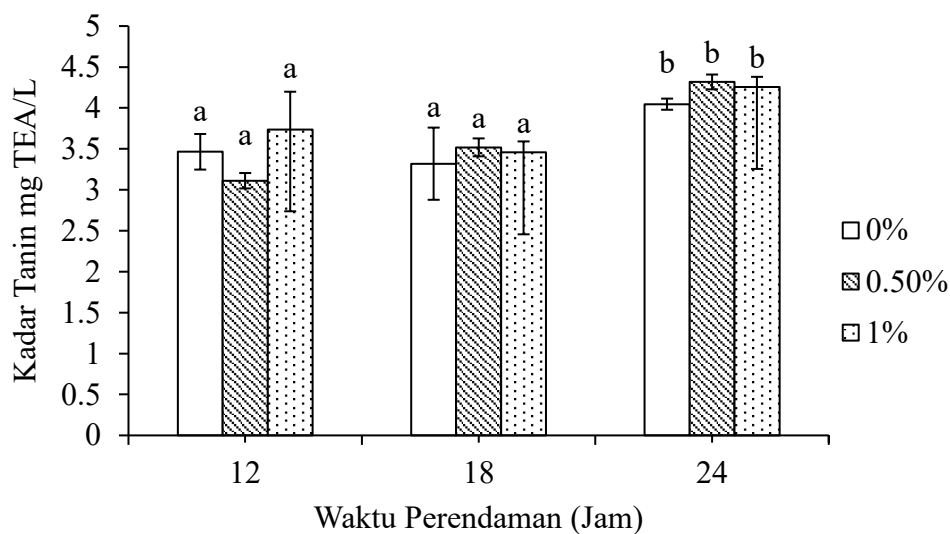
Formulasi produk *body scrub* difokuskan pada pengendalian distribusi ukuran partikel melalui proses pengayakan menggunakan ayakan 40 dan 60 mesh. Pemilihan kedua ukuran tersebut didasarkan pada pertimbangan bahwa ukuran partikel merupakan salah satu parameter kritis yang menentukan karakteristik material eksfolian, termasuk homogenitas, tekstur, kemampuan eksfoliasi, serta kenyamanan aplikasi pada kulit. Partikel yang lebih halus umumnya menghasilkan sensasi aplikasi yang lebih lembut dan distribusi yang lebih seragam dalam basis formulasi, sedangkan partikel yang lebih kasar berpotensi meningkatkan efek eksfoliasi mekanis, tetapi dapat meningkatkan tingkat abrasivitas apabila ukuran partikel terlalu besar (Ogorzałek *et al.* 2024). Berdasarkan pertimbangan tersebut, ukuran partikel 40 dan 60 mesh ditetapkan sebagai dua alternatif desain untuk mengevaluasi pengaruh distribusi ukuran partikel terhadap karakteristik material dan performa aplikasinya sebagai eksfolian alami dalam formulasi *body scrub*. Hasil evaluasi karakteristik fisik dan pengujian sensori digunakan sebagai dasar dalam menentukan alternatif desain yang paling sesuai.

4.4 Hasil Pengembangan Prototipe

4.4.1 Pengaruh Konsentrasi dan Lama Perendaman Air Garam

Perendaman kulit pisang dalam larutan garam merupakan salah satu praperlakuan yang berpotensi menurunkan kadar tanin melalui mekanisme osmosis, difusi, dan *leaching*. Larutan garam membentuk gradien tekanan osmotik antara jaringan kulit pisang dan media perendaman sehingga terjadi perpindahan air dan senyawa terlarut dari jaringan ke dalam larutan. Ramya dan

Jain (2017) menjelaskan bahwa proses osmosis merupakan perpindahan massa secara simultan yang melibatkan keluarnya air dari jaringan serta perpindahan zat terlarut. Selain itu, penelitian Pantelidou *et al.* (2021) menunjukkan bahwa senyawa fenolik dapat berdifusi selama perlakuan osmotik. Tanin termasuk kelompok senyawa fenolik yang larut dalam air, sebagian tanin diperkirakan ikut mengalami *leaching* ke media perendaman sehingga kadar tanin, rasa sepat, dan kandungan getah pada kulit pisang berpotensi menurun. Untuk memverifikasi mekanisme tersebut, dilakukan pengukuran kadar tanin pada air perendaman kulit pisang. Hasil pengukuran disajikan pada Gambar 5, sedangkan kurva standar yang digunakan dalam perhitungan disajikan pada Lampiran 3.



Gambar 5 Pengaruh konsentrasi dan lama perendaman NaCl terhadap kadar tanin dalam media perendaman

Penentuan kadar tanin dilakukan menggunakan metode spektrofotometri berdasarkan kurva standar asam tanat (TAE). Kurva standar menunjukkan hubungan linier antara konsentrasi asam tanat (10–30 ppm) dan absorbansi dengan persamaan regresi $y = 0,0539x - 0,4622$ serta koefisien determinasi $R^2 = 0,9922$. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan linearitas yang sangat baik, sehingga perubahan absorbansi dapat merepresentasikan perubahan konsentrasi tanin secara akurat. Linearitas yang tinggi tersebut mengindikasikan bahwa kurva kalibrasi layak digunakan sebagai dasar perhitungan kadar tanin pada sampel kulit pisang kepok. Berdasarkan hasil ANOVA yang disajikan pada Lampiran 4, pengaruh konsentrasi dan interaksi antara konsentrasi larutan garam dan lama perendaman tidak berpengaruh signifikan ($p > 0,05$), yang menunjukkan bahwa respons pelarutan tanin terhadap lama perendaman bersifat konsisten pada seluruh tingkat konsentrasi yang diuji. Sebaliknya, lama perendaman berpengaruh signifikan ($p < 0,05$), mengindikasikan bahwa durasi kontak antara bahan dan media perendaman merupakan faktor dominan yang mengendalikan difusi tanin ke dalam larutan. Agarwal *et al.* (2020) melaporkan bahwa larutan garam dapat memengaruhi perpindahan massa dan hidrasi jaringan, dengan proses yang berlangsung secara bertahap hingga mendekati kondisi kesetimbangan. Temuan ini menunjukkan bahwa dalam rentang

konsentrasi larutan garam yang diterapkan, peningkatan konsentrasi belum mampu meningkatkan pelarutan tanin secara signifikan, sedangkan perpanjangan waktu perendaman memberikan kesempatan yang lebih besar bagi perpindahan massa tanin dari jaringan kulit pisang menuju media perendaman.

Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa perlakuan perendaman selama 24 jam berbeda nyata dibandingkan perlakuan 12 dan 18 jam. Kadar tanin terlarut tertinggi diperoleh pada perlakuan dengan konsentrasi larutan garam 0,5% dan lama perendaman 24 jam yaitu sebesar $4,32 \pm 0,09$ mg TEA/g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman, semakin banyak tanin yang berdifusi dari jaringan kulit pisang ke dalam media perendaman melalui mekanisme osmosis, difusi, dan *leaching*. Temuan ini sejalan dengan penelitian Bethapudi *et al.* (2023), yang melaporkan bahwa perendaman dalam larutan garam 10% mampu menurunkan kandungan tanin pada kernel biji mangga dari 0,294 menjadi 0,274 mg/100 g. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa perpanjangan waktu kontak antara bahan dan larutan perendaman meningkatkan perpindahan senyawa antinutrisi yang larut air ke dalam media, sehingga kadar tanin dalam bahan semakin berkurang. Penurunan kadar tanin tersebut selanjutnya dievaluasi melalui uji sensori untuk mengetahui tingkat rasa sepat pada tepung kulit pisang. Hasil pengujian sensori disajikan pada Tabel 6 dan lembar penilaian uji sensori tepung kulit pisang kepok disajikan pada Lampiran 5.

Tabel 6 Hasil pengujian sensori tepung kulit pisang kepok

Perlakuan	Karakteristik				Penerimaan
	Warna	Aroma	Rasa	Tekstur	
A1B1	$3,3 \pm 0,9^{bc}$	$3,3 \pm 0,9$	$2,8 \pm 0,9^a$	3 ± 1	$3,2 \pm 0,9^a$
A2B1	$3,3 \pm 0,7^{bc}$	3 ± 1	3 ± 1^{ab}	3 ± 1	$3,2 \pm 0,9^a$
A3B1	$3,5 \pm 0,9^b$	$3,4 \pm 0,8$	3 ± 1^{abc}	$3,6 \pm 0,8$	$3,4 \pm 0,8^{ab}$
A1B2	$3,4 \pm 0,8^{bc}$	$3,5 \pm 0,8$	$3,4 \pm 0,8^{bc}$	3 ± 1	$3,4 \pm 0,7^a$
A2B2	$3,1 \pm 0,9^{ab}$	3 ± 1	3 ± 1^{abc}	3 ± 1	$3,3 \pm 0,9^a$
A3B2	3 ± 1^a	3 ± 1	3 ± 1^{bc}	3 ± 1	$3,2 \pm 0,8^a$
A1B3	3 ± 1^{bc}	$3,3 \pm 0,9$	$3,4 \pm 0,9^{bc}$	3 ± 1	$3,3 \pm 0,8^a$
A2B3	$3,3 \pm 0,9^{bc}$	3 ± 1	3 ± 1^c	$3,6 \pm 0,9$	$3,4 \pm 0,9^{ab}$
A3B3	$3,3 \pm 0,9^{bc}$	$3,5 \pm 0,9$	3 ± 1^{bc}	$3,4 \pm 0,9$	$3,7 \pm 0,8^b$

Huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$), sedangkan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata ($p > 0,05$).

Hasil uji sensori menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata terhadap warna, rasa, dan penerimaan keseluruhan, tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap aroma dan tekstur. Hasil analisis ANOVA untuk setiap parameter sensori disajikan pada Lampiran 6. Perbedaan pada atribut rasa menunjukkan bahwa perendaman dalam larutan garam berpotensi menurunkan intensitas rasa sepat melalui pelepasan senyawa tanin yang larut dalam air. Penurunan kandungan tanin mengurangi interaksi antara tanin terlarut dan protein saliva yang merupakan mekanisme utama pembentukan sensasi astringen, sehingga meningkatkan penerimaan sensori terhadap tepung (Zhao *et al.* 2025). Perbedaan pada parameter warna mengindikasikan bahwa perendaman juga

memengaruhi karakteristik visual tepung, yang diduga berkaitan dengan berkurangnya senyawa fenolik yang mudah mengalami oksidasi selama proses pengolahan. Parameter aroma dan tekstur tidak mengalami perubahan yang nyata, menunjukkan bahwa perlakuan perendaman belum cukup memengaruhi komponen volatil maupun karakteristik fisik tepung. Secara keseluruhan, hasil tersebut menunjukkan bahwa perendaman dalam larutan garam berpotensi meningkatkan mutu sensori tepung kulit pisang, terutama pada aspek rasa, warna, dan penerimaan keseluruhan.

4.4.2 Penentuan Praperlakuan Perendaman NaCl Terbaik

Penentuan perlakuan terbaik dilakukan menggunakan metode De Garmo (indeks efektivitas), yaitu metode pengambilan keputusan multikriteria yang mengintegrasikan beberapa parameter menjadi satu nilai efektivitas. Metode De Garmo dipilih karena mampu mengintegrasikan beberapa parameter mutu yang memiliki tingkat kepentingan berbeda ke dalam satu nilai indeks efektivitas melalui proses pembobotan dan normalisasi (Syahrie 2025). Alternatif terbaik dapat dipilih berdasarkan evaluasi seluruh parameter secara simultan, sehingga keputusan yang dihasilkan lebih komprehensif dibandingkan hanya menggunakan satu parameter penilaian. Penilaian dilakukan dengan memberikan bobot sebesar 0,60 pada kadar tanin dan 0,40 pada atribut sensori. Nilai efektivitas setiap perlakuan diperoleh melalui tahapan normalisasi, pembobotan, dan penjumlahan skor setiap parameter sesuai metode De Garmo. Perhitungan lengkap indeks efektivitas untuk seluruh alternatif perlakuan disajikan pada Lampiran 8.

Tabel 7 Hasil penentuan perlakuan terbaik menggunakan metode indeks efektivitas De Garmo

Perlakuan	NE Tanin	NE Total Sensori	Total
A1B1	0,176	0,081	0,257
A2B1	0,000	0,130	0,130
A3B1	0,312	0,266	0,578
A1B2	0,103	0,242	0,346
A2B2	0,203	0,153	0,355
A3B2	0,172	0,102	0,273
A1B3	0,465	0,217	0,682
A2B3	0,600	0,314	0,914
A3B3	0,569	0,275	0,844

Berdasarkan hasil analisis dengan metode de Garmo didapatkan hasil perlakuan terbaik dengan nilai indeks efektivitas sebesar 0,914 pada sampel A2B3 yaitu perlakuan pada perendaman larutan garam konsentrasi 0,5% dan lama perendaman 24 jam. Sedangkan, nilai efektivitas terendah diperoleh pada sampel A2B1 yaitu konsentrasi 0,5% dan lama perendaman 12 jam. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perpanjangan waktu perendaman berkontribusi terhadap peningkatan efektivitas proses pelarutan tanin dalam kulit pisang kepok. Semakin lama bahan berkontak dengan larutan perendaman, semakin besar

peluang terjadinya difusi senyawa tanin yang bersifat larut air ke dalam media perendaman sehingga kandungan tanin pada bahan semakin berkurang. Fenomena ini sejalan dengan penelitian Bahlawan *et al.* (2025) yang melaporkan bahwa laju pelepasan tanin selama proses perendaman meningkat seiring bertambahnya waktu kontak, karena berlangsungnya proses difusi tanin dari matriks bahan menuju larutan perendaman. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Bethapudi *et al.* (2023), yang menunjukkan bahwa perendaman selama 48 jam merupakan perlakuan yang paling efektif dalam menurunkan kandungan tanin pada biji mangga sebelum proses pemanasan. Peningkatan lama perendaman hingga 24 jam pada penelitian ini memberikan waktu yang lebih memadai bagi proses pelarutan tanin dan sensor yang baik, sehingga menghasilkan nilai indeks efektivitas tertinggi.

4.4.3 Proses Produksi Tepung Kulit Pisang Kepok Iterasi Kedua

Proses produksi pada iterasi kedua dikembangkan melalui penambahan tahapan perendaman menggunakan larutan NaCl 0,5% selama 24 jam serta peningkatan waktu pencucian dari 15 menjadi 30 menit. Modifikasi proses tersebut meningkatkan rendemen tepung, sebagaimana neraca massa yang ditunjukkan pada Tabel 8.

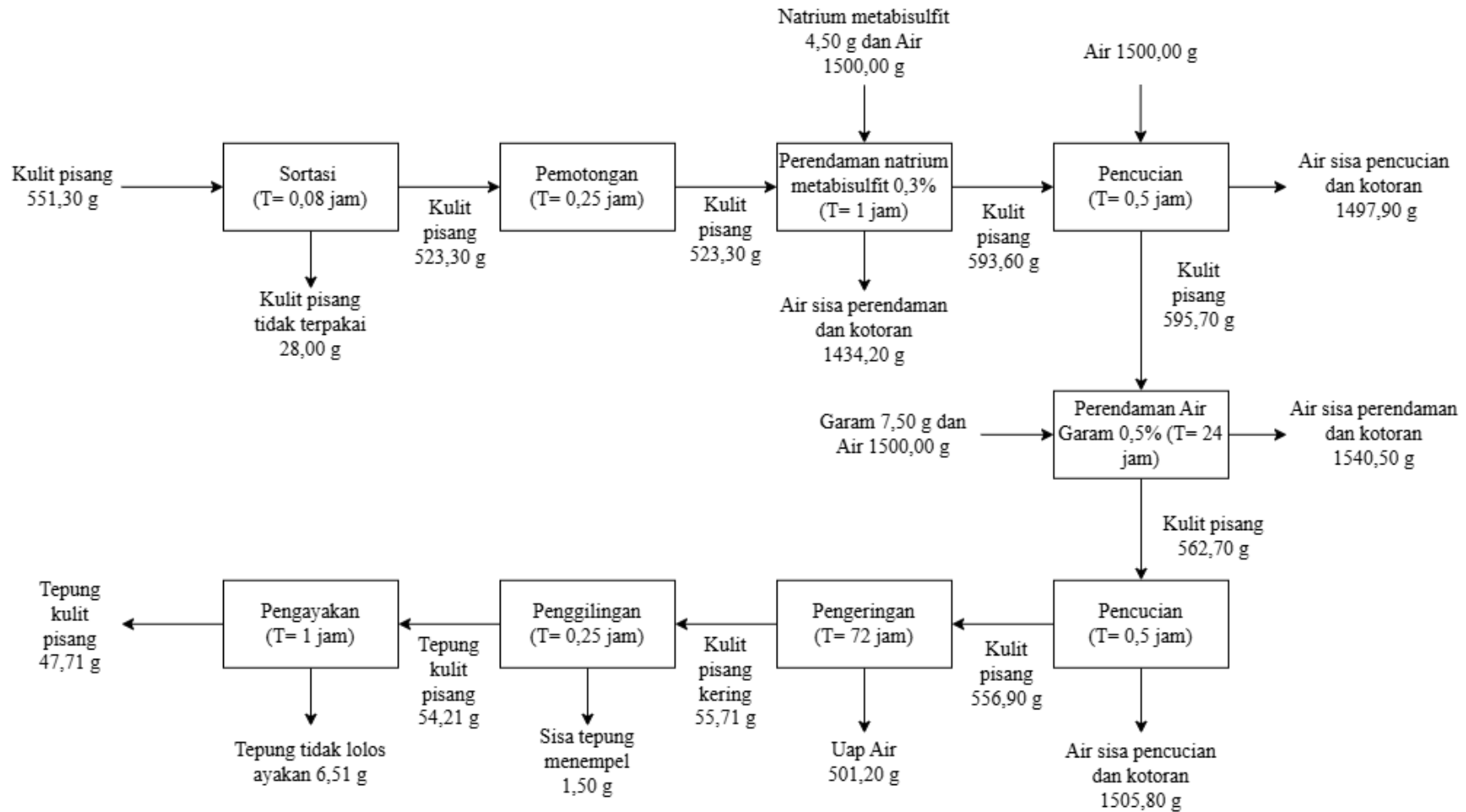
Tabel 8 Neraca massa proses produksi tepung kulit pisang kepok pada iterasi kedua

Pemotongan			
Massa masuk (g)	Jumlah (g)	Massa keluar (g)	Jumlah (g)
Kulit pisang	551,30	Kulit pisang	523,30
		Sisa kulit yang tidak terpakai	28,00
Total	551,30		551,30
Perendaman natrium metabisulfit 0,3%			
Kulit pisang	523,30	Kulit pisang	593,60
Air	1500,00	Air sisa rendaman	1434,20
Na ₂ S ₂ O ₅	4,50		
Total	2027,80		2027,80
Pencucian			
Kulit pisang	593,60	Kulit pisang	595,70
Air	1500,00	Air sisa pencucian	1497,90
Total	2093,60		2093,60

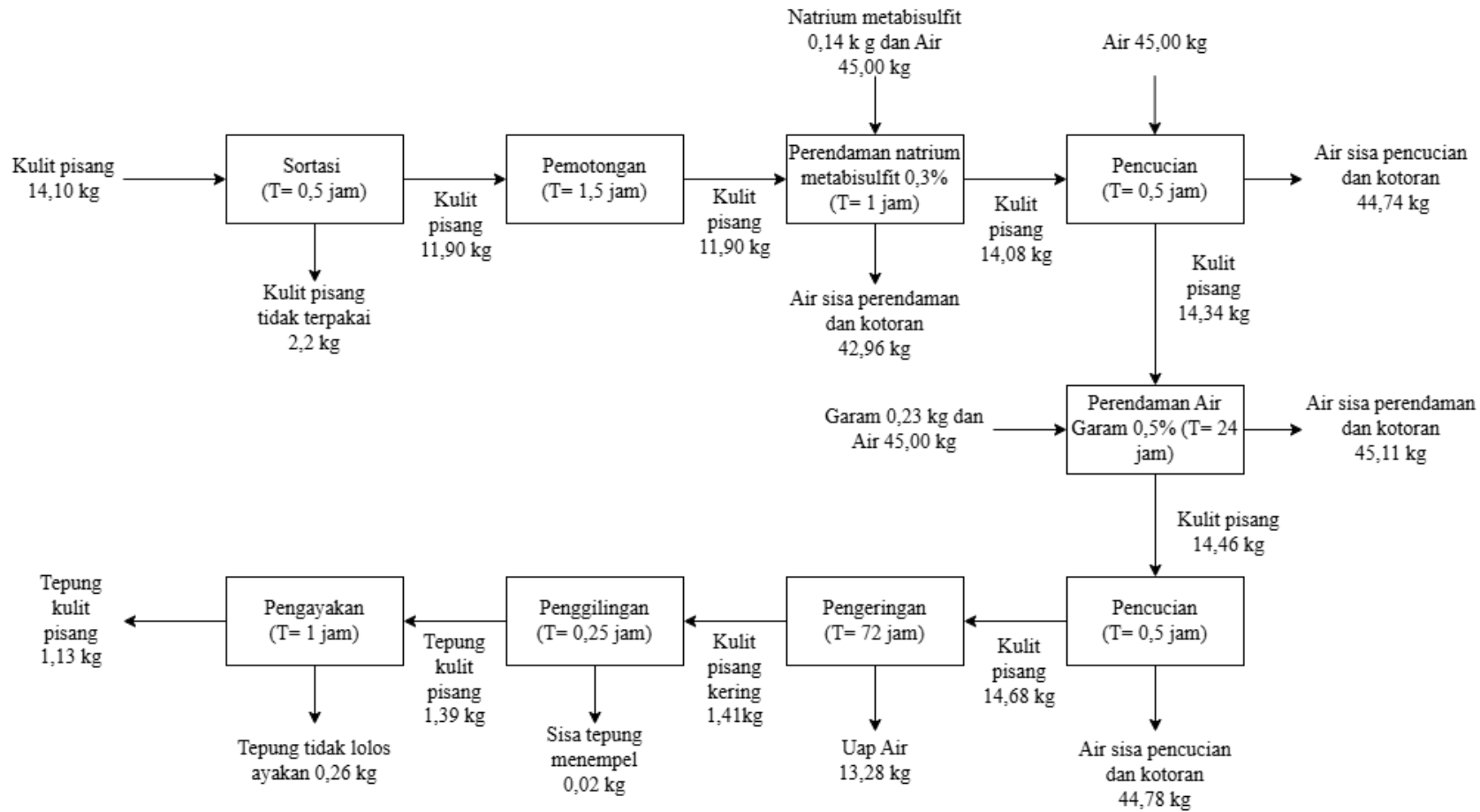
Tabel 8 Neraca massa proses produksi tepung kulit pisang kepok pada iterasi kedua (lanjutan)

Perendaman NaCl 0,5%			
Massa masuk (g)	Jumlah (g)	Massa keluar	Jumlah (g)
Kulit pisang	595,70	Kulit pisang	562,70
Air	1500,00	Air sisa rendaman	15780
Garam	7,50		
Total	2140,70		2140,70
Pencucian			
Kulit pisang	562,70	Kulit pisang	556,90
Air	1500,00	Air sisa pencucian	1505,80
Total	2062,70		2062,70
Pengeringan			
Kulit pisang	556,90	Kulit pisang	55,70
		Uap air	501,20
Total	556,90		556,90
Penggilingan			
Kulit pisang kering	55,70	Tepung kulit pisang	54,20
		Sisa tepung menempel	1,50
Total	55,70		55,70
Pengayakan			
Tepung kulit pisang	54,20	Tepung kulit pisang lolos ayakan	47,70
		Tidak lolos ayakan	6,50
Total	54,20		54,20

Hasil neraca massa pada Tabel 8 menunjukkan bahwa modifikasi proses pada iterasi kedua meningkatkan rendemen tepung yang dihitung berdasarkan massa bahan setelah proses sortasi, dari $7,48 \pm 0,05\%$ menjadi $9,3 \pm 0,3\%$ (basis basah), atau setara dengan $63 \pm 3\%$ (basis kering). Perhitungan konversi rendemen dari basis basah ke basis kering disajikan pada Lampiran 7. Peningkatan rendemen tersebut menunjukkan bahwa perbaikan tahapan praperlakuan dan pencucian berpotensi meningkatkan efisiensi proses produksi. Berdasarkan hasil tersebut, rancangan proses pada iterasi kedua ditetapkan sebagai desain proses terpilih karena menunjukkan kinerja proses yang lebih baik dibandingkan iterasi pertama. Desain tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar pengembangan proses dengan kapasitas bahan baku sebesar 14,10 kg. Diagram alir dan pengembangan proses produksi disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6 Neraca massa proses produksi tepung kulit pisang kepok pada iterasi kedua



Gambar 7 Neraca massa pada pengembangan proses produksi tepung kulit pisang kepek

4.4.4 Karakterisasi Fisikokimia Tepung Kulit Pisang

Tepung kulit pisang kepek hasil perlakuan terbaik dikarakterisasi berdasarkan sifat kimia, fisik, dan fungsional untuk mengevaluasi kualitas serta potensi aplikasinya sebagai bahan baku. Karakteristik kimia dilakukan untuk mengevaluasi komposisi nutrisi dan sifat keasaman dari tepung kulit pisang kepek. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air, abu, protein, lemak, karbohidrat, serat kasar, dan pH sebagai indikator mutu. Hasil karakterisasi kimia tepung kulit pisang kepek disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 Karakteristik kimia tepung kulit pisang kepek	
Komponen	Kadar (%)
Air	$8,3 \pm 0,1$
Abu	$9,0 \pm 0,2$
Lemak	$14,0 \pm 0,3$
Protein	$2,519 \pm 0,005$
Karbohidrat	$66,3^a$
Serat kasar	$8,43 \pm 0,03$
pH	$6,39 \pm 0,03$

^aKarbohidrat diukur dengan menggunakan metode *by difference*

Berdasarkan hasil karakterisasi kimia, tepung kulit pisang kepek memiliki kadar air yang rendah, menunjukkan bahwa proses pengeringan berlangsung secara efektif sehingga menghasilkan bahan yang lebih stabil selama penyimpanan. Kadar air dan *water activity* yang rendah diketahui berperan dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme serta memperlambat perubahan sifat fisikokimia bahan selama penyimpanan (Forsido *et al.* 2021). Selain itu, kadar abu yang relatif tinggi mengindikasikan keberadaan mineral alami yang masih dipertahankan setelah proses pengolahan, sedangkan kandungan karbohidrat dan serat menunjukkan bahwa struktur biomassa kulit pisang tetap terjaga. Karakteristik tersebut penting untuk mendukung kestabilan material serta mempertahankan integritas partikel ketika diaplikasikan sebagai material eksfolian pada formulasi *body scrub* (Ogorzalek *et al.* 2024).

Nilai pH tepung kulit pisang kepek sebesar $6,39 \pm 0,03$ menunjukkan karakteristik yang mendekati netral, mengindikasikan bahwa proses perendaman menggunakan larutan NaCl tidak menyebabkan perubahan keasaman yang berarti pada material. Silva *et al.* (2020) melaporkan bahwa pH merupakan parameter penting dalam karakterisasi tepung kulit pisang karena berkaitan dengan karakteristik kimia dan stabilitas bahan. Sejalan dengan hasil tersebut, Aliganza *et al.* (2025) menunjukkan bahwa nilai pH tepung lebih dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi larutan praperlakuan dibandingkan oleh proses pengeringan, sehingga penggunaan larutan NaCl pada penelitian ini menghasilkan tepung dengan pH yang tetap berada pada kisaran mendekati netral. Nilai pH yang mendekati netral tersebut mengindikasikan bahwa tepung kulit pisang kepek berpotensi diaplikasikan sebagai material eksfolian alami dalam formulasi *body scrub*, karena tidak memerlukan penyesuaian pH yang ekstrem selama proses formulasi. Selain itu, karakteristik ini juga mendukung kompatibilitas tepung dengan bahan penyusun formulasi lainnya sehingga membantu mempertahankan stabilitas fisik produk.

Karakteristik warna tepung kulit pisang kepok menjadi salah satu parameter fisik yang penting karena memengaruhi mutu bahan baku serta penampilan produk *body scrub* yang dihasilkan. Karakteristik visual tepung kulit pisang kepok hasil pengeringan disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8 Warna tepung kulit pisang kepok

Berdasarkan visual pada Gambar 8, tepung kulit pisang kepok memiliki warna cokelat yang menunjukkan terjadinya perubahan warna selama proses pengolahan. Lebih lanjut, hasil pengukuran warna menggunakan sistem CIELAB disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10 Karakteristik warna tepung kulit pisang kepok

Parameter	Nilai
L*	$46,5 \pm 0,2$
a*	$6,60 \pm 0,03$
b*	$20,02 \pm 0,06$

Hasil pengukuran warna dengan sistem CIELAB menunjukkan nilai L* $46,5 \pm 0,2$ dengan tingkat kecerahan yang relatif rendah. Sementara itu, nilai a* dan b* yang bernilai positif menunjukkan dominasi komponen warna merah dan kuning, sehingga menghasilkan penampakan cokelat kekuningan. Karakteristik warna tersebut mencerminkan terjadinya perubahan pigmen selama proses pengolahan, khususnya pada tahap pengeringan. Karakteristik tersebut sejalan dengan penelitian Liyana dan Naemaa (2025) yang melaporkan nilai L* sebesar $49,07 \pm 0,04$, a* sebesar $2,44 \pm 0,03$, dan b* sebesar $15,01 \pm 0,09$ pada tepung kulit pisang. Namun, nilai L* pada penelitian ini lebih rendah sekitar 2,57 satuan, yang menunjukkan warna tepung lebih gelap.

Perubahan warna pada tepung kulit pisang diduga terjadi akibat kombinasi reaksi pencokelatan enzimatis dan non-enzimatis. Pencokelatan enzimatis dapat diminimalkan melalui perendaman menggunakan natrium metabisulfit, yang menghambat aktivitas enzim polifenol oksidase dan mereduksi senyawa kuinon hasil oksidasi senyawa fenolik. Namun, selama proses pengeringan pada suhu tinggi masih dapat terjadi pencokelatan non-enzimatis melalui reaksi Maillard dan karamelisasi yang menghasilkan pigmen berwarna cokelat. Fenomena ini sejalan dengan Han *et al.* (2021), yang menyatakan bahwa reaksi Maillard

merupakan mekanisme utama pembentukan warna cokelat selama pengolahan termal. Qi *et al.* (2025) juga melaporkan bahwa proses termal pada produk berbasis tepung mempercepat pembentukan melanoidin sehingga menurunkan nilai kecerahan dan menghasilkan warna yang lebih gelap. Karakteristik warna tersebut memberikan tampilan alami pada tepung kulit pisang serta berpotensi memengaruhi warna formulasi *body scrub* yang dihasilkan.

4.4.5 Karakterisasi Sifat Fungsional Tepung Kulit Pisang

Karakterisasi fungsional dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan tepung kulit pisang kepek dalam berinteraksi dengan air selama proses pengolahan. Parameter yang dianalisis meliputi *swelling power*, kelarutan, dan suhu gelatinisasi yang merupakan indikator penting dalam menentukan potensi aplikasi tepung sebagai material eksfolian. Hasil karakterisasi fungsional disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11 Karakteristik fungsional tepung kulit pisang kepek

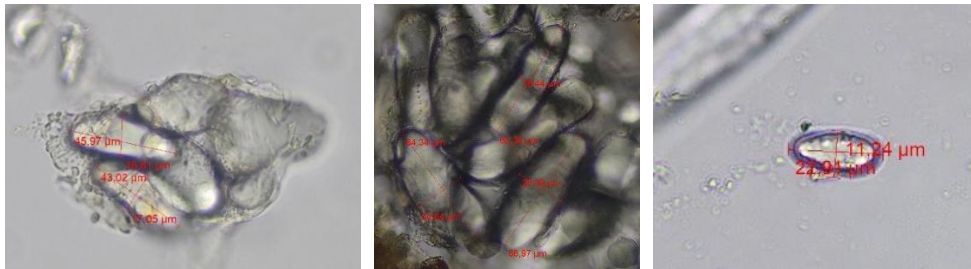
Parameter	Nilai
<i>Swelling Power</i> (g/g)	$11,9 \pm 0,7$
Kelarutan (%)	$23,5 \pm 0,2$
Suhu Gelatinisasi ($^{\circ}\text{C}$)	$66,5 \pm 0,7$
Waktu Gelatinisasi (detik)	91 ± 2

Berdasarkan hasil karakterisasi fungsional, tepung kulit pisang kepek memiliki nilai *swelling power* sebesar $11,9 \pm 0,7$ g/g, yang mengindikasikan kemampuan menyerap air dan mengembang selama hidrasi pada tingkat yang baik. Nilai tersebut sebanding dengan *swelling power* pati pisang yang dilaporkan berkisar antara 11,27–12,48 g/g (Yang *et al.* 2022). Kemampuan mengembang dipengaruhi oleh kandungan pati yang menyerap air dan mengalami pembengkakan granula, sedangkan keberadaan serat pangan pada kulit pisang dapat membatasi proses tersebut dengan menghambat penetrasi air ke dalam granula pati sehingga derajat pengembangannya menjadi lebih rendah (Chiranthika *et al.* 2024). Dalam formulasi *body scrub*, kemampuan menyerap air dan mengembang ini berperan dalam meningkatkan hidrasi partikel eksfolian sehingga membantu menghasilkan tekstur yang lebih lembut, memperbaiki daya sebar, serta mengurangi sensasi eksfolian selama aplikasi pada kulit.

Nilai kelarutan sebesar $23,5 \pm 0,2\%$ mengindikasikan bahwa partikel tepung masih mampu mempertahankan integritasnya selama proses. Selain itu, suhu gelatinisasi sebesar $66,5 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ dengan waktu gelatinisasi 91 ± 2 detik menunjukkan bahwa proses gelatinisasi berlangsung pada suhu sedang dengan waktu pemanasan yang relatif singkat. Menurut Yang *et al.* (2022), suhu gelatinisasi yang lebih rendah menunjukkan granula pati lebih mudah mengalami hidrasi dan gelatinisasi. Pada formulasi *body scrub*, karakteristik ini berpotensi mendukung proses pencampuran dan pembentukan basis sediaan yang lebih homogen apabila digunakan dalam sistem yang melibatkan pemanasan, tanpa mengurangi fungsi utama tepung sebagai eksfolian alami.

4.4.6 Karakterisasi Mikrostruktur Tepung Kulit Pisang

Karakterisasi mikrostruktur dilakukan untuk mengidentifikasi morfologi partikel dan granula pati yang terdapat pada tepung kulit pisang kepok setelah melalui tahapan pengeringan dan penepungan. Pengamatan mikrostruktur juga dapat memberikan gambaran mengenai keberadaan komponen struktural, seperti serat dan granula pati, yang berpotensi memengaruhi karakteristik fisik tepung serta aplikasinya sebagai bahan eksfolian alami. Hasil pengamatan menggunakan mikroskop disajikan Gambar 9.



Gambar 9 Morfologi tepung kulit pisang kepok hasil pengamatan mikroskop pada perbesaran 100x

Hasil pengamatan mikroskopis pada Gambar 9 menunjukkan bahwa granula pati tepung pisang memiliki bentuk yang beragam, meliputi bentuk oval, lonjong, poligonal, dan tidak beraturan, dengan masih ditemukannya fragmen serat yang menunjukkan bahwa struktur dinding sel belum sepenuhnya terdegradasi selama proses penepungan. Hasil ini sejalan dengan laporan Marta *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa granula pati pisang umumnya berbentuk *irregular*, *elongated*, serta *round* atau *spheroidal*. Keberadaan fragmen serat menunjukkan bahwa tepung kulit pisang masih mempertahankan komponen lignoselulosa, terutama selulosa dan hemiselulosa. Hal ini didukung oleh Mishra *et al.* (2023), yang melaporkan bahwa kulit pisang merupakan sumber selulosa alami dengan struktur serat yang tetap terjaga sebelum proses hidrolisis, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai biomaterial pada berbagai aplikasi, termasuk kosmetik. Variasi bentuk granula tersebut dipengaruhi oleh faktor genetik varietas pisang, tingkat kematangan buah, dan kondisi pertumbuhan tanaman.

Karakteristik morfologi tersebut mendukung potensi tepung kulit pisang kepok sebagai eksfolian mekanis dalam formulasi *body scrub*. Partikel berukuran 11,24–66,97 μm dengan bentuk yang tidak beraturan mampu meningkatkan titik kontak dan gaya gesek pada permukaan kulit sehingga membantu pelepasan korneosit pada lapisan stratum korneum secara efektif tanpa menyebabkan abrasi berlebihan. Keberadaan fragmen serat selulosa turut memberikan efek eksfolian ringan sekaligus meningkatkan tekstur mekanis partikel selama proses penggosokan. Di sisi lain, ukuran partikel yang relatif seragam setelah pengayakan 40 dan 60 mesh meningkatkan luas permukaan sehingga mendukung hidrasi, *swelling*, dan dispersi partikel dalam formulasi, yang berkontribusi terhadap sensasi eksfoliasi yang lebih lembut serta kemudahan pembilasan setelah penggunaan. Temuan ini sejalan dengan Ogorzalek *et al.* (2024), yang menyatakan bahwa ukuran dan morfologi partikel merupakan faktor utama yang menentukan efektivitas dan kenyamanan

eksfoliasi pada produk scrub, serta didukung oleh Chikpah *et al.* (2020) dan Bala *et al.* (2020), yang melaporkan bahwa pengecilan ukuran partikel meningkatkan kapasitas penyerapan air, *swelling capacity*, dan viskositas tepung. Pergeseran industri kosmetik dari *microplastic beads* menuju partikel lignoselulosa yang *biodegradable* juga semakin memperkuat potensi tepung kulit pisang sebagai eksfolian alami yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

4.4.7 Evaluasi Keamanan Material

Kandungan logam berat merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi dan keamanan bahan baku berbasis tanaman yang akan digunakan sebagai bahan *body scrub*. Logam berat dapat berasal dari tanah, air irigasi, deposisi atmosfer, penggunaan pupuk, maupun proses pengolahan sehingga berpotensi mencemari material (Zwolak *et al.* 2019). Pengujian cemaran logam berat pada tepung kulit pisang kepok dilakukan untuk memastikan bahwa bahan baku memenuhi persyaratan keamanan sebelum diaplikasikan sebagai eksfolian alami dalam formulasi *body scrub*. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12 Kandungan logam berat pada tepung kulit pisang kepok

Parameter	Satuan	Hasil Pengujian	Batas Maksimum*	Status
Timbal (Pb)	mg/kg	0,405 ± 0,007	≤ 1,0	Memenuhi
Tembaga (Cu)	mg/kg	1,725 ± 0,007	≤ 10,0	Memenuhi
Seng (Zn)	mg/kg	16,0 ± 0,1	≤ 40,0	Memenuhi
Raksa (Hg)	mg/kg	Tidak terdeteksi (0)	≤ 0,05	Memenuhi
Arsen (As)	mg/kg	Tidak terdeteksi (0)	≤ 0,5	Memenuhi

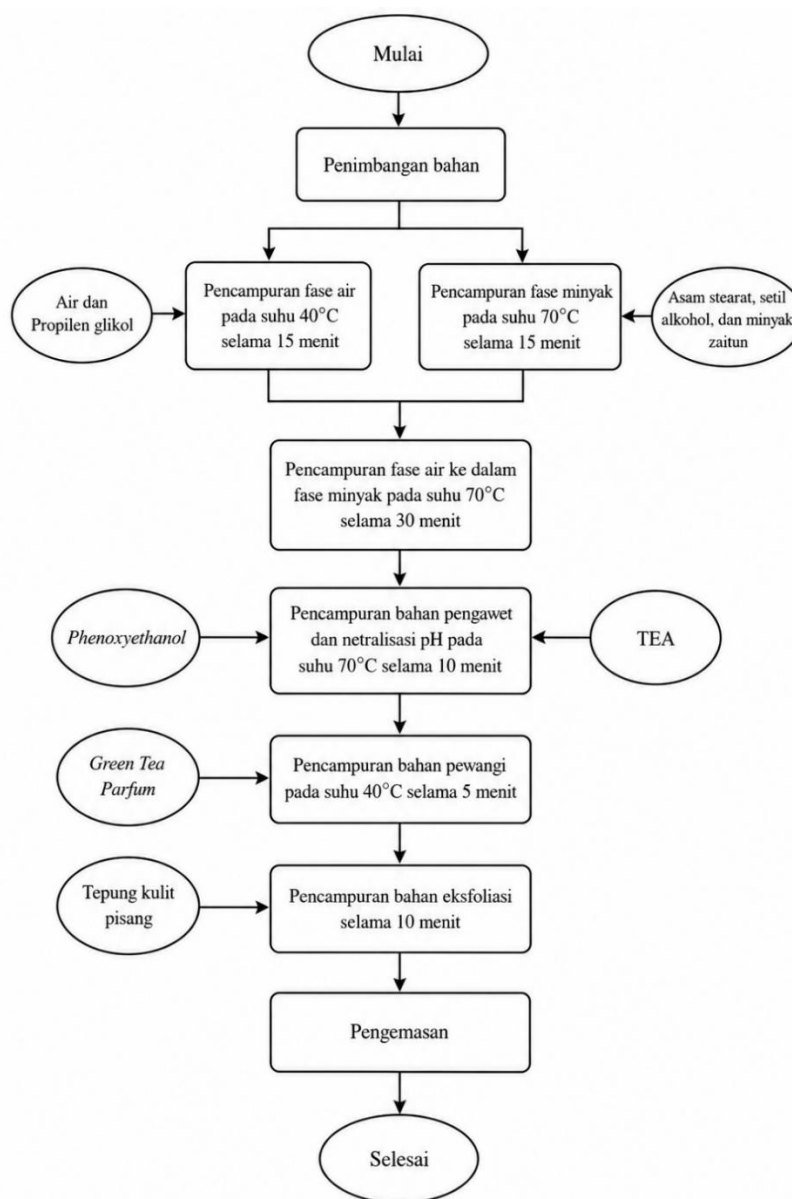
*Berdasarkan SNI 01-3841-1995 tepung pisang mengenai persyaratan batas cemaran logam berat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar Pb, Cu, Zn, Hg, dan As pada tepung kulit pisang kepok masih berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan, sehingga seluruh parameter dinyatakan memenuhi standar keamanan. Selain memenuhi persyaratan mutu tepung, kadar Hg, Pb, dan As juga memenuhi batas cemaran logam berat pada kosmetik sesuai peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2024, yaitu masing-masing <1 mg/kg, <20 mg/kg, dan <5 mg/kg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tepung kulit pisang kepok memiliki tingkat kontaminasi logam berat yang rendah dan memenuhi aspek keamanan untuk digunakan sebagai material eksfolian alami dalam formulasi *body scrub*. Rendahnya kadar logam berat mengindikasikan bahwa proses budidaya, penanganan pascapanen, dan pengolahan tepung tidak menyebabkan peningkatan cemaran hingga melampaui batas yang dipersyaratkan. Temuan ini sejalan dengan Ahmed *et al.* (2024), yang melaporkan bahwa pengujian logam berat menjadi salah satu parameter utama dalam evaluasi keamanan kosmetik karena cemaran logam berat dapat berasal dari bahan baku maupun proses manufaktur. Bahan yang memiliki kadar logam berat di bawah batas regulasi memiliki risiko kesehatan yang rendah dan dinilai aman untuk digunakan. Gyamfi *et al.* (2024) menyatakan bahwa

pengendalian cemaran logam berat pada bahan baku menjadi bagian yang penting dalam penjaminan mutu kosmetik, mengingat logam berat umumnya hadir sebagai kontaminan alami atau impuritas selama proses produksi. Tepung kulit pisang kepok memenuhi persyaratan keamanan dari aspek cemaran logam berat dan berpotensi digunakan sebagai material eksfoliasi alami dalam formulasi *body scrub*.

4.4.8 Proses Formulasi dan Bahan Penyusun *Body Scrub*

Formulasi *body scrub* dilakukan menggunakan metode emulsifikasi dengan pencampuran fase air dan fase minyak pada kondisi suhu tertentu, kemudian dilanjutkan dengan penambahan bahan fungsional dan material eksfoliasi. Tahapan proses formulasi secara lengkap disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10 Diagram alir proses pembuatan *body scrub* menggunakan tepung kulit pisang kepok sebagai eksfoliasi alami

Formulasi *body scrub* dilakukan melalui proses emulsifikasi dengan pengendalian suhu pada setiap tahapan untuk memperoleh sediaan yang homogen dan stabil. Fase air dipanaskan pada suhu 40°C untuk meningkatkan kelarutan propilen glikol dan menurunkan viskositas fase sehingga pencampuran menjadi lebih efektif tanpa menyebabkan penguapan air yang berlebihan. Sementara itu, fase minyak dipanaskan pada suhu 70°C karena suhu tersebut berada di atas titik leleh asam stearat dan setil alkohol, sehingga kedua bahan dapat meleleh sempurna dan membentuk fase minyak yang homogen sebelum proses emulsifikasi. Flores-Miranda *et al.* (2020) melaporkan bahwa asam stearat memiliki titik leleh 69,6°C, sedangkan Cabaleiro *et al.* (2022) melaporkan bahwa *cetyl alcohol* memiliki temperatur leleh sekitar 321,9 K ($\pm 48,8^\circ\text{C}$). Pemanasan fase minyak pada suhu 70°C memastikan asam stearat dan setil alkohol berada dalam fase cair sehingga mempermudah pembentukan emulsi yang homogen. Kondisi tersebut mendukung pembentukan emulsi yang lebih stabil karena fase terdispersi berada dalam keadaan cair. Sebaliknya, kristalisasi asam stearat pada suhu di bawah titik lelehnya dapat meningkatkan viskositas dan mengubah sifat reologi emulsi (Delgado-Sánchez *et al.* 2022). Pencampuran kedua fase pada suhu yang sama juga meminimalkan perbedaan viskositas dan mencegah terjadinya pemisahan fase selama pembentukan emulsi.

Komposisi bahan dipilih untuk menghasilkan *body scrub* dengan karakteristik fisik yang stabil dan sesuai untuk diaplikasikan pada kulit. Sistem emulsi dibentuk melalui kombinasi asam stearat, TEA, dan setil alkohol yang berperan dalam meningkatkan stabilitas emulsi, viskositas, serta konsistensi sediaan. Propilen glikol dan minyak zaitun ditambahkan untuk mempertahankan kelembapan dan memberikan efek emolien pada kulit, sedangkan *phenoxyethanol* berfungsi menjaga stabilitas mikrobiologis selama penyimpanan. Parfum *green tea* ditambahkan pada suhu sekitar 40°C untuk meminimalkan kehilangan senyawa volatil akibat pemanasan. Tepung kulit pisang ditambahkan pada tahap akhir agar integritas partikel dan senyawa bioaktifnya tetap terjaga, sehingga dapat berfungsi secara optimal sebagai agen eksfoliasi alami. Penelitian terdahulu telah mengidentifikasi lebih dari 40 jenis senyawa fenolik pada kulit pisang, termasuk *Ferulic acid-hexoside* dengan kadar berkisar antara 4,4–85,1 $\mu\text{g/g}$ berat kering (Vu *et al.* 2018). Senyawa tersebut mampu menghambat pembentukan *Reactive oxygen species* (ROS) sehingga dapat berpotensi melindungi sel kulit dari kerusakan oksidatif yang berkaitan dengan proses penuaan dini. Pengendalian kondisi proses dan pemilihan komposisi bahan tersebut diharapkan menghasilkan basis *body scrub* yang stabil, sehingga perbedaan karakteristik produk yang diamati pada penelitian ini terutama dipengaruhi oleh ukuran partikel tepung kulit pisang sebagai material eksfoliasi.

4.5 Hasil Validasi

4.5.1 Karakterisasi Fisikokimia *Body Scrub*

Karakterisasi fisikokimia dilakukan sebagai tahap validasi untuk mengevaluasi kesesuaian formulasi *body scrub* terhadap persyaratan mutu kosmetik. Parameter yang dianalisis meliputi pH, homogenitas, dan daya sebar, yang secara kolektif merepresentasikan keamanan, stabilitas fisik, dan karakteristik aplikasi produk.

a) pH

Nilai pH merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi mutu sediaan kosmetik karena berpengaruh terhadap keamanan dan kenyamanan penggunaan pada kulit. Produk dengan pH yang tidak sesuai dapat mengganggu keseimbangan *acid mantle* kulit, sehingga berpotensi menyebabkan iritasi, kulit kering, maupun peningkatan kehilangan air melalui epidermis.

Tabel 13 Nilai pH formulasi *body scrub*

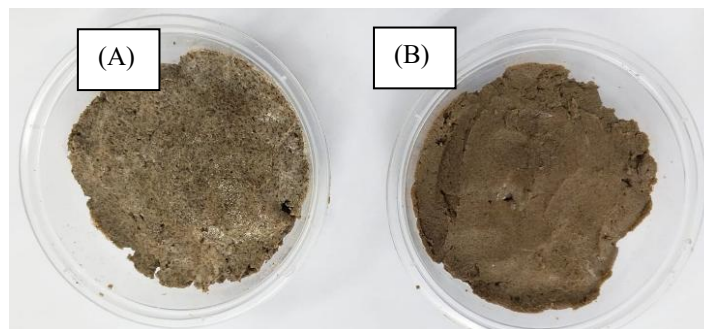
Mesh	pH	Syarat Mutu
40 mesh	$6,39 \pm 0,02$	4,5–8,0
60 mesh	$6,36 \pm 0,03$	

Berdasarkan Tabel 13, *body scrub* yang diformulasikan menggunakan tepung kulit pisang dengan ukuran partikel 40 dan 60 mesh memiliki nilai pH yang relatif sama dengan nilai masing-masing sebesar $6,39 \pm 0,02$ dan $6,36 \pm 0,03$. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan ukuran partikel hanya memengaruhi karakteristik fisik material, sedangkan sifat kimia formulasi tetap relatif stabil. Nilai pH kedua formulasi juga berada dalam rentang 4,5–8,0 sesuai dengan persyaratan mutu SNI 16-4399-1996, sehingga menunjukkan bahwa *body scrub* yang dihasilkan aman untuk diaplikasikan pada kulit. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Fauziah *et al.* (2025) yang melaporkan bahwa formulasi *body scrub* berbahan alami memiliki nilai pH sebesar 6,1–6,2 dan memenuhi persyaratan keamanan untuk penggunaan topikal. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Herlina *et al.* (2025), yang memperoleh nilai pH 6–7 pada formulasi *body scrub* berbasis ekstrak temulawak. Kesamaan rentang pH menunjukkan bahwa penggunaan tepung kulit pisang sebagai material eksfolian tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap keasaman formulasi, meskipun digunakan ukuran partikel yang berbeda. Hasil tersebut menunjukkan bahwa material yang dikembangkan mampu mempertahankan pH formulasi dalam rentang yang sesuai dengan persyaratan mutu sediaan kosmetik dan mendekati kondisi fisiologis kulit, sehingga berpotensi digunakan sebagai material eksfolian alami dalam sediaan *body scrub*.

b) Warna

Warna merupakan salah satu atribut fisik yang berperan penting dalam menentukan kualitas visual dan penerimaan awal konsumen terhadap produk kosmetik. Selain memengaruhi daya tarik produk, parameter warna juga dapat digunakan sebagai indikator perubahan karakteristik material selama proses pengolahan maupun formulasi. Pada penelitian ini, karakteristik warna dievaluasi menggunakan sistem warna CIELAB yang terdiri atas nilai L^* (*lightness*), a^* (*green-red*), dan b^* (*blue-yellow*). CIELAB digunakan karena memiliki keunggulan dalam hasil yang mendekati persepsi manusia terhadap warna (Lazi *et al.* 2017). Perbedaan

ukuran partikel tepung kulit pisang menghasilkan perbedaan warna secara visual pada *body scrub* yang terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Perbandingan warna produk *body scrub* dengan ukuran partikel tepung kulit pisang 40 mesh (A) dan 60 mesh (B)

Berdasarkan hasil Gambar 11, formulasi dengan ukuran partikel 60 mesh tampak lebih gelap dibandingkan 40 mesh. Untuk mengonfirmasi pengamatan tersebut, dilakukan pengukuran warna menggunakan sistem CIELAB yang meliputi parameter L^* , a^* , dan b^* . Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14 Karakteristik warna formulasi *body scrub*

Mesh	L^*	a^*	b^*
40 mesh	$46,747 \pm 0,006$	$4,193 \pm 0,006$	$9,08 \pm 0,02$
60 mesh	$40,45 \pm 0,02$	$5,467 \pm 0,006$	$9,85 \pm 0,03$

Berdasarkan Tabel 14, formulasi *body scrub* yang menggunakan tepung kulit pisang berukuran 60 mesh memiliki nilai L^* lebih rendah dibandingkan formulasi 40 mesh, sehingga menghasilkan penampakan yang lebih gelap. Sebaliknya, nilai a^* dan b^* yang lebih tinggi pada formulasi 60 mesh menunjukkan intensitas warna merah dan kuning yang lebih kuat. Perbedaan karakteristik warna tersebut mengindikasikan bahwa pengecilan ukuran partikel meningkatkan ekspresi pigmen alami tepung kulit pisang di dalam matriks formulasi.

c) Daya Sebar

Pengujian daya sebar dilakukan untuk menggambarkan kemampuan produk untuk menyebar pada permukaan kulit dengan tekanan tertentu. Sediaan dengan daya sebar yang sesuai umumnya lebih mudah diaplikasikan dan memberikan distribusi eksfolian yang lebih merata sehingga meningkatkan kenyamanan penggunaan dan efektivitas aplikasi kosmetik. Nilai daya sebar juga mencerminkan karakteristik reologi sediaan semipadat yang berpengaruh terhadap kemudahan pengambilan, pengolesan, dan pemerataan produk pada permukaan kulit. Hasil uji daya sebar ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15 Daya sebar formulasi *body scrub*

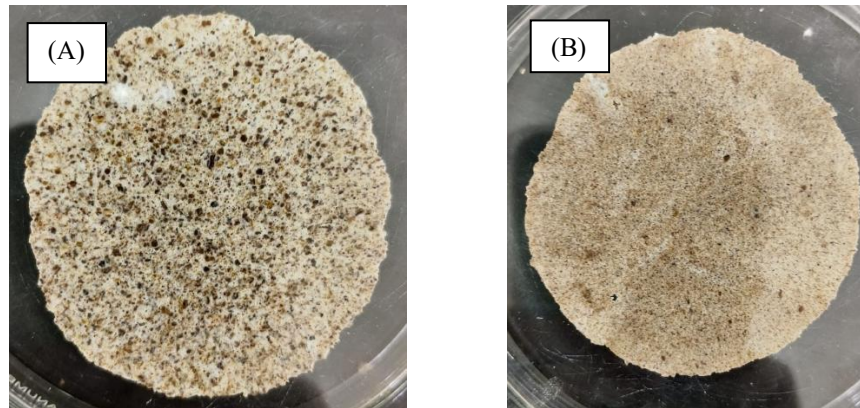
Mesh	Daya sebar (cm)	Syarat Mutu
40 mesh	$2,45 \pm 0,07$	3–5 cm
60 mesh	$3,05 \pm 0,07$	

Berdasarkan Tabel 15, formulasi *body scrub* dengan tepung kulit pisang berukuran 60 mesh memiliki daya sebar sebesar $3,05 \pm 0,07$ cm. Nilai tersebut telah memenuhi kisaran daya sebar yang direkomendasikan untuk sediaan semisolid dengan viskositas tinggi, yaitu 3–5 cm, sedangkan sediaan semisolid dengan viskositas rendah memiliki kisaran daya sebar 5–7 cm (Cahya *et al.* 2024). Sebaliknya, formulasi dengan ukuran partikel 40 mesh menghasilkan daya sebar $2,45 \pm 0,07$ cm, yang berada di bawah batas minimum standar. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan ukuran partikel yang lebih halus meningkatkan kemampuan formulasi untuk menyebar pada permukaan kulit. Ukuran partikel yang lebih kecil memungkinkan tepung terdispersi lebih merata dalam basis *body scrub*, sehingga menghasilkan struktur formulasi yang lebih homogen dan mempermudah penyebaran selama aplikasi.

Peningkatan daya sebar pada formulasi 60 mesh berkaitan dengan ukuran partikel yang lebih kecil dan lebih seragam sehingga partikel lebih mudah terdispersi dalam basis *body scrub* serta menghasilkan permukaan formulasi yang lebih homogen. Distribusi partikel yang lebih baik menurunkan hambatan mekanis selama aplikasi sehingga sediaan lebih mudah menyebar pada permukaan kulit. Sebaliknya, partikel berukuran lebih besar pada formulasi 40 mesh cenderung meningkatkan gesekan antarpartikel sehingga kemampuan penyebaran menjadi lebih rendah. Hasil ini sejalan dengan penelitian Rakhmawati *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa karakteristik dan ukuran partikel eksfolian berkontribusi terhadap daya sebar produk scrub.

d) Homogenitas

Homogenitas merupakan tingkat keseragaman distribusi seluruh komponen dalam sediaan *body scrub* sehingga tidak terdapat pemisahan atau penggumpalan bahan. Sifat ini penting untuk menjamin karakteristik dan efektivitas sediaan selama penggunaan. Homogenitas yang baik juga menunjukkan bahwa setiap komponen, termasuk bahan aktif dan partikel eksfolian, terdistribusi secara merata sehingga dapat mendukung konsistensi mutu dan kenyamanan penggunaan sediaan. Hasil uji homogenitas ditunjukkan pada Gambar 12.

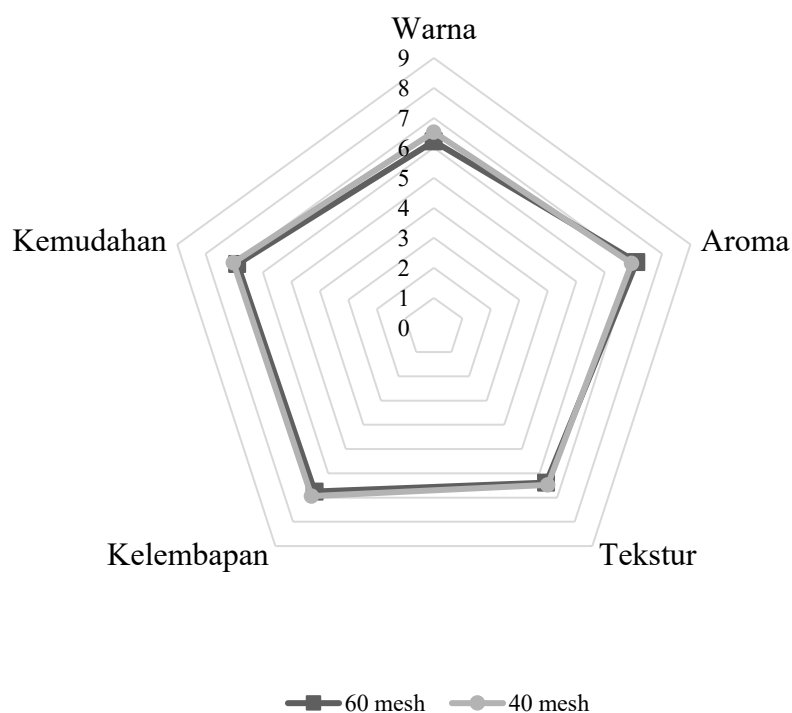


Gambar 12 Hasil pengujian homogenitas produk *body scrub* dengan ukuran partikel tepung kulit pisang kepok 40 mesh (A) dan 60 mesh (B).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa formulasi *body scrub* dengan tepung kulit pisang pada ukuran partikel 40 mesh maupun 60 mesh menghasilkan sediaan yang homogen, ditandai dengan tidak adanya gumpalan maupun pemisahan fase. Homogenitas mengindikasikan bahwa partikel tepung terdispersi secara merata dalam basis formulasi sehingga mampu menghasilkan distribusi eksfolian yang seragam selama aplikasi. Homogenitas yang diperoleh dapat dipengaruhi oleh ukuran partikel tepung yang relatif seragam setelah proses pengayakan serta kompatibilitasnya dengan basis *body scrub*. Tepung kulit pisang berperan sebagai agen eksfolian yang terdispersi secara merata tanpa menyebabkan pemisahan fase, sehingga mampu mempertahankan stabilitas fisik formulasi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ogorzatek *et al.* (2024) yang melaporkan bahwa karakteristik partikel eksfolian alami, termasuk ukuran dan morfologinya, berpengaruh terhadap sifat fisik dan tekstur produk scrub. Selain itu, Fauziah *et al.* (2025) dan Herlina *et al.* (2025) juga melaporkan bahwa formulasi *body scrub* berbahan alam yang homogen menunjukkan distribusi eksfolian yang baik dan memenuhi persyaratan mutu fisik kosmetik. Tepung kulit pisang dapat menunjukkan kesesuaian sebagai material eksfolian dalam formulasi *body scrub*.

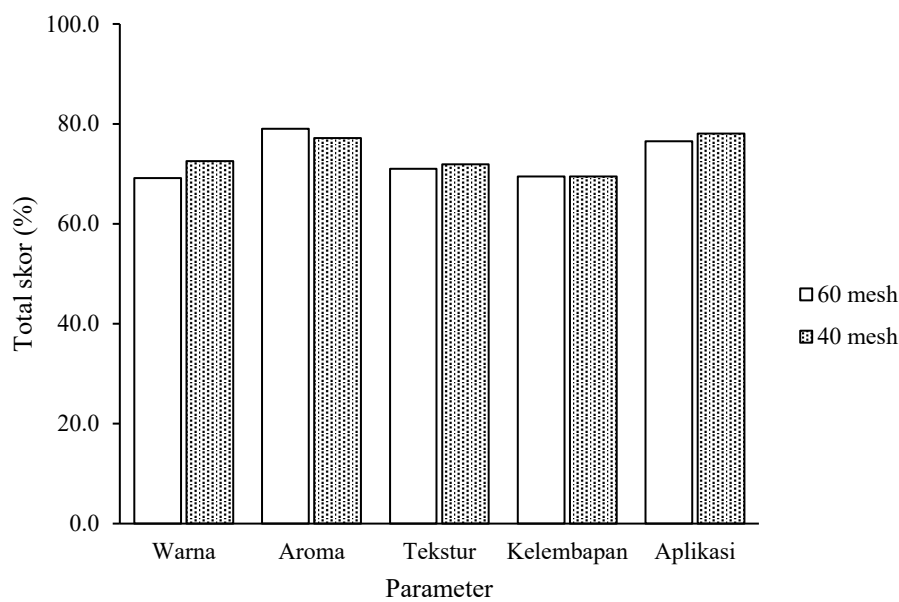
4.5.2 Evaluasi Sensori *Body Scrub*

Pengujian sensori dilakukan menggunakan uji hedonik untuk mengevaluasi tingkat penerimaan panelis terhadap formulasi *body scrub*. Penilaian meliputi lima atribut, yaitu warna, aroma, tekstur, kelembapan, dan kemudahan aplikasi. Pengujian dilakukan dengan skala hedonik 1–9, dengan deskripsi lengkap skala penilaian disajikan pada Lampiran 9. Hasil pengujian sensori ditampilkan pada Gambar 13 dan 14.



Gambar 13 Hasil pengujian sensori produk *body scrub* pada ukuran partikel tepung kulit pisang 40 dan 60 mesh

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan ANOVA, seluruh atribut sensori menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara formulasi tepung kulit pisang kepok 40 dan 60 mesh ($p > 0,05$). Hasil analisis ANOVA untuk seluruh parameter sensori disajikan pada Lampiran 10. Gambar 13 menunjukkan bahwa rata-rata skor kesukaan pada setiap atribut memiliki nilai yang berdekatan, sehingga menunjukkan bahwa panelis memberikan tingkat penerimaan yang relatif serupa terhadap kedua formulasi. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa perbedaan ukuran partikel tepung pada taraf 40 dan 60 mesh belum memberikan perubahan yang cukup besar untuk dapat dipersepsikan secara nyata oleh panelis. Tidak adanya perbedaan sensori yang signifikan menunjukkan bahwa kedua ukuran partikel masih mampu menghasilkan karakteristik aplikasi yang sebanding dengan formulasi *body scrub*. Meskipun tepung 60 mesh memiliki ukuran partikel yang lebih halus, keberadaan basis formulasi seperti emolien, humektan, dan bahan pengental dapat memodifikasi sensasi selama aplikasi sehingga pengaruh ukuran partikel menjadi kurang dominan. Temuan ini sejalan dengan Ogorzalek *et al.* (2024), yang melaporkan bahwa persepsi konsumen terhadap *body scrub* tidak hanya dipengaruhi oleh ukuran partikel eksfolian, tetapi juga oleh interaksi antara morfologi partikel, sifat adhesi, kekerasan, dan tekstur formulasi secara keseluruhan. Tafuro *et al.* (2026) juga menjelaskan bahwa persepsi sensori kosmetik merupakan hasil kombinasi berbagai sifat fisik formulasi, termasuk karakteristik reologi, tekstur, dan tribologi, sehingga perubahan pada satu komponen tidak selalu menghasilkan perbedaan sensori yang dapat dirasakan oleh pengguna.



Gambar 14 Total skor uji sensori produk *body scrub* dengan ukuran partikel tepung kulit pisang 40 dan 60 mesh

Berdasarkan total skor penerimaan pada Gambar 14, kedua formulasi menunjukkan tingkat kesukaan keseluruhan yang relatif serupa dengan rata-rata skor masing-masing sebesar 73% untuk formulasi 40 mesh dan 74% untuk formulasi 60 mesh. Perhitungan total skor penerimaan kedua formulasi disajikan pada Lampiran 11. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua formulasi berada pada kategori sangat disukai oleh panelis, sehingga mengindikasikan bahwa penggunaan tepung kulit pisang kepok sebagai eksfolian alami dapat diterima dengan baik dari aspek sensori. Meskipun formulasi 60 mesh memperoleh rata-rata skor yang sedikit lebih tinggi pada atribut aroma, sedangkan formulasi 40 mesh memperoleh skor lebih tinggi pada atribut warna dan kemudahan aplikasi, perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik ($p > 0,05$). Variasi ukuran partikel tepung antara 40 dan 60 mesh belum memberikan pengaruh yang nyata terhadap tingkat penerimaan panelis.

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Penelitian ini berhasil menyusun desain proses produksi tepung kulit pisang kepek sebagai material fungsional untuk formulasi *body scrub* melalui pendekatan desain keteknikan yang meliputi penyusunan tahapan proses, neraca massa, pemilihan praperlakuan, dan penyempurnaan proses produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama perendaman berpengaruh nyata terhadap kadar tanin, sedangkan konsentrasi larutan NaCl dan interaksi antara konsentrasi NaCl dengan lama perendaman tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar tanin. Berdasarkan metode indeks efektivitas De Garmo, perlakuan terbaik diperoleh pada perendaman menggunakan larutan NaCl 0,5% selama 24 jam dengan nilai indeks efektivitas sebesar 0,914, yang menghasilkan kadar tanin terlarut sebesar $4,32 \pm 0,09$ mg TAE/g serta karakteristik sensori tepung yang baik. Penerapan perlakuan tersebut yang diikuti dengan penyempurnaan proses pencucian meningkatkan rendemen tepung dari $7,48 \pm 0,05\%$ menjadi $9,3 \pm 0,3\%$ (basis basah) atau setara dengan $63 \pm 3\%$ (basis kering), sehingga menghasilkan proses produksi yang lebih efisien.

Tepung kulit pisang kepek hasil perlakuan terbaik memiliki karakteristik yang mendukung pemanfaatannya sebagai bahan baku *body scrub*, dengan kadar air $8,3 \pm 0,1\%$, pH $6,39 \pm 0,03$, kemampuan mengembang (*swelling power*) $11,9 \pm 0,7$ g/g, kelarutan $23,5 \pm 0,2\%$, serta morfologi partikel berbentuk tidak beraturan dengan ukuran granula 11,24–66,97 μm . Tepung tersebut juga memenuhi persyaratan cemaran logam berat, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan baku kosmetik berbasis sumber daya alam.

Formulasi *body scrub* yang menggunakan tepung kulit pisang kepek sebagai eksfolian alami menunjukkan karakteristik fisik yang baik. Formulasi dengan tepung berukuran 60 mesh menghasilkan warna yang lebih gelap dan daya sebar sebesar $3,05 \pm 0,07$ cm, sedangkan kedua formulasi menunjukkan tingkat penerimaan sensori yang relatif sama, dengan rata-rata penerimaan sebesar 73% pada formulasi 40 mesh dan 74% pada formulasi 60 mesh. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tepung kulit pisang kepek hasil perlakuan terbaik berpotensi diaplikasikan sebagai material eksfolian alami pada produk *body scrub*.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menyempurnakan proses produksi tepung kulit pisang kepek melalui pemanfaatan bahan hasil sortasi yang masih layak diolah, penggunaan *vegetable slicer* atau *rotary slicer* untuk menghasilkan irisan yang lebih seragam, serta penerapan *cutting mill* atau *ultra fine grinder* untuk meminimalkan kehilangan bahan selama pengecilan ukuran. Penggunaan gradien konsentrasi NaCl yang lebih luas sebagai perlakuan awal sebelum formulasi *body scrub* juga disarankan untuk memperoleh konsentrasi optimum dalam mengurangi komponen tanin dan getah pada kulit pisang kepek. Variasi ukuran partikel perlu dikaji untuk menentukan ukuran optimum yang sesuai dengan karakteristik fisik dan penerimaan konsumen pada formulasi *body scrub*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboul-Enein AM, Salama ZA, Gaafar AA, Aly HF, Abou-Elella F, Ahmed HA. 2016. Identification of phenolic compounds from banana peel (*Musa paradaisica* L.) as antioxidant and antimicrobial agents. *Journal of chemical and pharmaceutical research*. 8(4): 46-55.
- Acevedo AS, Díaz Carrillo ÁJ, Flórez-López E, Grande-Tovar CD. 2021. Recovery of banana waste-loss from production and processing: a contribution to a circular economy. *Molecules*. 26(17): 1-30.
- Agarwal N, Singh G, Kumbhar BK. 2020. Modelling the hydration kinetics of kidney beans (*Phaseolus vulgaris*) in sodium salts using response surface methodology. *Journal of Applied and Natural Sciences*. 12(1): 42-52.
- Ahmed M, Ahmad M, Sohail A, Sanaullah M, Saeed A, Qamar S, Wani AT, Zargar S. Alkahtani HM, Khalid, K. 2024. Multivariate statistical analysis of cosmetics due to potentially toxic/heavy metal (loid) contamination: Source identification for sustainability and human health risk assessment. *Sustainability*. 16(14): 1-24.
- Alex RK, Maes T, Devipriya SP. 2024. Clean, but not green: Emission assessment, forecast modelling and policy solutions for plastic microbeads from personal care products in India. *Emerging Contaminants*. 10(3): 100326.
- Aliganza KP, Gerodias BN, Rallos LEE. 2025. Production and evaluation of flour from whole fruit and pulp of green saba (*Musa acuminata x Musa balbisiana*) banana pretreated with organic acids. *Journal of Engineering, Environment, and Agriculture Research*. 4(1): 23-36.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 2005. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 18th ed. Gaithensburg (US): The Association of Official Analytical Chemist, Inc.
- Asuquo EO, Ukam EE, Edet EE, Ufala VO. 2025. Formulation and evaluation of banana peel-based herbal cream for antibacterial and antifungal applications in cosmetic products. *Journal of Dermatologic Science and Cosmetic Technology*. 2: 100106.
- Bahlawan ZAS, Kumoro AC, Wahono SK, Ping TC, Rizal WA. 2025. Investigating the kinetics of tannin removal in sorghum [*Sorghum Bicolor* (L.) Moench] grains through a soaking process. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*. 25(1): 115-126.
- Bala M, Handa S, Singh RK. 2020. Physicochemical, functional and rheological properties of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) flour as influenced by particle size. *Heliyon*. 6(11): 1-10.
- Bethapudi SS, Hamid KN, Khatri B, Sharma K, Thazhathethil AK, Saini A, Bana H, Darlong L. 2023. Effect of various praperlakuaans on anti-nutrients of mango seed kernel and its utilization in preparation of pasta. *Journal of Food Chemistry and Nanotechnology*. 9(1): 398-407.
- Bhavani M, Morya S, Saxena D, Awuchi CG. 2023. Bioactive, antioxidant, industrial, and nutraceutical applications of banana peel. *Int J Food Prop*. 26(1):1277-1289.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2026. *Produksi Tanaman Buah-buahan*. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik Indonesia.

- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 1992. *SNI 01-2891-1992 Cara Uji Makanan dan Minuman*. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 1996. *SNI 16-4399-1996 Sediaan Tabir Surya*. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 1995. *SNI 01-3481-1995 Tepung Pisang*. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
- Cabaleiro D, Losada-Barreiro S, Agresti F, Hermida-Merino C, Fedele L, Lugo L, Barison S, Piñeiro MM. 2021. Development and thermophysical profile of cetyl alcohol-in-water nanoemulsions for thermal management. *Fluids*. 7(1): 1-21.
- Cahya CAD, Febriady A, Anggriani SR. 2024. Formulation of skin moisturizing body scrub with kedondong leaf extract (*Spondias dulcis*). *Jurnal Indah Sains dan Klinis*. 5(1): 20-25.
- Chikpah SK, Korese JK, Hensel O, Sturm B. 2020. Effect of sieve particle size and blend proportion on the quality properties of peeled and unpeeled orange fleshed sweet potato composite flours. *Foods*. 9(6): 1-22.
- Chiranthika NNG, Chandrasekara A, Gunathilake KDPP. 2024. Physicochemical, in vitro antidiabetic and sensory characteristics of leavened functional bread made with *Lasia spinosa* and *Nelumbo nucifera* rhizome flours composited with wheat flour. *Food Production, Processing and Nutrition*. 6(33): 1-10.
- Delgado-Sánchez C, Partal P, Martín-Alfonso MJ, Navarro FJ. 2022. Oil-in-Oil emulsions of stearic acid dispersed in silicone oil with enhanced energy storage capability for heat transfer fluids. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 245: 111893.
- Deng LZ, Mujumdar AS, Zhang Q, Yang XH, Wang J, Zheng ZA, Gao ZJ, Xiao HW. 2019. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes-a comprehensive review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 59(9): 1408-1432.
- Dhake K, Jain SK, Jagtap S, Pathare PB. 2023. Effect of pretreatment and temperature on drying characteristics and quality of green banana peel. *AgriEngineering*. 5(4): 2064-2078.
- Di Bella CE, D'Agostino C, Peregrina DV, Gigliobianco MR. 2025. Advanced characterization of sustainable exfoliating particles from food waste for facial scrub formulations and their in vivo evaluation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 44: 101953.
- Dira MA, Dewi KMC. 2022. Formulasi dan evaluasi krim *body scrub* kombinasi ekstrak *Moringa oleifera* dan *Oryza sativa* sebagai eksfolian. *J. Man. Phar. Ind*. 8(2): 307-317.
- Dhlakama N, Chawafambira A, Tsotsoro K. 2022. Polyphenols, antioxidant activity, and functional properties of baobab (*Adansonia digitata* L) seeds soaked in monovalent ion salts. *International Journal of Food Properties*. 25(1): 1365-1376.
- Dom ZM, Azhar AZ, Masaudin SNA. 2021. Utilization of banana peel as functional ingredient in product development. *Advances in Agricultural and Food Research Journal*. 3(2): 1-14.
- Dwivanny FM, Wikantika K, Sutanto A, Ghazali MF, Lim C, Kamalesha G. 2021. *Tanaman Pisang*. ITB Press.

- Ebrahim MA, Karan S, Livingston AG. 2020. On the influence of salt concentration on the transport properties of reverse osmosis membranes in high pressure and high recovery desalination. *Journal of Membrane Science*. 594: 117339.
- Emaga TH, Andrianaivo RH, Wathelet B, Tchango JT, Paquot M. 2007. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food chemistry*. 103(2): 590-600.
- Fauziah, Nawangsari D, Prabandari R, Misworo, Zakaria N, Zarwinda I. 2025. Formulation of a body scrub with pumpkin juice (*Cucurbita moschata*) and coconut pulp (*Cocos nucifera* L.) for enhanced skin exfoliation and antioxidant protection. Di dalam: *BIO Web of Conferences*. The 1st International Conference on Health and Biological Science (ICHBS 2024); 2024 Oct 8-9; Purwokerto, Indonesia. Les Ulis (FR): EDP Sciences. 152:01005.
- Flores-Miranda GA, Yáñez-Fernández J, San-Martin-Martínez E. 2024. Effect of processing parameters on astaxanthin nanoemulsions with stearic acid using ultrasonic emulsification. *MEXICANA DE INGENIERA QUMICA*. 19(3): 1301-1313.
- Forsido SF, Welelaw E, Belachew T, Hensel O. 2021. Effects of storage temperature and packaging material on physico-chemical, microbial and sensory properties and shelf life of extruded composite baby food flour. *Heliyon*. 7(4): e06821.
- Gil-Martín E, Forbes-Hernández T, Romero A, Cinciosi D, Giampieri F, Battino M. 2022. Influence of the extraction method on the recovery of bioactive phenolic compounds from food industry by-products. *Food Chemistry*. 378: 131918.
- Gracz-Bernaciak J, Mazur O, Nawrot R. 2021. Functional studies of plant latex as a rich source of bioactive compounds: focus on proteins and alkaloids. *International journal of molecular sciences*. 22(22): 12427.
- Gyamfi O, Aboko J, Ankapong E, Marfo JT, Awuah-Boateng NY, Sarpong K, Dartey E. 2024. A systematic review of heavy metals contamination in cosmetics. *Cutaneous and Ocular Toxicology*. 43(1): 5-12.
- Hamdan N, Lee CH, Wong SL, Fauzi CENCA, Zamri NMA, Lee TH. 2022. Prevention of enzymatic browning by natural extracts and genome-editing: a review on recent progress. *Molecules*. 27(3): 1101.
- Han Z, Zhu M, Wan X, Zhai X, Ho CT, Zhang L. 2024. Food polyphenols and Maillard reaction: regulation effect and chemical mechanism. *Critical reviews in food science and nutrition*. 64(15): 4904-4920.
- Hehakaya MO, Edy HJ, Siampa JP. 2022. Formulasi dan uji aktivitas antioksidan sediaan body scrub ekstrak etanol daun matoa (*Pometia pinnata*). *Pharmakon*. 11(4):1178-1785.
- Herlina H, Sianipar MA, Harahap HY, Aritonang B, Darmirani Y. 2025. Formulation of body scrub containing ethanol extract of temulawak rhizome (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb) as a skin moisturizer. *Jurnal Farmasimed* . 7 (2): 327-336.
- Islam MR, Kamal MM, Kabir MR, Hasan MM, Haque AR, Hasan SK. 2023. Phenolic compounds and antioxidants activity of banana peel extracts: Testing and optimization of enzyme-assisted conditions. *Measurement: Food*. 10: 100085.

- Khalangre A, Mirza A, Sharma AK, Shaikh N, Shabeer TA. 2025. Effect of drying temperature on preservation of banana peel and its impact on degradation of targeted phytochemical by LC-Orbitrap-MS analysis. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 15(23): 30443-30458.
- Khawas P, Das AJ, Dash KK, Deka SC. 2014. Thin-layer drying characteristics of Kachkal banana peel (*Musa ABB*) of Assam, India. *International Food Research Journal*. 21(3): 1011-1018.
- Khetiwale NC, Tonchar DS. 2024. A review on the technology of size reduction equipment. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 4(2): 420-430.
- Kitsongsermthong J, Kreepoke J, Duangweang K, Tansirikongkol A. 2018. In vivo exfoliating efficacy of biodegradable beads and the correlation with user's satisfaction. *Skin Research and Technology*. 24(1): 26-30.
- Larrosa APQ, Otero DM. 2021. Flour made from fruit by-products: Characteristics, processing conditions, and applications. *Journal of Food Processing and Preservation*. 45(5): e15398.
- Lazi H, Efendi R, Purwandari EP. 2017. Deteksi warna kulit menggunakan model warna cielab neural network untuk identifikasi ras manusia (studi kasus ras: kaukasoid, mongoloid, dan negroid). *Jurnal Rekursif*. 5(2): 121-133.
- Lestari U, Farid F, Sari PM. 2017. Formulasi dan uji sifat fisik lulur krim lulur arang aktif dari cangkang sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) sebagai detoksifikasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Farmasi*. 19(1): 74-79.
- Li W, Zhai ZH, Pang Q, Kong L, Zhou ZR. 2013. Influence of exfoliating facial cleanser on the bio-tribological properties of human skin. *Wear*. 301(1-2): 353-361.
- Liyana N, Naemaa M. 2025. Effects of banana peel flour (*Musa paradisiaca* AAB (sub-group Pisang Nangka) substitution on physicochemical and sensory properties of bu. *Food Research*. 8(8): 22-33.
- Ma H, Liu M, Liang Y, Zheng X, Sun L, Dang W, Li J, Li L, Liu, C. 2022. Research progress on properties of pre-gelatinized starch and its application in wheat flour products. *Grain & Oil Science and Technology*. 5(2): 87-97.
- Manika O, Bahi RRR, Mappa MR. 2026. Formulasi sediaan lulur (*body scrub*) ekstrak beras ketan putih (*Oryza sativa glutinosa*) dengan cangkang telur ayam sebagai eksfolian. *Jurnal Farmasi Tinctura*. 7(2): 244-260.
- Marsita AR, Ratna, Putra BS. 2020. Kajian variasi lama perendaman dalam larutan natrium metabisulfit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) terhadap kualitas tepung pisang kepok (*Musa paradisiaca*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 4(4): 552- 561.
- Marta H, Cahyana Y, Djali M, Pramaresi G. 2022. The properties, modification, and application of banana starch. *Polymers*. 14(15): 3092.
- May II, Ariani RP, Marsiti CIR. 2019. Substitusi tepung kulit pisang kepok pada pembuatan cake pisang ditinjau dari sifat fisik dan tingkat kesukaan. *Jurnal Bosaparis: Pendidikan Kesejahteraan Keluarga*. 10(1): 33-43.
- Mishra S, Prabhakar B, Kharkar PS, Pethe AM. 2022. Banana peel waste: An emerging cellulosic material to extract nanocrystalline cellulose. *Acs Omega*. 8(1): 1140-1145.
- Mohapatra D, Mishra S, Sutar N. 2010. Banana and its by-product utilisation: an overview. *Journal of scientific and industrial research*. 69(5): 323-329.

- Muñiz-Becerá S, Méndez-Lagunas LL, Rodríguez-Ramírez J. 2017. Solute transfer in osmotic dehydration of vegetable foods: A review. *Journal of food science*. 82(10): 2251-2259.
- Novitasari R. 2013. Pemanfaatan limbah kulit pisang menjadi panganan olahan keripik pedas. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 2(2):18-30.
- Ogorzałek M, Klimaszewska E, Małyś A, Czerwonka D, Tomasiuk R. 2024. Research on waterless cosmetics in the form of scrub bars based on natural exfoliants. *Applied Sciences*. 14(23): 11329.
- Ojo MA. 2022. Tannins in foods: nutritional implications and processing effects of hydrothermal techniques on underutilized hard-to-cook legume seeds—a review. *Preventive Nutrition and Food Science*. 27(1): 14-19.
- Pantelidou D, Gerogiannis K, Goula AM, Gonas C. 2021. Ultrasound-assisted osmotic dehydration as a method for supplementing potato with unused chokeberries phenolics. *Food and Bioprocess Technology*. 14(12): 2231-2247.
- Pathak PD, Mandavgane SA, Kulkarni BD. 2017. Fruit peel waste: characterization and its potential uses. *Current science*. 113: 444-454.
- Pereira MAF, Cesca K, Poletto P, de Oliveira D. 2021. New perspectives for banana peel polysaccharides and their conversion to oligosaccharides. *Food Research Internasional*. 149: 110706.
- [PerBPOM] Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 16 Tahun 2024 tentang Batas Cemarkan dalam Kosmetik. 2024.
- Putri ZS, Wati RR, Widyanto RM, Rahmi Y, Diah W, Proborini. 2020, Pengaruh tepung kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.) terhadap aktivitas antioksidan dan sitotoksitas pada sel kanker payudara t-47d. *Jurnal Al-Azhar Sains dan Teknologi*. 5(3): 166-174.
- Qi Y, Wang W, Yang T, Ding W, Xu B. 2025. Maillard reaction in flour product processing: mechanism, impact on quality, and mitigation strategies of harmful products. *Foods*. 14(15): 2721.
- Rahmi A, Hardi N, Hervira L. 2021. Aktivitas antioksidan ekstrak kulit pisang kepok, pisang mas, dan pisang nangka menggunakan metode dpph. *Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik*. 18(2): 77-84.
- Raina C, Singh S, Bawa A, Saxena D. 2006. Some characteristic of acetylated, cross-linked and dual modified Indian rice starches. *Eu Food Res Technol*. 223: 561-570.
- Rakhmawati R, Kusumaningrum DM, Artanti AN, Prihapsara F, Hadi S. 2021. Optimization of natural body scrub formulation based on oilseed press cake of nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) using D-optimal mixture experimental design. Di dalam: *Journal of Physics: Conference Series*. 5th International Conference on Advanced Material for Better Future (ICAMBF 2020); 2020 Oct 13-14; Surakarta, Indonesia. Bristol (UK): IOP Publishing. 1912(1):012051.
- Ramya V, Jain NK. 2017. A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: An integrated approach. *Journal of Food Process Engineering*. 40(3): e12440.
- Rana MS, Rahman AA, Ahmed R, Hossain MP, Shadman MS, Majumdar PK, Islam KS, Colton J. 2024. Design, fabrication, and performance evaluation of a food solar dryer. *AgriEngineering*. 6(4): 4506-4523.

- Rusmin R. 2020. Formulasi dan uji mutu fisik sediaan lulur krim dari serbuk kemiri (*Aleurites moluccana* (L.) Willd.). *Jurnal Kesehatan Yamasi Makassar*. 4(1): 47-57.
- Ryanata E, Palupi S, Azminah A. 2015. Penentuan jenis tanin dan penetapan kadar tanin dari kulit buah pisang masak (*Musa paradisiaca* L.) secara spektrofotometri dan permanganometri. *Calyptra*. 4(1): 1-16.
- Safitri PE, Pratiwi AR, Lestari LA, Wati DA, Febriani W. 2023. Pengaruh metode pembuatan tepung kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* Linn) terhadap sifat kimia. *Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi*. 22(1): 6-15.
- Sari DK, Werena RD, Anwar H, Mayasari R, Djana M. 2024. Pemanfaatan limbah kulit pisang menjadi pupuk organik cair anti hama dengan penambahan em-4. *Mestaka: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 3(3):274-278.
- Silva VD, Arquelau PB, Silva MR, Augusti R, Melo JO, Fante CA. 2020. Use of paper spray-mass spectrometry to determine the chemical profile of ripe banana peel flour and evaluation of its physicochemical and antioxidant properties. *Quimica nova*. 43(5): 579-585.
- Syahrie Ak. 2025. Produksi dan karakteristik hidrochar dari proses karbonisasi hidrotermal makro alga *Ulva reticulata* dan eceng gondok [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Tafuro G, Costantini A, Semenzato A. 2026. Rheology, texture analysis and tribology for sensory prediction and sustainable cosmetic design. *Cosmetics*. 13(25): 1-23..
- Ummah A, Maharani L, Rizki S. 2025. Bersih tapi mencemari: uji polimer plastik pada scrub wajah dan kulit menggunakan metode FTIR. *Environmental Pollution Journal*. 5(3): 337-347.
- Vu HT, Scarlett CJ, Vuong QV. 2018. Phenolic compounds within banana peel and their potential uses: A review. *Journal of functional foods*. 40: 238-248.
- Wardhani DH, Yuliana AE, Dewi AS. 2016. Natrium metabisulfit sebagai anti-browning agent pada pencokelatan enzimatis rebung ori (*Bambusa Arundinacea*). *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. 5(4):140-145.
- Wohlt D, Schwarz E, Schieber A, Bader-Mittermaier S. 2021. Effects of extraction conditions on banana peel polyphenol oxidase activity and insights into inactivation kinetics using thermal and cold plasma treatment. *Foods*. 10(5): 1-19.
- Xiao HW, Pan Z, Deng LZ, El-Mashad HM, Yang XH, Mujumdar AS, Gao Z, Zhang Q. 2017. Recent developments and trends in thermal blanching—A comprehensive review. *Information processing in agriculture*. 4(2): 101-127.
- Yang M, Chang L, Jiang F, Zhao N, Zheng P, Simbo J, Yu X, Du SK. 2022. Structural, physicochemical and rheological properties of starches isolated from banana varieties (*Musa spp.*). *Food Chemistry: X*. 16: 100473.
- Yusuf M, Legowo AM, Al-Baarri ANM. 2018. Inhibition test of browning reaction in apple (*Malus domestica* Borkh.) by low nacl concentration. *Journal of Applied Food Technology*. 5(2): 30-32.
- Zayed A, Abdelkareem S, Talaat N, Dayem DA, Farag MA. 2025. Tannin in foods: Classification, dietary sources, and processing strategies to minimize anti-nutrient effects. *Food and Bioprocess Technology*. 18(11): 9221-9249.
- Zhao W, Zheng M, Li X, Song K, Shi D. 2025. Fruit Astringency: Mechanisms, Technologies, and Future Directions. *Horticulturae*. 11(6): 699.

Zwolak, Sarzyńska M, Szpyrka E, Stawarczyk K. 2019. Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: A review. *Water, air, & soil pollution*. 230(7): 164.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.