

TUGAS AKHIR

EVALUASI MUTU KULIT MANGGIS (*GARCINIA MANGOSTANA L.*) HASIL PENGERINGAN DENGAN METODE *OVEN DRYING* DALAM UPAYA EFISIENSI ENERGI



Oleh:

DJEK LIKO

NIM. 2110913027

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ANDALAS

PADANG

2026

LEMBAR PENGESAHAN

**EVALUASI MUTU KULIT MANGGIS (*GARCINIA
MANGOSTANA L.*) HASIL PENGERINGAN DENGAN
METODE *OVEN DRYING* DALAM UPAYA EFISIENSI
ENERGI**

OLEH:
DJEK LIKO
NIM. 2110913027

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Penguji pada tanggal 18 Mei 2026

Penguji 1



Alfikri Ikhsan S.T, M.Eng
NIP. 199906172024061001

Penguji 2



Berry Yuliandra, M.T
NIP. 198807092015041003

Menyetujui:

Pembimbing Utama



Endri Yani, M.T.
NIP. 197901032005012004

Pembimbing Pendamping



Ir. Iskandar R., M.T.
NIP. 197007091995121001

Mengetahui:

Ketua Departemen Teknik Mesin

Ketua Prodi S1 Teknik Mesin

Prof. Dr. Eng. Meifal Rusli
NIP. 197505272000031002

Dr. Eng. Ilhamdi
NIP. 198203232006041004

PENETAPAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas diberikan kepada:

Nama : Djek Liko

Nomor Induk Mahasiswa : 2110913027

Dosen Pembimbing : Endri Yani, M.T.
Ir. Iskandar. R, M.T

Waktu Penyelesaian : ±6 bulan

Judul Tugas Akhir : Evaluasi Mutu Kulit Manggis (*Garcinia Mangostana* L.) Hasil Pengeringan Dengan Metode *Oven drying* Dalam Upaya Efisiensi Energi

Uraian Tugas Akhir:

1. Studi literatur
2. Persiapan alat dan bahan penelitian
3. Pengambilan dan pengolahan data
4. Analisis dan pembahasan hasil
5. Kesimpulan dan saran

Padang, 18 Mei 2026

Pembimbing Utama



Endri Yani, M.T.
NIP. 197505272000031002

Pembimbing Pendamping



Ir. Iskandar R, M.T.
NIP. 197007091995121001

PRAKATA

Puji beserta syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Evaluasi Mutu Kulit Manggis (*Garcinia Mangostana* L.) Hasil Pengeringan dengan Metode *Oven drying* Dalam Upaya Efisiensi Energi” di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas.

Pelaksanaan dan penyusunan tugas akhir ini tidak mungkin terlaksana tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ayahanda Amat Saimin dan Ibunda Suryati. Sebagai kedua orang tua penulis serta keluarga yang telah memberi kasih sayang, semangat, motivasi dan do'a nya untuk penulis.
2. Ibu Endri Yani, M.T. dan Bapak Ir. Iskandar R, M.T. sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, perhatian, pengarahan, dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Alfikri Ikhsan, M.Eng sebagai dosen penguji 1 dan Bapak Berry Yuliandra, M.T sebagai dosen penguji 2 seminar hasil tugas akhir yang telah meluangkan waktu, memberikan arahan dan masukan yang berharga kepada penulis.
4. Seluruh dosen dan karyawan di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas.
5. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2021.
6. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Padang, 18 Mei 2026

Djek Liko

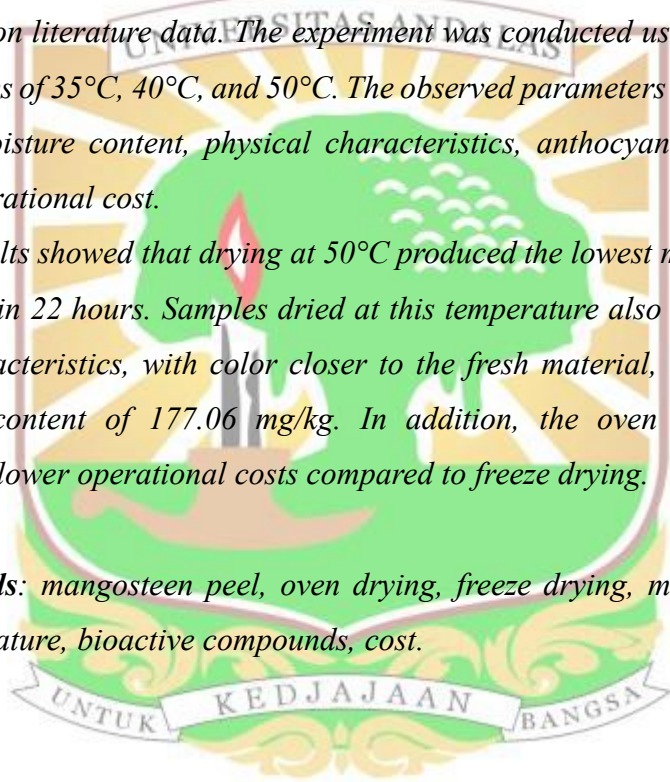
ABSTRACT

Mangosteen peel (Garcinia mangostana L.) is an agricultural by-product rich in bioactive compounds such as xanthenes and anthocyanins; however, these compounds are sensitive to processing conditions. In the Kampung Tematik Manggis Limau Manis area, drying is still commonly performed using traditional sun-drying methods, which have limitations in terms of processing time, hygiene, and product quality.

This study aims to analyze the effect of temperature variations in the oven drying method on the quality of mangosteen peel and to compare it with freeze drying based on literature data. The experiment was conducted using oven drying at temperatures of 35°C, 40°C, and 50°C. The observed parameters included drying time, final moisture content, physical characteristics, anthocyanin content, and estimated operational cost.

The results showed that drying at 50°C produced the lowest moisture content of 3.86% within 22 hours. Samples dried at this temperature also exhibited better physical characteristics, with color closer to the fresh material, and the highest anthocyanin content of 177.06 mg/kg. In addition, the oven drying method demonstrated lower operational costs compared to freeze drying.

Keywords: *mangosteen peel, oven drying, freeze drying, moisture content, drying temperature, bioactive compounds, cost.*



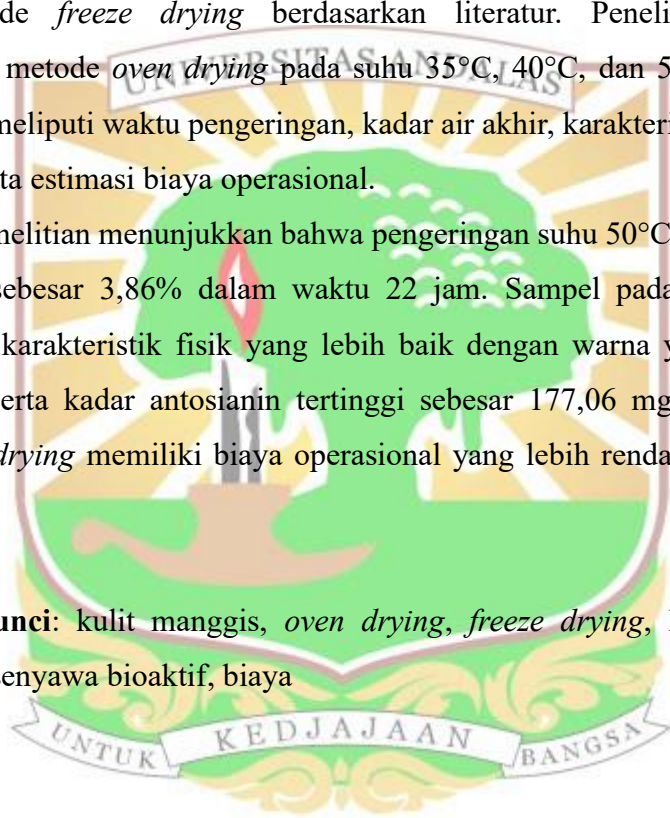
ABSTRAK

Kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.) merupakan limbah pertanian yang kaya senyawa bioaktif seperti xanton dan antosianin, namun sensitif terhadap proses pengolahan. Di Kampung Tematik Manggis Limau Manis, pengeringan masih dilakukan secara tradisional menggunakan sinar matahari yang memiliki keterbatasan dari segi waktu, higienitas, dan kualitas hasil.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu pada metode *oven drying* terhadap kualitas kulit manggis serta membandingkannya dengan metode *freeze drying* berdasarkan literatur. Penelitian dilakukan menggunakan metode *oven drying* pada suhu 35°C, 40°C, dan 50°C. Parameter yang diamati meliputi waktu pengeringan, kadar air akhir, karakteristik fisik, kadar antosianin, serta estimasi biaya operasional.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengeringan suhu 50°C memiliki kadar air terendah sebesar 3,86% dalam waktu 22 jam. Sampel pada suhu ini juga menunjukkan karakteristik fisik yang lebih baik dengan warna yang mendekati bahan segar serta kadar antosianin tertinggi sebesar 177,06 mg/kg. Selain itu, metode *oven drying* memiliki biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan *freeze drying*.

Kata kunci: kulit manggis, *oven drying*, *freeze drying*, kadar air, suhu pengeringan, senyawa bioaktif, biaya



DAFTAR ISI

COVER	Hal
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PENETAPAN TUGAS AKHIR	iii
PRAKATA	iv
ABSTRACT	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR SIMBOL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Manggis.....	6
2.2 Senyawa Bioaktif dalam Kulit Manggis	8
2.2.1 Xanton (<i>Xanthones</i>)	8
2.2.2 Antosianin	9
2.2.3 Flavonoid.....	10
2.2.4 Tanin.....	11
2.3 Prinsip Dasar dan Metode Pengeringan pada Kulit Manggis.....	11
2.3.1 Definisi dan Tujuan Pengeringan pada Kulit Manggis	12
2.3.2 Mekanisme Dasar Pengeringan	12
2.3.3 Faktor yang Mempengaruhi Pengeringan	13
2.3.4 Metode Pengeringan Konvensional	15
2.3.5 Metode Pengeringan Modern	19
2.4 Perhitungan Kadar Air dalam Proses Pengeringan.....	23
2.5 Konsumsi Energi dan Biaya Pengeringan.....	24
2.6 Standar Mutu Produk Herbal dan SNI.....	25
2.6.1 Pengertian Standar Mutu Produk Herbal	26
2.6.2 Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk Produk Herbal	26

2.6.3 Parameter Mutu Simplisia Herbal Kering.....	27
2.7 Penelitian Terdahulu.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2 Skema Alat	31
3.2.1 Bahan dan Peralatan Umum.....	31
3.2.2 <i>Oven drying</i>	32
3.2.3 <i>Freeze drying</i>	34
3.2.4 Penimbangan Akhir.....	36
3.2.5 Uji Karakteristik Fisik.....	37
3.2.6 Uji Kandungan Senyawa Antosianin (Spektrofotometri)	37
3.2.7 Analisis Efisiensi Energi dan Biaya Pengeringan	39
3.2.8 Tabel Penelitian	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Pengaruh Variasi Suhu <i>Oven Drying</i> terhadap Proses Pengeringan Kulit Manggis.....	41
4.1.1 Pengaruh Suhu terhadap Massa Akhir	41
4.1.2 Pengaruh Suhu terhadap Kadar Air	42
4.2 Perbandingan Hasil Pengeringan <i>Oven drying</i> dengan <i>Freeze drying</i> .	43
4.3 Analisis Karakteristik Fisik Kulit Manggis Hasil Pengeringan.....	45
4.4 Analisis Senyawa Bioaktif Kulit Manggis Menggunakan Spektrofotometri.....	46
4.5 Perbandingan Kandungan Antosianin <i>Oven drying</i> dengan <i>Freeze drying</i>	47
4.6 Analisis Kinerja dan Konsumsi Energi <i>Oven drying</i>	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	61
Lampiran A Tabel data waktu proses pengeringan	62
Lampiran B Data Pengujian Senyawa Antosianin.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Buah Manggis [17].....	6
Gambar 2.2 Skema Alat Oven drying [39]	17
Gambar 2.3 Skema Alat Solar drying [42]	19
Gambar 2.4 Skema Alat freeze drying [10]	21
Gambar 2.5 Skema Alat Vacuum drying [52]	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan).....	30
Gambar 3.2 Skema Alat Oven Drying (Maskot).....	32
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Massa Akhir Hasil Pengeringan.....	41
Gambar 4.2 Perbandingan Kadar Air Akhir Hasil Pengeringan	42
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Hasil Oven drying dan Freeze drying	44
Gambar 4.4 Karakteristik Warna dan Tesktur Kulit Manggis Hasil Pengeringan.....	45



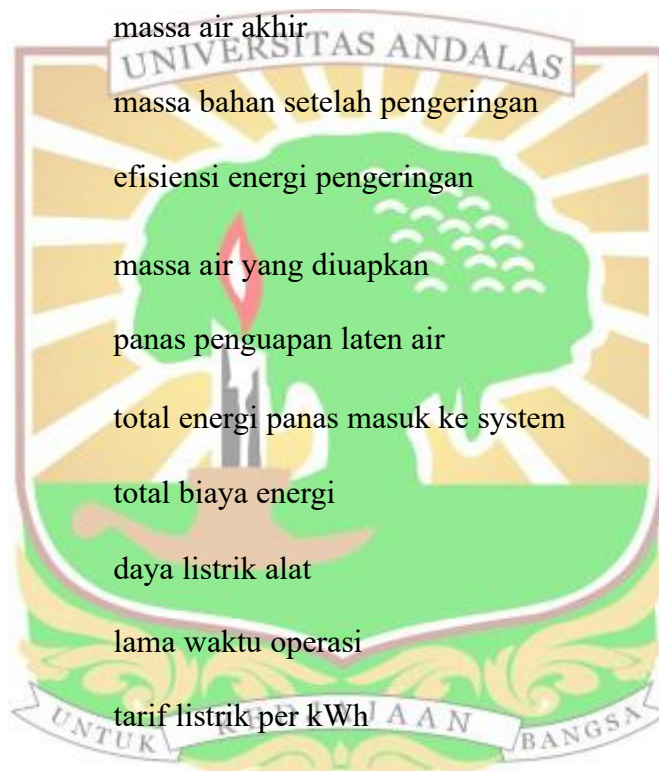
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Penelitian Terdahulu [13]	28
Tabel 3.1 Tabel Penelitian.....	40
Tabel 4.1 Hasil Senyawa Antosianin Menggunakan Spektrofotometri.....	46
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Oven Drying dengan Freeze Drying	47
Tabel 4.3 Hasil Perbandingan Biaya Metode Oven Drying dan Freeze Drying ...	48



DAFTAR SIMBOL

<u>Lambang</u>	<u>Keterangan</u>	<u>Satuan</u>
$m_{\text{air awal}}$	massa air awal	g
A_{awal}	kadar air awal	%
m_{awal}	massa bahan sebelum pengeringan	g
m_{kering}	massa bahan kering	g
$m_{\text{air akhir}}$	massa air akhir	g
m_{akhir}	massa bahan setelah pengeringan	g
η	efisiensi energi pengeringan	%
m_w	massa air yang diuapkan	kg
h_{fg}	panas penguapan laten air	kJ/kg
Q_{in}	total energi panas masuk ke system	kJ
C_t	total biaya energi	Rupiah
P	daya listrik alat	kW
t	lama waktu operasi	Jam
C_e	tarif listrik per kWh	Rp/kWh
W_1	massa sebelum dilakukan pengeringan	g
W_2	massa setelah dilakukan pengeringan	g



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manggis (*Garcinia mangostana* L.) merupakan buah tropis yang banyak ditemukan di Asia Tenggara, termasuk Indonesia, dan dikenal sebagai *queen of fruits* karena cita rasa serta manfaat kesehatannya. Produksi manggis di Indonesia terus meningkat, mencapai 343.663 ton pada tahun 2022 [1]. Pada tingkat daerah, Provinsi Sumatera Barat merupakan salah satu sentra produksi utama dengan volume produksi sekitar 95.014 ton pada tahun yang sama [2]. Kondisi agroklimat wilayah ini sangat mendukung budidaya manggis sehingga berkontribusi besar terhadap pasokan nasional [3].

Salah satu kawasan potensial penghasil manggis di Sumatera Barat adalah Kampung Tematik Manggis Limau Manis, Kota Padang. Kawasan ini telah dikembangkan sebagai sentra budidaya manggis oleh masyarakat setempat [4]. Namun, pemanfaatan hasil panen masih terbatas pada daging buah, sedangkan kulit manggis umumnya dibuang sebagai limbah. Padahal, kulit manggis mencapai sekitar 60–70% dari total bobot buah dan berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan jika tidak dimanfaatkan dengan baik [5]. Selain itu, kulit manggis juga mengandung senyawa bioaktif seperti xanton, antosianin, flavonoid, tanin, dan saponin yang memiliki berbagai aktivitas biologis [6].

Menurut penelitian Widhyastini (2017), kulit bagian luar dan bagian dalam manggis juga memiliki kandungan proksimat, alkaloid, dan flavonoid yang berbeda tergantung perlakuan pengeringan. Hal ini membuktikan bahwa kulit manggis bukanlah limbah biasa, tetapi bahan baku potensial untuk industri kesehatan, pangan fungsional, dan kosmetik [7].

Pada masyarakat Kampung Tematik Manggis Limau Manis, proses pascapanen kulit manggis masih didominasi metode penjemuran tradisional. Metode ini memiliki keterbatasan berupa ketergantungan cuaca, waktu pengeringan yang lama, risiko kontaminasi, serta suhu yang tidak terkontrol sehingga berpotensi menurunkan mutu dan kestabilan senyawa bioaktif. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengeringan yang lebih efisien dan terkontrol [8].

Permasalahan utama dalam pemanfaatan kulit manggis adalah belum optimalnya teknologi pascapanen yang mampu mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif. Senyawa xanton yang jumlahnya cukup banyak sangat sensitif terhadap suhu tinggi, cahaya, dan oksigen selama proses pengolahan [9]. Oleh karena itu, pengeringan yang tepat diperlukan untuk menurunkan kadar air sekaligus menjaga kualitas senyawa bioaktif, sehingga kulit manggis dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bernilai ekonomi tinggi [10].

Beberapa metode pengeringan yang umum digunakan untuk bahan herbal antara lain *sun drying*, *oven drying*, dan *freeze drying*. *Oven drying* mudah diaplikasikan dan lebih ekonomis, namun berpotensi menyebabkan penurunan mutu akibat pemanasan [11]. Sebaliknya, *freeze drying* mampu mempertahankan kualitas bahan dengan sangat baik, tetapi memerlukan biaya dan konsumsi energi yang tinggi serta waktu proses yang lama [12].

Menurut Nawawi et al. (2023), metode *freeze drying* menghasilkan retensi antosianin dan aktivitas antioksidan tertinggi, namun kurang efisien untuk skala menengah ke bawah. Sebaliknya, *oven drying* memiliki potensi besar sebagai alternatif yang lebih ekonomis, karena dapat menghasilkan bahan kering dengan kadar air stabil dalam waktu relatif lebih singkat serta konsumsi energi lebih rendah [13].

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengembangan metode *oven drying* sebagai alternatif *freeze drying* dalam pengeringan kulit manggis. Dengan pengaturan suhu yang tepat, diharapkan *oven drying* mampu menghasilkan mutu bahan kering yang mendekati *freeze drying* dengan biaya operasional yang lebih rendah, sehingga sesuai untuk diterapkan pada skala masyarakat dan usaha kecil [13].

Selain aspek teknologinya, pengolahan kulit manggis juga memiliki potensi ekonomi yang strategis untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat, khususnya di Kampung Tematik Manggis Limau Manis. Selama ini, kulit manggis hanya dianggap sebagai limbah, padahal apabila diolah dengan tepat dapat menghasilkan produk bernilai jual tinggi seperti serbuk ekstrak, minuman herbal, dan bahan baku kosmetik alami. Nugroho et al. (2022) melaporkan bahwa pengolahan kulit

manggis menjadi produk turunan, seperti nano mangosteen tea dan sirup manggis, mampu memberikan nilai tambah ekonomi yang sangat tinggi, yaitu masing-masing sebesar Rp 106.791/kg dan Rp 227.916/kg bahan baku kulit manggis. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan kulit manggis tidak hanya berpotensi mengurangi limbah pertanian, tetapi juga dapat menjadi peluang usaha yang menjanjikan bagi masyarakat setempat [14].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi mutu kulit manggis hasil pengeringan menggunakan *oven drying* pada variasi suhu yang berbeda serta membandingkannya dengan *freeze drying* berdasarkan literatur. Evaluasi dilakukan terhadap karakteristik fisik, kandungan bioaktif, serta efisiensi energi dan biaya pengeringan guna menentukan metode pengolahan yang paling efektif dan berkelanjutan [13].

Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh metode pengeringan yang mampu mempertahankan mutu kulit manggis sekaligus memberikan solusi teknologi yang terjangkau bagi masyarakat Kampung Tematik Manggis Limau Manis, sehingga kulit manggis dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produk herbal dan kosmetik bernilai ekonomi tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu pada proses *oven drying* terhadap mutu dari kandungan bioaktif kulit manggis ?
2. Bagaimana mutu kulit manggis hasil *oven drying* dibandingkan dengan mutu kulit manggis hasil *freeze drying* berdasarkan data penelitian literatur ?
3. Apakah *oven drying* dapat menjadi metode pengeringan yang lebih efisien dari segi energi dibandingkan *freeze drying* tanpa menurunkan mutu secara signifikan ?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi suhu pengeringan menggunakan *oven drying* terhadap mutu dari kulit manggis, meliputi parameter fisik dan kandungan senyawa bioaktif.
2. Untuk membandingkan mutu dari kandungan bioaktif kulit manggis hasil pengeringan menggunakan *oven drying* dengan mutu hasil *freeze drying*

berdasarkan data penelitian terdahulu sebagai acuan standar kualitas pengeringan.

3. Untuk mengetahui suhu pengeringan menggunakan *oven drying* yang mampu menghasilkan mutu kulit manggis mendekati hasil *freeze drying*, namun dengan biaya pengeringan yang lebih efisien dan berpotensi diterapkan pada pengolahan skala masyarakat atau UMKM.

1.4 Manfaat

1. Menambah informasi ilmiah mengenai pengaruh variasi suhu pengeringan pada oven drying terhadap mutu kulit manggis.
2. Memberikan rekomendasi metode pengeringan kulit manggis yang sederhana, terjangkau, dan efektif untuk mempertahankan mutu sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produk herbal.
3. Mendukung upaya pemanfaatan limbah pertanian menjadi produk bernilai tambah tinggi, sehingga berkontribusi pada ekonomi sirkular khususnya di daerah Sumatera Barat, Kampung Tematik Manggis Limau Manis (Kelurahan Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang).

1.5 Batasan masalah

1. Penelitian hanya berfokus pada proses pengeringan kulit manggis menggunakan metode *oven drying* dengan variasi suhu.
2. Buah manggis dianggap mempunyai kadar air awal dan kandungan bioaktif yang beragam.
3. Metode *freeze drying* tidak dilakukan secara langsung, tetapi digunakan sebagai data pembandingan berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang relevan.
4. Parameter mutu yang dianalisis dibatasi pada karakteristik fisik dan kandungan bioaktif tertentu (antosianin dan flavonoid menggunakan FTIR) yang berkaitan dengan kualitas hasil pengeringan.
5. Analisis biaya pengeringan dibatasi pada perhitungan biaya operasional dari penggunaan metode *oven drying* selama proses penelitian, bukan perhitungan biaya operasional langsung pada skala industri.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini tersusun dari lima bab. Bab pertama mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan penelitian, serta gambaran mengenai struktur penulisan bab-bab selanjutnya. Bab kedua membahas kajian literatur yang mendukung penelitian ini. Bab ketiga menguraikan tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian. Bab keempat memaparkan hasil dan pembahasan berdasarkan analisis data dari hasil simulasi yang diperoleh. Bab kelima mencakup kesimpulan penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manggis

Manggis (*Garcinia mangostana* L.) merupakan salah satu buah tropis yang sangat populer di kawasan Asia Tenggara dan dikenal sebagai *queen of fruits* karena rasanya yang khas serta kandungan gizi dan bioaktifnya yang tinggi. Tanaman ini berasal dari famili *Clusiaceae*, tumbuh secara alami di daerah tropis basah, dan kini telah dibudidayakan secara luas di berbagai negara Asia, seperti Thailand, Malaysia, Filipina, dan Indonesia. Manggis umumnya membutuhkan curah hujan tahunan sebesar 1.200–2.500 mm, suhu rata-rata 22–32 °C, serta kelembaban tinggi untuk mendukung pertumbuhannya. Kondisi agroklimat di Indonesia, khususnya di Sumatera dan Jawa, sangat ideal untuk budidaya manggis sehingga menjadikan negara ini salah satu produsen utama di dunia [15].

Secara morfologi, pohon manggis dapat mencapai tinggi 7–25 meter dengan batang berkayu keras dan daun berbentuk *elips* lebar yang berwarna hijau tua. Buah manggis berbentuk bulat dengan kulit tebal berwarna hijau pada saat muda, kemudian berubah menjadi ungu tua atau merah kehitaman ketika matang. Daging buah berwarna putih dengan 4–8 segmen, memiliki rasa manis-asam, dan mengandung air cukup tinggi [16]. Berikut merupakan gambar dari buah manggis pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Buah Manggis [17]

Secara ekonomi, manggis memiliki nilai strategis dalam perdagangan internasional. Thailand, Indonesia, dan Malaysia merupakan tiga negara utama pemasok manggis dunia. Di Indonesia, komoditas ini menjadi salah satu produk hortikultura ekspor unggulan dengan permintaan yang terus meningkat. Sebaran produksi manggis di Indonesia meliputi sejumlah provinsi, antara lain Sumatera Barat, Sumatera Utara, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Kalimantan Barat, serta beberapa daerah di Sulawesi. Sentra produksi terbesar nasional dilaporkan berasal dari Jawa Barat, khususnya Kabupaten Tasikmalaya, Subang, dan Purwakarta, yang dikenal memiliki ribuan hektar areal perkebunan manggis. Di wilayah Sumatera Barat, daerah seperti Kabupaten Lima Puluh Kota, Tanah Datar, dan Solok menjadi kawasan penghasil manggis utama karena kondisi tanah vulkanik dan iklimnya mendukung pertumbuhan tanaman. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS. 2023), menunjukkan bahwa produksi manggis nasional pada tahun 2022 mencapai 343.663 ton, meningkat dari tahun sebelumnya. Sumatera Barat, Jawa Barat, dan Jawa Tengah merupakan sentra produksi terbesar, dengan Sumatera Barat menyumbang sekitar 95.014 ton atau hampir 28% dari total produksi nasional [1]. Kondisi tersebut menegaskan bahwa manggis tidak hanya bernilai ekonomi tinggi, tetapi juga berpotensi menghasilkan limbah kulit dalam jumlah besar yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bernilai tambah [18].

Kulit manggis sendiri merupakan bagian buah yang paling dominan secara massa, yaitu mencapai sekitar 60–70% dari total bobot buah. Selama ini bagian tersebut sering dianggap tidak bernilai karena teksturnya keras, rasanya pahit, dan tidak dapat langsung dikonsumsi. Akibatnya, kulit manggis biasanya hanya dibuang sebagai limbah organik pascapanen, yang dalam jumlah besar dapat menimbulkan masalah lingkungan berupa penumpukan sampah organik, emisi bau akibat fermentasi alami, dan potensi pencemaran lingkungan sekitar. Padahal, penelitian terbaru menunjukkan bahwa kulit manggis justru merupakan sumber utama senyawa bioaktif bernilai tinggi, terutama kelompok xanton dan antosianin, yang diketahui memiliki aktivitas antioksidan, antibakteri, dan antikanker. Li et al. (2023) menegaskan bahwa konsentrasi α -mangostin, γ -mangostin, serta antosianin jauh lebih tinggi ditemukan pada kulit dibandingkan bagian lain dari buah manggis,

sehingga menjadikannya bahan baku potensial untuk aplikasi pangan fungsional, farmasi, dan kosmetika [19].

Kulit manggis memiliki kadar air yang relatif tinggi sehingga mudah mengalami fermentasi alami, cepat rusak, dan menurunkan kualitas senyawa bioaktif jika tidak segera ditangani pascapanen. Oleh karena itu, teknologi pengeringan menjadi salah satu langkah penting dalam menjaga mutu kulit manggis agar dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Penelitian oleh Zhang et al. (2022) menunjukkan bahwa metode pengeringan dan lama proses sangat memengaruhi kandungan fenolik total, komposisi antosianin, serta aktivitas antioksidan pada kulit manggis. Hasil penelitian tersebut menegaskan bahwa penggunaan metode pengeringan yang tepat, seperti *freeze drying*, lebih mampu mempertahankan kandungan bioaktif dibandingkan *oven drying* yang cenderung menyebabkan degradasi pada senyawa sensitif panas [13]. Dengan demikian, pengeringan yang terkontrol bukan hanya memperpanjang umur simpan kulit manggis, tetapi juga memungkinkan pengolahan lebih lanjut menjadi simplisia, ekstrak, atau produk turunan bernilai ekonomi tinggi.

2.2 Senyawa Bioaktif dalam Kulit Manggis

Kulit manggis (*pericarp*) mengandung beragam senyawa sekunder yang berpotensi farmakologis, seperti kelompok xanton (*xanthones*), antosianin, flavonoid, tanin, saponin, dan senyawa fenolik lain. Senyawa-senyawa ini bertanggung jawab atas aktivitas antioksidan, antimikroba, antiradang, serta aktivitas bioaktif lain yang membuat kulit manggis berpotensi sebagai bahan pangan fungsional, bahan baku obat tradisional/fitofarmaka, maupun bahan kosmetik. Analisis kuantitatif dan kualitatif terhadap senyawa tersebut umumnya dilakukan menggunakan teknik kromatografi seperti HPLC atau UPLC-MS, serta uji bioaktivitas *in vitro* seperti DPPH dan FRAP untuk menilai aktivitas antioksidannya [9].

2.2.1 Xanton (*Xanthones*)

Xanton merupakan kelompok senyawa polifenol alami yang banyak terdapat pada kulit manggis (*pericarp*). Senyawa ini memiliki struktur dasar *tricyclic aromatic* yang stabil serta mampu bertindak sebagai donor elektron dalam aktivitas

antioksidan. Kulit manggis mengandung lebih dari 40 jenis turunan xanton, di antaranya α -mangostin, γ -mangostin, β -mangostin, garcinone E, dan gertanin, sehingga menjadi penanda kimia khas buah manggis [20].

Secara biologis, xanton memiliki berbagai aktivitas penting, terutama sebagai antioksidan yang mampu menangkal radikal bebas berdasarkan uji *in vitro* seperti DPPH dan FRAP, dengan α -mangostin sebagai senyawa dominan [19]. Selain itu, xanton juga berperan sebagai antiinflamasi melalui penghambatan jalur pensinyalan NF- κ B serta menunjukkan potensi sebagai antikanker dengan menginduksi apoptosis dan menghambat pertumbuhan sel kanker [20].

Dalam bidang pangan fungsional, xanton dimanfaatkan sebagai bahan baku nutraseutikal, suplemen kesehatan, dan produk herbal karena aktivitas antioksidan dan imunomodulatornya [21]. Namun, stabilitas xanton dipengaruhi oleh proses pengolahan, terutama suhu. Pengeringan pada suhu tinggi dapat menyebabkan degradasi senyawa bioaktif, sedangkan metode suhu rendah seperti *freeze drying* lebih mampu mempertahankan kestabilannya. Namun, stabilitas xanton dipengaruhi oleh proses pengolahan, terutama suhu. Pengeringan pada suhu tinggi dapat menyebabkan degradasi senyawa bioaktif, sedangkan metode suhu rendah seperti *freeze drying* lebih mampu mempertahankan kestabilannya [13].

2.2.2 Antosianin

Antosianin merupakan pigmen alami dari kelompok flavonoid yang memberikan warna ungu pada kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.). Senyawa ini merupakan glikosida dari antosianidin yang bersifat larut air dan sensitif terhadap faktor lingkungan seperti *pH*, suhu, cahaya, dan oksigen, sehingga mudah mengalami degradasi selama proses pengolahan [22].

Secara biologis, antosianin memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi dalam menangkal radikal bebas serta berperan dalam mencegah kerusakan sel akibat stres oksidatif. Selain itu, antosianin juga menunjukkan aktivitas antiinflamasi dan berkontribusi dalam menurunkan risiko penyakit degeneratif, sehingga banyak dimanfaatkan dalam pengembangan pangan fungsional, suplemen kesehatan, serta produk farmasi dan kosmetik [23].

Stabilitas antosianin sangat dipengaruhi oleh suhu dan kondisi lingkungan. Pengeringan dengan suhu tinggi, seperti *oven drying*, dapat menyebabkan penurunan kandungan antosianin, sedangkan metode *freeze drying* lebih mampu mempertahankan kestabilannya karena menggunakan suhu rendah dan proses sublimasi[13].

Selain metode pengeringan, kestabilan antosianin juga dapat dipengaruhi oleh kondisi penyimpanan. Studi oleh Khoo et al. (2017) menekankan bahwa antosianin cenderung stabil pada pH rendah (asam), sedangkan pada pH netral hingga basa senyawa ini cepat mengalami degradasi. Oleh karena itu, dalam konteks pemrosesan kulit manggis, penting untuk memilih metode yang tidak hanya menurunkan kadar air tetapi juga mempertahankan kestabilan antosianin, baik melalui kontrol suhu maupun lingkungan penyimpanan [22].

2.2.3 Flavonoid

Flavonoid merupakan metabolit sekunder dari golongan polifenol yang banyak ditemukan pada buah, sayuran, dan tanaman obat, termasuk kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.). Senyawa ini memiliki struktur dasar C6–C3–C6 dan terdiri atas berbagai subkelompok seperti flavonol, flavanon, flavon, isoflavon, katekin, dan antosianin. Pada kulit manggis, flavonoid hadir bersama senyawa bioaktif lain seperti xanton dan tanin yang berkontribusi terhadap aktivitas biologisnya [24].

Secara biologis, flavonoid berperan sebagai antioksidan alami melalui mekanisme penangkapan radikal bebas, pengkelatan ion logam, serta peningkatan aktivitas enzim antioksidan. Selain itu, flavonoid juga memiliki aktivitas antiinflamasi, antimikroba, dan antikanker melalui modulasi jalur pensinyalan seluler, sehingga berperan dalam pencegahan kerusakan sel dan penyakit degeneratif [25].

Kandungan flavonoid sangat dipengaruhi oleh metode pengolahan, khususnya suhu pengeringan. Penggunaan suhu tinggi, seperti pada *oven drying*, dapat menyebabkan degradasi flavonoid, sedangkan metode suhu rendah seperti *freeze drying* lebih mampu mempertahankan kandungannya [7]. Penelitian Nawawi et al. (2023) menunjukkan bahwa metode *freeze drying* menghasilkan retensi

flavonoid dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan *oven drying* [13].

2.2.4 Tanin

Tanin merupakan senyawa metabolit sekunder dari golongan polifenol yang banyak terdapat pada bagian tanaman, termasuk kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.). Senyawa ini memiliki sifat adstringen, yaitu kemampuan mengikat dan mengendapkan protein, serta berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan dan antimikroba [26]. Secara umum, tanin dibedakan menjadi *hydrolyzable tannins* dan *condensed tannins*, dengan jenis terkondensasi lebih dominan pada kulit manggis dan memiliki stabilitas serta bioaktivitas yang lebih tinggi [27].

Secara biologis, tanin berperan sebagai antibakteri melalui mekanisme merusak dinding sel, penghambatan enzim, serta pengendapan protein mikroba [28]. Selain itu, tanin juga berfungsi dalam melindungi protein dari degradasi, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan pengawet alami dalam produk pangan dan kesehatan [29].

Meskipun relatif lebih stabil dibandingkan senyawa bioaktif lain, tanin tetap dapat mengalami degradasi akibat suhu tinggi dan paparan oksigen. Oleh karena itu, metode pengolahan yang tepat diperlukan untuk mempertahankan kandungannya. Teknik ekstraksi modern seperti *Ultrasound-Assisted Extraction (UAE)* dan *Enzyme-Assisted Extraction (EAE)* dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi ekstraksi tanin pada kondisi suhu rendah dibandingkan metode konvensional [30].

2.3 Prinsip Dasar dan Metode Pengeringan pada Kulit Manggis

Proses pengeringan pada kulit manggis perlu dilakukan dengan memperhatikan prinsip dasar serta metode yang digunakan agar diperoleh hasil yang optimal. Pemilihan metode pengeringan yang tepat akan memengaruhi efisiensi proses, karakteristik fisik bahan, serta kestabilan senyawa bioaktif yang terkandung di dalamnya.

2.3.1 Definisi dan Tujuan Pengeringan pada Kulit Manggis

Pengeringan merupakan proses penurunan kadar air bahan melalui perpindahan panas dan massa sehingga aktivitas air (*water activity*) menurun hingga batas aman untuk penyimpanan. Pada kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.), pengeringan menjadi tahap penting karena tidak hanya berfungsi sebagai metode pengawetan, tetapi juga menentukan stabilitas komponen bioaktif. Kadar air yang tinggi dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme serta mempercepat reaksi kimia dan enzimatis, seperti oksidasi senyawa fenolik dan degradasi antosianin. Oleh karena itu, pengeringan bertujuan menurunkan kadar air hingga di bawah 10% agar bahan lebih stabil secara biologis, kimia, dan fisik [8].

Selain itu, pengeringan berperan dalam mempertahankan senyawa bioaktif seperti xanton, flavonoid, dan tanin yang memiliki aktivitas antioksidan tinggi namun sensitif terhadap panas, cahaya, dan oksigen. Proses pengeringan yang tidak tepat menyebabkan penurunan kandungan senyawa tersebut, sehingga memengaruhi kualitas bahan sebagai produk pangan fungsional dan herbal [31].

Dari aspek fisik, pengeringan juga memengaruhi warna bahan yang berkaitan dengan stabilitas antosianin. Suhu tinggi dapat mempercepat degradasi pigmen sehingga menurunkan kualitas visual. Metode *oven drying* cenderung menurunkan retensi antosianin dan menggelapkan warna, sedangkan *freeze drying* lebih mampu mempertahankan warna alami dan kandungan bioaktif [32].

2.3.2 Mekanisme Dasar Pengeringan

Proses pengeringan melibatkan dua mekanisme utama, yaitu perpindahan panas (*heat transfer*) dan perpindahan massa (*mass transfer*). Perpindahan panas terjadi ketika energi dari sumber pemanas ditransfer ke permukaan bahan melalui konveksi, konduksi, atau radiasi, sehingga menyebabkan air pada permukaan menguap. Selanjutnya, perpindahan massa berlangsung ketika air dari bagian dalam bahan berdifusi menuju permukaan untuk menggantikan air yang telah menguap. Kedua proses ini terjadi secara simultan dan menentukan laju pengeringan secara keseluruhan [33].

Pengeringan umumnya berlangsung dalam dua tahap, yaitu periode laju konstan (*constant rate period*) dan periode laju menurun (*falling rate period*). Pada

tahap awal, air bebas di permukaan menguap dengan cepat dan laju pengeringan dipengaruhi oleh kondisi eksternal seperti suhu dan aliran udara. Setelah air permukaan berkurang, proses memasuki tahap laju menurun yang dikendalikan oleh difusi air dari dalam bahan, sehingga laju pengeringan menjadi lebih lambat [34].

Karakteristik bahan juga memengaruhi proses ini. Struktur kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.) yang relatif padat dapat menghambat difusi air, sehingga memperlambat pengeringan. Selain itu, ukuran dan ketebalan bahan berpengaruh terhadap kecepatan difusi, di mana irisan yang lebih tipis cenderung mempercepat proses pengeringan [35].

Dalam bahan herbal, pengendalian suhu menjadi penting karena berpengaruh terhadap kestabilan senyawa bioaktif. Suhu tinggi dapat mempercepat pengeringan tetapi berisiko merusak senyawa sensitif, sedangkan suhu rendah cenderung kurang efisien dalam menurunkan kadar air. Oleh karena itu, diperlukan kondisi pengeringan yang optimal untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi proses dan kualitas bahan [8].

2.3.3 Faktor yang Mempengaruhi Pengeringan

Proses pengeringan pada bahan pangan maupun herbal dipengaruhi oleh sejumlah faktor yang saling berinteraksi. Faktor-faktor ini dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu faktor internal yang berasal dari karakteristik bahan, dan faktor eksternal yang berasal dari kondisi lingkungan serta metode pengeringan yang digunakan. Pemahaman yang tepat mengenai faktor-faktor tersebut sangat penting untuk merancang proses pengeringan yang efisien sekaligus mampu mempertahankan kualitas bioaktif dari bahan seperti kulit manggis.

2.3.3.1 Suhu Pengeringan

Suhu merupakan faktor eksternal utama yang memengaruhi laju pengeringan. Peningkatan suhu dapat mempercepat evaporasi air akibat meningkatnya gradien kelembaban antara bahan dan lingkungan. Namun, suhu yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan degradasi senyawa bioaktif seperti fenolik, flavonoid, dan antosianin yang sensitif terhadap panas. Oleh karena itu, pengendalian suhu diperlukan untuk menurunkan kadar air secara efektif tanpa menurunkan kualitas

senyawa aktif. Penelitian oleh Que *et al.* (2008) menunjukkan bahwa suhu pengeringan tinggi dapat menurunkan aktivitas antioksidan dibandingkan metode *freeze drying* [31].

2.3.3.2 Kelembaban Relatif Udara

Kelembaban relatif udara memengaruhi gradien tekanan uap antara bahan dan lingkungan. Kelembaban rendah mempercepat perpindahan air, sedangkan kelembaban tinggi menghambat penguapan, memperlambat pengeringan, dan meningkatkan risiko pertumbuhan mikroorganisme. Oleh karena itu, pengendalian kelembaban relatif sama pentingnya dengan suhu dalam menentukan efisiensi proses pengeringan [35].

2.3.3.3 Kecepatan Aliran Udara

Kecepatan aliran udara memengaruhi perpindahan panas dan pengangkutan uap air dari bahan. Aliran udara yang tinggi dapat mempercepat pengeringan, namun berpotensi menyebabkan *case hardening*, yaitu pengerasan permukaan yang menghambat difusi air dari bagian dalam bahan [33].

2.3.3.4 Ketebalan dan Ukuran Partikel Bahan

Ketebalan irisan dan ukuran partikel memengaruhi laju perpindahan massa selama proses pengeringan. Irisan yang lebih tipis cenderung mempercepat pengeringan karena jarak difusi air dari bagian dalam ke permukaan lebih pendek. Sebaliknya, irisan yang lebih tebal meningkatkan resistansi internal terhadap perpindahan uap air, sehingga memperlambat proses pengeringan dan memperpanjang waktu yang dibutuhkan [36].

2.3.3.5 Struktur dan Komposisi Bahan

Struktur jaringan dan komposisi kimia bahan memengaruhi perpindahan panas dan massa selama pengeringan. Bahan berpori tinggi mempercepat difusi uap air, sedangkan struktur padat meningkatkan resistansi internal sehingga memperlambat pengeringan.

Pada kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.), lapisan perikarp yang tebal dan kandungan antosianin dapat menghambat difusi air, sehingga waktu pengeringan menjadi lebih lama. Selain itu, senyawa bioaktif seperti antosianin dan

xanton sensitif terhadap panas, sehingga diperlukan kondisi pengeringan yang terkontrol untuk menjaga kualitas bahan [8].

2.3.4 Metode Pengeringan Konvensional

Pengeringan konvensional merupakan metode yang paling sering diaplikasikan pada bahan pangan maupun herbal karena sederhana dan relatif murah. Namun, dalam kasus kulit manggis (*Garcinia mangostana L.*), penentuan suhu pengeringan yang tepat menjadi faktor kunci. Kulit manggis mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti xanton, flavonoid, tanin, saponin, dan pigmen antosianin yang sangat sensitif terhadap panas. Suhu yang terlalu tinggi dapat mempercepat laju evaporasi air, tetapi juga memperbesar risiko degradasi bioaktif, sedangkan suhu yang terlalu rendah memperlambat proses sehingga memperpanjang waktu pengeringan. Oleh sebab itu, berbagai penelitian menyarankan penggunaan suhu moderat, khususnya pada kisaran 40–50 °C, untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi pengeringan dan retensi bioaktif.

2.3.4.1 Pengeringan dengan Udara Panas (*oven drying*)

Oven drying merupakan metode pengeringan konvensional yang banyak digunakan pada bahan pangan, termasuk kulit manggis (*Garcinia mangostana L.*), karena mudah dioperasikan dan memiliki biaya relatif rendah. Metode ini bekerja melalui perpindahan panas secara konveksi, di mana udara panas menguapkan air pada permukaan bahan, kemudian diikuti difusi air dari bagian dalam ke permukaan. Proses pengeringan berlangsung dalam dua tahap, yaitu periode laju konstan saat air bebas menguap cepat dan periode laju menurun ketika perpindahan air dibatasi oleh difusi internal [37].

Dalam pengolahan kulit manggis, *oven drying* pada suhu moderat (40–50 °C) efektif menurunkan kadar air hingga di bawah 10% sehingga bahan menjadi lebih stabil. Pada kisaran suhu ini, senyawa bioaktif seperti fenolik, flavonoid, dan xanton relatif masih dapat dipertahankan. Namun, antosianin sebagai pigmen warna lebih sensitif terhadap panas dan berpotensi mengalami degradasi pada suhu yang lebih tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa pengeringan pada suhu sekitar 45 °C mampu menghasilkan kadar air akhir 8–9% dengan kapasitas antioksidan yang tetap tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan suhu moderat merupakan kondisi yang

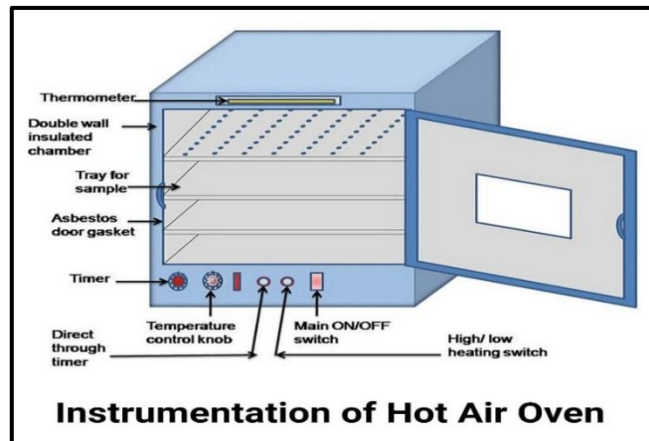
optimal untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi pengeringan dan retensi senyawa bioaktif [10].

Hasil penelitian Nawawi *et al.* (2023) menunjukkan bahwa *oven drying* pada 45 ± 1 °C dengan durasi 36 jam menghasilkan retensi antosianin lebih tinggi (~0,97 mg/g) dibandingkan 48 jam (~0,44 mg/g). Hal ini menunjukkan bahwa selain suhu, waktu pengeringan juga menjadi faktor penting dalam mempertahankan kualitas bioaktif, di mana durasi yang lebih singkat dapat meminimalkan degradasi antosianin [13].

Selain itu, *oven drying* juga memengaruhi karakteristik fisik kulit manggis. Pengeringan pada suhu moderat cenderung mempertahankan warna ungu gelap yang mendekati bahan segar serta menghasilkan tekstur yang lebih padat. Sebaliknya, suhu tinggi (>60 °C) dapat menyebabkan perubahan warna menjadi coklat kehitaman akibat degradasi pigmen dan penurunan aktivitas antioksidan. Fenomena serupa juga dilaporkan pada bahan lain, di mana suhu tinggi menyebabkan penurunan warna alami dan kualitas antioksidan [31].

Metode *oven drying* memiliki beberapa keunggulan, antara lain mampu menjaga suhu relatif stabil, proses lebih higienis karena berlangsung dalam ruang tertutup, serta waktu pengeringan yang lebih cepat dibandingkan metode tradisional. Kondisi ini mendukung proses pengeringan yang lebih terkontrol dan membantu mempertahankan senyawa bioaktif yang sensitif terhadap panas, seperti antosianin [13].

Namun, metode ini juga memiliki keterbatasan, terutama risiko degradasi senyawa bioaktif apabila suhu dan waktu tidak dikendalikan dengan baik. Senyawa fenolik, flavonoid, dan antosianin dapat mengalami penurunan aktivitas akibat paparan suhu tinggi atau durasi pengeringan yang terlalu lama. Selain itu, meskipun xanton relatif lebih stabil, paparan panas berkepanjangan tetap dapat menurunkan kualitasnya. Perubahan sifat fisik, seperti tekstur yang lebih rapuh dan berkurangnya senyawa volatil penyusun aroma, juga menjadi kendala dalam penggunaan metode ini [38]. Gambaran alat yang digunakan pada umumnya dalam metode pengeringan *oven drying* pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Skema Alat *Oven drying* [39]

2.3.4.2 Pengeringan Matahari (*Sun drying*)

Sun drying merupakan metode pengeringan konvensional sederhana yang memanfaatkan energi radiasi matahari untuk menguapkan air dari bahan. Proses ini umumnya berlangsung pada suhu sekitar 30–40 °C dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya, kelembaban udara, dan sirkulasi angin [40].

Penelitian oleh Nawawi et al. (2023) menunjukkan Pada kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.), *sun drying* mampu menurunkan kadar air hingga kisaran 7,6–8,8% dalam waktu sekitar 30–40 jam, sehingga memenuhi standar bahan kering (<10%). Namun, dibandingkan *oven drying*, metode ini membutuhkan waktu lebih lama dan cenderung menyebabkan penurunan kandungan bioaktif, terutama antosianin dan aktivitas antioksidan. Hal ini disebabkan oleh paparan sinar ultraviolet, oksigen, serta fluktuasi suhu selama proses pengeringan [13].

Sun drying tidak hanya memengaruhi kandungan bioaktif, tetapi juga karakteristik fisik kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.). Paparan sinar matahari, oksigen, dan radiasi UV dapat mempercepat degradasi antosianin, sehingga warna ungu berubah menjadi kecoklatan. Selain itu, pengeringan yang berlangsung bertahap dapat menyebabkan tekstur bahan menjadi lebih rapuh [41].

Meskipun demikian, *sun drying* memiliki keunggulan dari segi kesederhanaan dan biaya yang sangat rendah karena memanfaatkan energi matahari tanpa peralatan khusus. Metode ini juga ramah lingkungan dan mudah diterapkan,

terutama di daerah tropis dengan intensitas cahaya tinggi, sehingga masih banyak digunakan pada skala tradisional [40].

2.3.4.3 *Solar Drying*

Solar drying merupakan pengembangan dari metode sun drying dengan sistem pengering tertutup yang memanfaatkan energi matahari secara lebih terkontrol. Berbeda dengan metode tradisional yang sangat bergantung pada kondisi lingkungan, solar dryer dilengkapi dengan kolektor surya dan ruang tertutup seperti rumah kaca yang mampu meningkatkan dan menstabilkan suhu melalui efek rumah kaca [42].

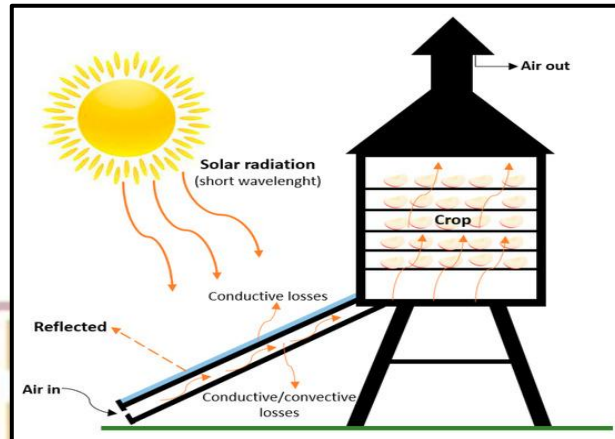
Dalam pengolahan kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.), metode ini berpotensi menurunkan kadar air hingga di bawah 10% dengan kondisi pengeringan yang lebih stabil. Penggunaan suhu moderat sekitar 45–50 °C pada *solar drying* maupun *oven drying* terbukti mampu mempercepat proses pengeringan sekaligus mempertahankan senyawa bioaktif seperti fenolik dan flavonoid [10].

Solar drying memiliki keunggulan dalam efisiensi energi, higienitas, dan sifat ramah lingkungan karena memanfaatkan energi matahari tanpa bahan bakar tambahan. Sistem tertutup pada *solar dryer* mampu mengurangi risiko kontaminasi serta menjaga suhu lebih stabil dibandingkan *sun drying*, sehingga proses pengeringan menjadi lebih cepat dan kualitas nutrisi relatif lebih terjaga. Penelitian menunjukkan bahwa metode ini lebih efektif dalam mempertahankan komponen sensitif seperti vitamin dan pigmen dibandingkan pengeringan terbuka [43].

Namun, metode ini masih memiliki keterbatasan, terutama ketergantungan pada kondisi cuaca yang memengaruhi kestabilan suhu dan waktu pengeringan. Pada kondisi radiasi matahari rendah, proses pengeringan menjadi kurang optimal. Selain itu, kemampuan mempertahankan senyawa bioaktif yang sensitif terhadap panas, seperti antosianin, masih lebih rendah dibandingkan metode modern seperti *freeze drying* [44].

Dari sisi ekonomi, biaya investasi untuk membangun sistem *solar dryer* juga relatif lebih tinggi daripada penjemuran tradisional, meskipun masih lebih rendah dibandingkan penggunaan *oven drying* atau *freeze drying*. Temuan ini sejalan dengan laporan Venkateswarlu dan Reddy (2024) yang menegaskan bahwa

keterbatasan efisiensi energi, kestabilan mutu, serta degradasi senyawa peka panas merupakan tantangan utama dalam penerapan teknologi *solar dryer* [44]. Gambaran alat yang digunakan pada umumnya dalam metode pengeringan *Solar drying* pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Skema Alat *Solar drying* [42]

2.3.5 Metode Pengeringan Modern

Metode pengeringan modern merupakan pendekatan inovatif dalam pengolahan bahan pangan dan herbal yang dirancang untuk mengatasi keterbatasan pengeringan konvensional, seperti ketidakstabilan suhu, lamanya waktu, serta rendahnya retensi senyawa bioaktif. Berbeda dengan metode tradisional yang hanya mengandalkan panas dari udara atau sinar matahari, metode modern memanfaatkan kontrol suhu, tekanan, dan media energi sehingga kondisi pengeringan dapat diatur secara lebih presisi. Dengan demikian, kualitas produk akhir lebih baik, baik dari segi kadar air, warna, tekstur, maupun kandungan senyawa bioaktif [45].

2.3.5.1 Pengeringan Beku (*freeze drying*)

Freeze drying atau pengeringan beku merupakan metode modern yang efektif dalam mempertahankan kualitas bahan pangan dan herbal. Proses ini diawali dengan pembekuan pada suhu sangat rendah (sekitar -40 hingga -50 °C), kemudian dilanjutkan pada kondisi vakum sehingga air dalam bahan berubah langsung dari fase padat menjadi uap melalui mekanisme sublimasi. Metode ini mampu menjaga struktur jaringan serta sifat fisik, kimia, dan sensori bahan karena meminimalkan kerusakan akibat panas [46].

Proses *freeze drying* terdiri dari tiga tahap utama, yaitu pembekuan (*freezing*), pengeringan primer (*primary drying*) melalui sublimasi es pada kondisi vakum, dan pengeringan sekunder (*secondary drying*) untuk menghilangkan sisa air terikat dengan pemanasan ringan. Tahapan ini memungkinkan pengeringan berlangsung efektif tanpa merusak senyawa bioaktif yang sensitif terhadap suhu tinggi [47].

Dalam pengolahan kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.), *freeze drying* mampu menghasilkan kadar air sangat rendah (<5%), sehingga lebih stabil dibandingkan standar umum bahan kering (<10%). Kondisi suhu rendah dan vakum pada metode ini efektif mempertahankan senyawa bioaktif seperti xanton, fenolik, flavonoid, dan antosianin. Penelitian menunjukkan bahwa *freeze drying* menghasilkan kandungan xanton dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan metode *oven drying* dan *sun drying* [10]. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Nawawi et al. (2023), Selain itu, metode ini juga memberikan retensi antosianin yang lebih baik, sehingga mampu mempertahankan pigmen alami secara optimal [13].

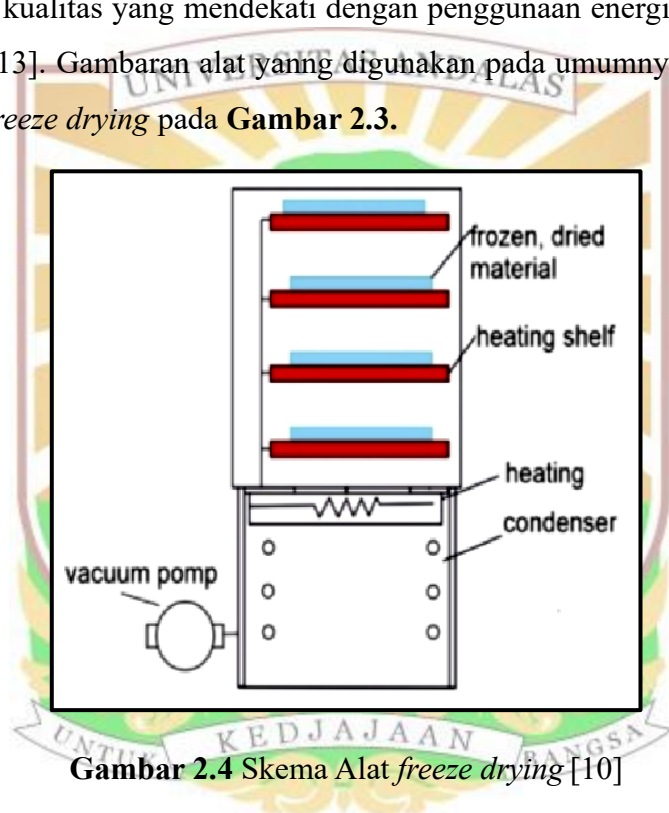
Dari aspek fisik, *freeze drying* menghasilkan warna yang lebih cerah, struktur berpori, ringan, dan mudah direhidrasi. Struktur ini terbentuk akibat proses sublimasi es yang meninggalkan rongga dalam jaringan. Karakteristik tersebut mendukung penggunaannya sebagai bahan baku bubuk atau suplemen, meskipun teksturnya cenderung lebih rapuh untuk aplikasi tertentu [10].

Keunggulan utama *freeze drying* terletak pada kemampuannya menghasilkan produk dengan mutu yang mendekati bahan segar, baik dari segi kandungan bioaktif, warna, aroma, maupun tekstur. Proses sublimasi pada kondisi vakum menghasilkan kadar air yang sangat rendah, sehingga aktivitas air menurun dan mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme serta reaksi degradasi. Selain itu, sistem tertutup dengan kontrol suhu dan tekanan menjadikan metode ini lebih higienis dan sesuai untuk produk bernilai tinggi seperti farmasi dan nutrasetikal [46].

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, *freeze drying* memiliki keterbatasan pada kebutuhan energi dan biaya yang tinggi akibat tahapan pembekuan, vakum, dan waktu proses yang relatif lama. Kompleksitas peralatan

juga menyebabkan investasi dan operasional lebih besar dibandingkan metode konvensional, sehingga kurang efisien untuk skala produksi besar atau bahan dengan nilai ekonomi rendah [46].

Penelitian oleh Nawawi et al. (2023) menunjukkan bahwa *freeze drying* menghasilkan retensi antosianin dan aktivitas antioksidan tertinggi dibanding *oven drying* dan *sun drying*, meskipun membutuhkan energi dan biaya operasional yang tinggi [19]. Dalam penelitian ini, metode *freeze drying* digunakan sebagai pembandingan berdasarkan literatur untuk menilai sejauh mana *oven drying* mampu menghasilkan kualitas yang mendekati dengan penggunaan energi dan biaya yang lebih efisien [13]. Gambaran alat yang digunakan pada umumnya dalam metode pengeringan *freeze drying* pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.4 Skema Alat *freeze drying* [10]

2.3.5.2 Vacuum Drying

Vacuum drying merupakan metode pengeringan modern yang bekerja dengan menurunkan tekanan udara sehingga titik didih air menjadi lebih rendah. Kondisi ini memungkinkan air menguap pada suhu relatif rendah (sekitar 40–50 °C), sehingga proses pengeringan dapat berlangsung lebih cepat sekaligus mengurangi risiko kerusakan termal pada bahan [48].

Pada kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.), metode ini berpotensi menjaga kestabilan senyawa bioaktif seperti fenolik, flavonoid, dan antosianin yang sensitif terhadap panas. Pengeringan pada tekanan rendah memungkinkan penggunaan

suhu lebih rendah dibandingkan *oven drying*, sehingga degradasi senyawa dan perubahan warna dapat diminimalkan [10].

Penelitian oleh Suvarnakuta *et al.* (2011) menunjukkan bahwa *vacuum drying* mampu mempertahankan kandungan xanton pada kulit manggis dengan retensi yang cukup baik, meskipun masih lebih rendah dibandingkan *freeze drying*. Metode ini juga menghasilkan kadar air akhir <10% serta mampu mempertahankan aktivitas antioksidan, meskipun terjadi sedikit penurunan akibat degradasi selama proses pengeringan [10].

Studi lain menunjukkan bahwa *vacuum drying* memberikan retensi polifenol dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan *oven drying*. Namun, hasilnya masih lebih rendah dibandingkan *freeze drying*, sehingga metode ini dapat diposisikan sebagai alternatif yang seimbang antara kualitas dan biaya operasional [49]. Selain itu, *vacuum drying* juga terbukti mampu mempertahankan senyawa bioaktif dan komponen volatil lebih baik dibandingkan metode konvensional pada beberapa bahan pangan [41]. Selain itu, *vacuum drying* juga terbukti mampu mempertahankan senyawa bioaktif dan komponen volatil lebih baik dibandingkan metode konvensional pada beberapa bahan pangan [50].

Meskipun memiliki keunggulan, *vacuum drying* masih memiliki keterbatasan dalam mempertahankan senyawa bioaktif. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa retensi fenolik, antosianin, dan aktivitas antioksidan pada metode ini masih lebih rendah dibandingkan *freeze drying*, meskipun lebih baik dibandingkan *oven drying* [41]. Hasil serupa juga dilaporkan pada bahan lain, di mana *vacuum drying* menyebabkan penurunan aktivitas antioksidan lebih besar dibandingkan *freeze drying*, namun tetap lebih unggul dibandingkan metode konvensional seperti *hot air drying* dan *sun drying* [50].

Selain itu, proses *vacuum drying* masih memiliki keterbatasan dalam hal kualitas sensori. Studi pada beberapa tanaman herbal dari famili *Lamiaceae* menunjukkan bahwa meskipun *vacuum drying* dapat menjaga warna dan senyawa volatil lebih baik dibanding konveksi, perubahan warna gelap akibat degradasi pigmen tetap tidak dapat dihindari sepenuhnya. Dengan demikian, *vacuum drying* dapat dianggap sebagai metode kompromi: kualitas yang dihasilkan lebih baik

daripada *oven* atau *sun drying*, tetapi masih di bawah *freeze drying*, terutama untuk retensi bioaktif yang sensitif terhadap panas [51]. Gambaran alat yang digunakan pada umumnya dalam metode pengeringan *vacuum drying* pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.5 Skema Alat *Vacuum drying* [52]

2.4 Perhitungan Kadar Air dalam Proses Pengeringan

Dalam analisis proses pengeringan, penentuan kadar air dilakukan melalui beberapa tahapan perhitungan, yaitu meliputi massa air awal, massa bahan kering, massa air akhir, dan kadar air akhir. Tahapan ini diperlukan untuk mengetahui perubahan kandungan air dalam bahan selama proses pengeringan berlangsung.

A. Massa Air Awal

Massa air awal merupakan jumlah air yang terkandung dalam bahan sebelum proses pengeringan. Nilai ini dapat dihitung berdasarkan kadar air awal bahan. Secara matematis, Massa air awal dalam pengeringan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1) [53] berikut:

$$m_{\text{air awal}} = K A_{\text{awal}} \times m_{\text{awal}} \quad (2.1)$$

B. Massa Bahan Kering

Massa bahan kering adalah massa padatan yang tersisa setelah seluruh kandungan air dihilangkan. Nilai ini dianggap konstan selama proses pengeringan karena yang menguap hanya air. Massa bahan kering dalam pengeringan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2) [53] berikut:

$$m_{\text{kering}} = m_{\text{awal}} - m_{\text{air awal}} \quad (2.2)$$

C. Massa Air Akhir

Massa air akhir merupakan jumlah air yang masih tersisa dalam bahan setelah proses pengeringan selesai. Massa air akhir dalam pengeringan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.3) [53] berikut:

$$m_{\text{air akhir}} = m_{\text{akhir}} - m_{\text{awal}} \quad (2.3)$$

D. Kadar Air Akhir

Kadar air akhir menunjukkan persentase kandungan air dalam bahan setelah proses pengeringan. Kadar air ini umumnya dinyatakan dalam basis basah, kadar air akhir dalam pengeringan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4) [53] berikut:

$$KA_{\text{akhir}} = \frac{m_{\text{air akhir}}}{m_{\text{kering}}} \times 100\% \quad (2.4)$$

Selain itu, kadar air juga dapat dinyatakan dalam basis kering [53]:

$$KA_{\text{bk}} = \frac{m_{\text{air akhir}}}{m_{\text{kering}}} \times 100\% \quad (2.5)$$

2.5 Konsumsi Energi dan Biaya Pengeringan

Efisiensi energi dan biaya merupakan aspek penting dalam menentukan kelayakan teknis dan ekonomi proses pengeringan. Efisiensi energi menunjukkan seberapa efektif energi panas digunakan untuk menguapkan air, sedangkan efisiensi biaya berkaitan dengan perbandingan antara biaya operasional dan mutu produk yang dihasilkan [54].

Pada *oven drying*, energi diperoleh dari pemanas listrik atau gas yang menghasilkan udara panas. Efisiensinya dipengaruhi oleh suhu, waktu pengeringan, sirkulasi udara, dan ketebalan bahan. Meskipun suhu tinggi dapat mempercepat proses, kondisi tersebut berisiko menurunkan kualitas akibat degradasi senyawa

bioaktif. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan suhu dan waktu yang optimal untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi energi dan kualitas produk [31].

Secara matematis, efisiensi energi (η) dalam pengeringan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6) [55] berikut:

$$\eta = \frac{m_w \times h_{fg}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2.6)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa efisiensi pengeringan akan meningkat apabila jumlah air yang diuapkan besar dibandingkan dengan energi yang dikonsumsi oleh sistem pemanas.

Sementara itu, biaya operasional pengeringan (C_t) dapat dihitung berdasarkan konsumsi energi listrik atau bahan bakar selama proses pengeringan menggunakan persamaan (2.7) [56] berikut:

$$C_t = P \times t \times c_e \quad (2.7)$$

Dalam penelitian ini, metode *oven drying* dipilih karena memiliki efisiensi energi dan biaya yang lebih baik dibandingkan *freeze drying*. Studi menunjukkan bahwa *freeze drying* membutuhkan konsumsi energi 5–10 kali lebih besar akibat proses pembekuan, vakum, dan sublimasi yang berlangsung lama [57].

Sebaliknya, *oven drying* menggunakan sistem konveksi udara panas yang lebih sederhana, mudah dioperasikan, dan relatif hemat energi. Pada suhu menengah (50–60 °C), metode ini mampu mencapai efisiensi termal yang cukup tinggi dengan kehilangan energi yang minimal apabila sirkulasi udara dikontrol dengan baik [8].

Oleh karena itu, variasi suhu dan waktu pada *oven drying* perlu dikaji untuk memperoleh kondisi optimal yang mampu menyeimbangkan mutu produk, konsumsi energi, dan biaya operasional. Analisis ini penting untuk menentukan metode pengeringan yang efisien, ekonomis, dan sesuai diterapkan pada skala masyarakat, khususnya di Kampung Tematik Manggis Limau Manis.

2.6 Standar Mutu Produk Herbal dan SNI

Dalam pengembangan produk herbal, aspek mutu menjadi faktor penting yang harus diperhatikan untuk menjamin keamanan, kualitas, dan efektivitas

produk. Standar mutu diperlukan sebagai acuan dalam menilai kelayakan suatu produk agar dapat diterima baik secara ilmiah maupun sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Oleh karena itu, pemahaman mengenai standar mutu produk herbal, termasuk standar nasional yang berlaku, menjadi hal yang penting dalam proses pengolahan dan pengujian bahan herbal.

2.6.1 Pengertian Standar Mutu Produk Herbal

Standar mutu produk herbal merupakan kriteria teknis yang digunakan untuk menjamin kualitas, keamanan, dan efektivitas produk berbasis tumbuhan obat. Parameter yang dinilai meliputi aspek fisik, kimia, mikrobiologis, dan organoleptik. Menurut WHO (2011), standar mutu merupakan bagian dari sistem *quality control* yang bertujuan memastikan keseragaman produk melalui pengujian identitas, kemurnian, dan kadar senyawa aktif [58].

Dalam industri, standar mutu berfungsi sebagai acuan dalam mengevaluasi bahan baku, proses produksi, dan produk akhir. Penerapan standar ini penting untuk menjamin keamanan konsumen serta meningkatkan daya saing produk di pasar. Produk yang tidak memenuhi standar berisiko mengalami degradasi senyawa aktif atau kontaminasi, sehingga dapat menurunkan kualitas dan keamanan penggunaan [59].

Standar mutu juga menjadi acuan penting dalam penelitian bahan herbal, termasuk pada pengolahan kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.). Parameter seperti kadar air, kandungan fenolik, aktivitas antioksidan, dan kestabilan warna digunakan untuk menilai kualitas hasil pengeringan. Proses pengeringan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan penurunan mutu akibat degradasi senyawa bioaktif. Oleh karena itu, pengendalian suhu dan kelembapan menjadi faktor utama, karena paparan panas berlebih dapat mempercepat kerusakan senyawa sensitif seperti flavonoid, fenolik, dan antosianin [60].

2.6.2 Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk Produk Herbal

Di Indonesia, sistem pengendalian mutu bahan herbal diatur oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) melalui penerbitan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan diawasi oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). Kedua lembaga ini menetapkan kriteria mutu untuk memastikan keamanan, kestabilan, dan kemurnian

produk herbal sebelum diedarkan. Salah satu regulasi penting yang menjadi acuan adalah **SNI 3211:2009 – Simplisia Nabati: Bahan Baku Obat Tradisional**. Dalam standar tersebut, ditetapkan bahwa:

- Kadar air maksimum bahan simplisia adalah 10% untuk mencegah pertumbuhan mikroba dan menjaga kestabilan bahan selama penyimpanan.
- Kadar abu total maksimum sebesar 14%, serta kadar abu tidak larut asam maksimum 3%, sebagai indikator kemurnian bahan dari kontaminasi mineral.
- Cemarkan mikroba dan logam berat tidak boleh melebihi ambang batas yang diatur dalam SNI 7388:2009, yaitu $Pb \leq 10 \text{ ppm}$, $Cd \leq 0,3 \text{ ppm}$, $Hg \leq 0,03 \text{ ppm}$, dan $As \leq 1 \text{ ppm}$ [61].

Selain SNI, Peraturan BPOM Nomor 32 Tahun 2019 menegaskan bahwa setiap produk jamu, obat herbal terstandar (OHT), atau fitofarmaka wajib melalui standarisasi bahan baku, uji toksisitas, dan pengujian aktivitas farmakologis sebelum dipasarkan [62].

2.6.3 Parameter Mutu Simplisia Herbal Kering

Parameter mutu simplisia kering ditetapkan untuk menjamin kualitas bahan herbal sebelum digunakan sebagai bahan baku industri obat tradisional atau suplemen. Menurut BSN (2009), parameter tersebut mencakup :

1. Kadar air ($\leq 10\%$), untuk mencegah pertumbuhan mikroba dan mencegah reaksi degradasi kimia.
2. Kadar abu total dan abu tidak larut asam, menunjukkan kemurnian bahan dari kontaminan anorganik.
3. Kadar senyawa aktif (Flavonoid dan Antioksidan (menggunakan FTIR) sebagai indikator potensi biologis bahan.
4. Warna dan aroma alami, sebagai indikator organoleptik keberhasilan proses pengeringan.
5. Cemarkan mikroba dan logam berat, harus sesuai batas maksimum SNI dan BPOM.

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu pada hasil pengeringan kulit manggis dengan menggunakan *oven drying* dan *freeze drying* (Nawawi et al., 2023), dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Tabel Penelitian Terdahulu [13]

Parameter	<i>Freeze drying</i> (-44 °C-36 jam)	<i>Freeze drying</i> (-44 °C-48 jam)	<i>Oven drying</i> (45 °C – 36 jam)	<i>Oven drying</i> (45 °C – 48 jam)	Keterangan Umum
Kadar air akhir (%)	7,48%	3,08%	8,86%	5,17%	Semua <10%
Total antosianin	90 mg/kg	100 mg/kg	20 mg/kg	20 mg/kg	FD terbaik
Warna	Ungu cerah alami, kemerahan kuat	Ungu agak gelap, masih alami	Ungu agak gelap, masih alami	Cokelat keunguan, gelap	FD terbaik
Massa kulit manggis	600 gr	600 gr	600 gr	600 gr	berat massa 600 gr

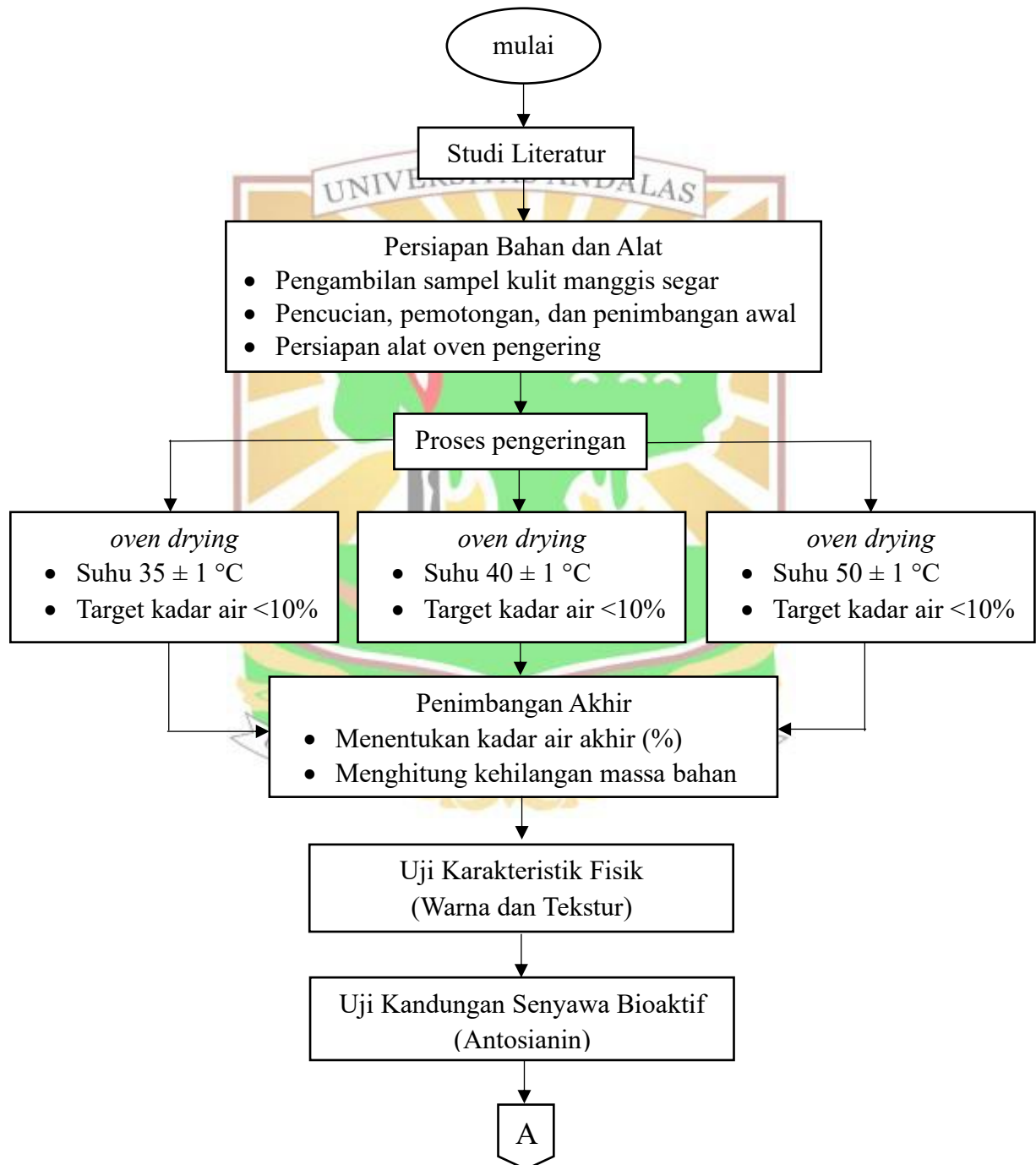
Dengan ini hasil penelitian Nawawi et al. (2023) menjadi acuan penting dalam penelitian ini karena membahas efek metode pengeringan terhadap stabilitas senyawa bioaktif kulit manggis. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengonfirmasi dan membandingkan pengaruh metode *oven drying* dengan variasi suhu dan waktu terhadap karakteristik fisik serta kimia kulit manggis kering.

BAB III

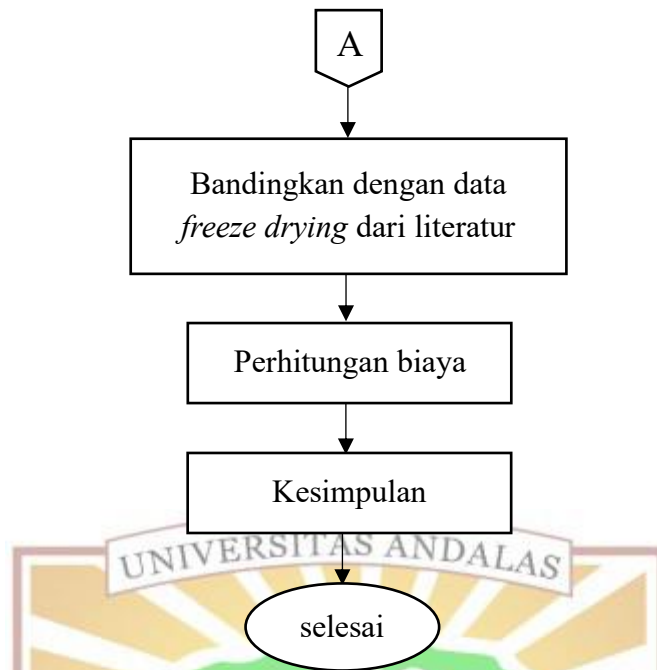
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah proses yang dilakukan untuk mencapai tujuan pada tugas akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

Penelitian ini diawali dengan identifikasi permasalahan terkait belum optimalnya pemanfaatan kulit manggis (*Garcinia mangostana* L.) sebagai bahan baku produk herbal dan kosmetik bernilai ekonomi tinggi. Salah satu faktor yang memengaruhi kondisi tersebut adalah perbedaan metode pengeringan yang berdampak pada mutu fisik, kestabilan senyawa bioaktif, serta biaya operasional proses. Metode pengeringan diketahui berpengaruh terhadap kandungan senyawa aktif, seperti xanton, flavonoid, dan tanin, yang berperan dalam aktivitas antioksidan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi mutu kulit manggis hasil pengeringan menggunakan metode *oven drying* pada variasi suhu tertentu, serta membandingkannya dengan metode *freeze drying* berdasarkan penelitian terdahulu, guna menentukan metode yang lebih efisien dari segi kualitas dan biaya.

Tahap awal penelitian dilakukan melalui kajian pustaka yang meliputi teori dasar pengeringan, mekanisme perpindahan panas dan massa, serta faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan senyawa bioaktif. Selain itu, kajian juga mengacu pada standar mutu produk kering berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 3211:2009) dan penelitian sebelumnya sebagai dasar dalam penentuan parameter penelitian.

Penelitian dilanjutkan dengan perancangan eksperimen metode *oven drying* yang meliputi penentuan variasi suhu serta persiapan alat dan bahan. Kulit manggis segar diperoleh dari Kampung Tematik Manggis Limau Manis, Kota Padang, kemudian dibersihkan, dipotong, dan ditiriskan sebelum dikeringkan. Proses pengeringan dilakukan pada suhu 35°C, 40°C, dan 50°C hingga kadar air akhir <10%. Pemilihan suhu mengacu pada literatur yang menyatakan bahwa suhu di bawah 60°C masih mampu menjaga kestabilan senyawa fenolik.

Sebagai pembanding, digunakan data *freeze drying* dari Nawawi *et al.* (2023) dengan proses pembekuan pada -50°C dan pengeringan pada -40°C selama 48 jam hingga kadar air sekitar $\pm 4\%$. Metode ini dilaporkan mampu mempertahankan kandungan antosianin dan kualitas warna lebih baik, sehingga digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi hasil *oven drying* pada penelitian ini. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi kadar air akhir, perubahan warna, dan identifikasi senyawa bioaktif menggunakan Spektrofotometri. Analisis dilakukan dengan tiga kali ulangan untuk setiap perlakuan. Selain itu, dilakukan perhitungan efisiensi energi dan biaya operasional pengeringan *oven* dengan membandingkan konsumsi energi aktual terhadap hasil pengeringan yang diperoleh.

Tahapan akhir penelitian diharapkan menghasilkan rekomendasi ilmiah mengenai suhu dan waktu *oven drying* paling efisien dalam menghasilkan kulit manggis kering bermutu tinggi dengan konsumsi energi dan biaya yang rendah.

3.2 Skema Alat

3.2.1 Bahan dan Peralatan Umum

A. Bahan

1. Kulit Manggis Segar 600 gr (dari Kampung Tematik Manggis Limau Manis, Kecamatan Pauh, Kota Padang).

B. Alat

1. Pisau
2. *Cutting board*
3. Neraca Analitik
4. Beaker glass, Labu Ukur, Pipet Ukur, dan Pipet Tetes
5. Mortar dan Alu

6. Kertas Saring Whatman No. 42
7. Desikator
8. Botol (*Amber Glass*)

Alur Kerja Persiapan Sampel:

1. Buah manggis segar disortir, dicuci bersih, lalu dipotong untuk memisahkan kulit dari daging buah.
2. Kulit yang diperoleh dikeringkan dari air permukaan dengan tisu bersih atau diangin-anginkan ± 10 menit.
3. Kulit manggis kemudian dipotong menjadi 4 bagian menggunakan pisau dan cutting board. Pemotongan seragam bertujuan agar proses pengeringan berlangsung merata dan hasil kadar air lebih konsisten.
4. Sampel ditimbang menggunakan neraca analitik untuk menentukan berat awal (massa basah).
5. Sampel dibagi menjadi beberapa kelompok perlakuan *oven drying* berdasarkan variasi Suhu Pengeringan yaitu: 35°C, 40°C dan 50°C.
6. Setiap kelompok diberi label dan disimpan sementara dalam wadah tertutup hingga proses pengeringan dimulai.

3.2.2 *Oven drying*

Skema Alat *oven drying* pada penelitian ini bisa dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Skema Alat *Oven Drying* (Maskot)

Oven drying (OD) yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *oven* laboratorium tipe konveksi merek *Maskot* model OV 30 yang berfungsi untuk mengeringkan sampel melalui mekanisme pemanasan udara. Prinsip kerja alat ini didasarkan pada perpindahan panas dari elemen pemanas ke udara di dalam ruang *oven*, yang kemudian disirkulasikan sehingga mampu meningkatkan suhu bahan dan mempercepat proses penguapan air.

Oven ini dilengkapi dengan sistem pengatur suhu otomatis yang memungkinkan pengendalian temperatur secara stabil selama proses pengeringan berlangsung. Rentang suhu operasi alat berada dari suhu kamar hingga 300°C dengan tingkat akurasi $\pm 1^\circ\text{C}$, sehingga dapat mendukung kebutuhan pengeringan pada berbagai kondisi. Selain itu, alat ini menggunakan daya listrik sebesar 800 Watt dan dilengkapi dengan *timer* digital yang berfungsi untuk mengatur durasi penggunaan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Dalam penelitian ini, *oven* dioperasikan pada variasi suhu dengan temperatur 35°C, 40°C, dan 50°C yang disesuaikan dengan perlakuan yang diberikan. Ruang pemanas *oven* dilengkapi dengan rak (*tray*) sebagai media penempatan sampel, yang memungkinkan penyebaran udara panas berlangsung secara merata. Distribusi panas yang seragam ini berperan penting dalam menjaga keseragaman proses pengeringan pada seluruh bagian sampel, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya perbedaan tingkat kekeringan.

Selain itu, *oven* juga dilengkapi dengan sensor suhu yang berfungsi untuk memantau kestabilan temperatur selama proses berlangsung. Sistem pemantauan ini mendukung terciptanya kondisi pengeringan yang konsisten dan terkendali. Dengan kombinasi sistem pengatur suhu, sirkulasi udara panas, serta pengaturan waktu yang terintegrasi, *oven* ini mampu menghasilkan proses pengeringan yang efektif, stabil, dan sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Alur kerja *oven drying* :

1. Sampel kulit manggis yang telah dipotong menjadi 4 bagian, lalu dimasukkan ke dalam *tray oven*. Sampel disusun secara merata dan tidak saling menumpuk untuk memastikan sirkulasi udara panas berjalan optimal di seluruh permukaan bahan.

2. Setelah oven dinyalakan melalui Main ON/OFF switch, sistem mulai memanaskan udara melalui elemen pemanas internal.
3. Suhu diatur menggunakan temperature control knob pada nilai yang diinginkan ($T35^{\circ}\text{C}$, $T40^{\circ}\text{C}$ dan $T50^{\circ}\text{C}$). Sistem PID controller akan menjaga suhu tetap konstan ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) selama proses pengeringan berlangsung.
4. Sensor suhu (thermometer / *thermocouple*) memantau kondisi suhu aktual di ruang oven. Data suhu ini digunakan oleh sistem pengendali untuk menyesuaikan daya pemanas secara otomatis.
5. Udara panas bersirkulasi di ruang oven dan diserap oleh bahan yang diletakkan di tray for sample, menyebabkan air menguap dari permukaan kulit manggis.
6. Dinding oven yang berlapis isolator menjaga panas agar tidak keluar, sedangkan door gasket memastikan tidak ada kebocoran udara panas dari celah pintu.
7. Proses pengeringan berlangsung sesuai waktu yang ditentukan, tergantung perlakuan yang ditetapkan. Timer otomatis akan menghentikan sistem pemanas setelah durasi pengeringan tercapai.
8. Setelah pengeringan selesai, sampel dikeluarkan dari oven dan didinginkan dalam desikator selama ± 15 menit untuk menstabilkan kadar air serta mencegah penyerapan uap air dari udara.
9. Sampel yang telah dingin kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik untuk menentukan berat akhir (massa kering), sebelum dilanjutkan ke tahap analisis karakteristik fisik dan kandungan bioaktif.

3.2.3 Freeze drying

Pada penelitian ini, metode *freeze drying* (FD) tidak diaplikasikan secara langsung, melainkan digunakan sebagai data pembanding berdasarkan literatur. Data tersebut mengacu pada penelitian Nawawi *et al.* (2023) yang mengevaluasi pengaruh metode pengeringan terhadap kualitas kulit manggis (*pericarp*), meliputi

sun drying, *oven drying*, dan *freeze drying*. Parameter yang dianalisis dalam studi tersebut mencakup kandungan antosianin, total fenolik (TPC), total flavonoid (TFC), aktivitas antioksidan, serta karakteristik warna, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam menilai hasil *oven drying* pada penelitian ini. Berdasarkan studi tersebut, proses *freeze drying* dilakukan pada kondisi berikut:

- Sampel kulit manggis dibekukan pada suhu sekitar -44 ± 1 °C.
- Waktu pengeringan *freeze drying* adalah 36 jam dan 48 jam untuk masing-masing perlakuan, dengan perbedaan yang signifikan terhadap parameter yang diuji.
- Hasil menunjukkan bahwa perlakuan FD36 (*freeze drying* selama 36 jam) dan FD48 (*freeze drying* selama 48 jam) memiliki total antosianin sekitar 2,1–2,2 mg/g kulit manggis kering, yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan metode *oven drying* dan *sun drying*.
- Untuk parameter TPC dan TFC, FD36 tercatat memperoleh nilai sekitar ~ 94,05 mg GAE/g untuk TPC dan ~ 621 mg CE/g untuk TFC, dengan aktivitas pereduksi (~ 1154,50 μ mol TE/g) yang tertinggi dibanding FD48.
- Studi juga menunjukkan bahwa interaksi antara metode pengeringan dan waktu pengeringan secara signifikan ($p < 0,05$) memengaruhi kualitas phenolik, aktivitas antioksidan dan warna bahan kering.
- Dari aspek praktikal, penulis menyimpulkan bahwa FD36 lebih efisien untuk aplikasi industri karena waktu yang lebih pendek daripada FD48 tetapi memberikan retensi kualitas yang setara atau lebih baik.

Dalam penelitian ini, data hasil *freeze drying* tersebut akan digunakan sebagai acuan perbandingan untuk menilai performa metode *oven drying* yang diuji sendiri. Fokus perbandingan mencakup:

1. Mutu fisik kulit manggis kering – meliputi warna, tekstur dan kadar air akhir.
2. Kandungan bioaktif – terutama antosianin.

3. Efisiensi energi dan biaya – walaupun studi Nawawi tidak secara khusus melaporkan biaya, waktu yang lebih pendek (36 jam) dan kondisi suhu rendah memberikan indikasi bahwa metode ini dapat menjadi tolok ukur tertinggi mutu terhadap biaya yang relatif tinggi.

Dengan demikian, peneliti bertujuan mengevaluasi sejauh mana hasil *oven drying* pada berbagai kombinasi suhu dan waktu mampu mendekati atau bahkan menyaingi mutu yang dihasilkan melalui *freeze drying*, namun dengan biaya dan waktu yang lebih rendah. Hal ini penting untuk aplikasi pengolahan kulit manggis dalam skala industri kecil dan menengah yang membutuhkan keseimbangan antara mutu dan efisiensi [13].

3.2.4 Penimbangan Akhir

Penimbangan akhir dilakukan setelah proses *oven drying*. Sampel kulit manggis yang telah kering didinginkan terlebih dahulu dalam desikator selama ± 15 menit untuk menstabilkan suhu dan mencegah penyerapan kembali uap air. Selanjutnya, sampel ditimbang menggunakan neraca analitik dengan ketelitian 0,001 g untuk memperoleh massa akhir (W_2). Massa awal (W_1) telah ditentukan sebelumnya, dan selisih keduanya digunakan untuk menghitung kadar air akhir berdasarkan persamaan (2.4) [63] yang ada di bab II.

Kadar air akhir menunjukkan jumlah air yang berhasil dihilangkan selama proses pengeringan. Pada *oven drying*, kadar air ditargetkan $<10\%$, sedangkan pada *freeze drying* umumnya $<5\%$. Selain itu, data penimbangan digunakan untuk menghitung persentase kehilangan massa sebagai indikator efisiensi pengeringan dan kestabilan bahan. Kadar air rendah dengan kehilangan massa yang terkendali menunjukkan proses pengeringan berlangsung optimal serta mampu menjaga sifat fisik dan kimia sampel.

Seluruh penimbangan dilakukan pada kondisi laboratorium dengan kelembapan terkendali untuk meminimalkan kesalahan akibat adsorpsi uap air. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis secara komparatif guna mengevaluasi efektivitas metode pengeringan.

3.2.5 Uji Karakteristik Fisik

Uji karakteristik fisik dilakukan secara observasi langsung (visual) terhadap hasil pengeringan kulit manggis (*Garcinia mangostana L.*) menggunakan metode *oven drying* pada berbagai variasi suhu. Pengamatan dilakukan untuk menilai perubahan warna, dan bentuk permukaan setelah pengeringan. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk menganalisis pengaruh perlakuan suhu dan waktu terhadap mutu fisik kulit manggis kering, serta membandingkannya dengan hasil *freeze drying* yang dilaporkan pada literatur terdahulu.

1. Pengamatan Warna

Parameter warna diamati secara visual untuk menilai perubahan akibat pengeringan. Warna yang semakin gelap menunjukkan degradasi antosianin akibat suhu. Pada *oven drying* suhu moderat (40–50 °C), warna masih relatif ungu alami, sedangkan suhu lebih tinggi menyebabkan perubahan menjadi coklat kehitaman. Sebagai pembanding, *freeze drying* menghasilkan warna lebih cerah karena degradasi pigmen lebih minimal.

2. Pengamatan Tekstur

Pengamatan tekstur dilakukan secara visual dan sentuhan untuk menilai tingkat kekeringan dan kekompakan bahan. Hasil *oven drying* pada suhu 40–50°C menghasilkan tekstur padat dan relatif keras akibat penguapan air yang berlangsung bertahap dari permukaan ke bagian dalam melalui mekanisme konveksi. Pada suhu yang lebih tinggi, tekstur cenderung lebih rapuh karena kehilangan kelembapan yang lebih cepat. Sebaliknya, metode *freeze drying* menghasilkan tekstur yang lebih ringan dan berpori akibat proses sublimasi, sehingga memberikan keunggulan dalam daya rehidrasi dan kemudahan penggilingan.

3.2.6 Uji Kandungan Senyawa Antosianin (Spektrofotometri)

Analisis kandungan senyawa bioaktif pada kulit manggis (*Garcinia mangostana L.*) dalam penelitian ini difokuskan pada penentuan kadar antosianin menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. Metode ini dipilih karena memiliki sensitivitas yang baik, prosedur yang relatif sederhana, serta mampu memberikan hasil kuantitatif terhadap kadar antosianin dalam sampel. Antosianin merupakan

salah satu senyawa flavonoid yang berperan sebagai antioksidan dan sensitif terhadap kondisi pengolahan, terutama suhu pengeringan [64].

1. Persiapan Sampel

Sampel kulit manggis hasil pengeringan *oven drying* pada variasi suhu 35°C, 40°C, dan 50°C terlebih dahulu dihaluskan hingga diperoleh serbuk homogen. Selanjutnya, dilakukan proses ekstraksi menggunakan pelarut yang sesuai untuk melarutkan senyawa antosianin. Ekstrak yang diperoleh kemudian disaring untuk memisahkan residu padat sehingga didapatkan larutan sampel yang siap dianalisis.

2. Prosedur Analisis

Penentuan kadar antosianin dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan metode diferensial pH. Pengukuran dilakukan pada dua kondisi pH yang berbeda untuk mengidentifikasi perubahan absorbansi senyawa antosianin. Panjang gelombang pengukuran yang digunakan adalah sekitar 510 nm dan 700 nm. Nilai absorbansi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung kadar antosianin dalam satuan mg/kg.

3. Perhitungan Kadar Antosianin

Perhitungan kadar antosianin dilakukan berdasarkan metode standar menggunakan persamaan yang mempertimbangkan perbedaan absorbansi pada masing-masing pH, faktor pengenceran, serta koefisien ekstingsi molar. Hasil yang diperoleh dinyatakan sebagai total antosianin dalam satuan mg/kg sampel.

4. Tujuan Analisis

Analisis kadar antosianin dalam penelitian ini bertujuan untuk:

- Mengetahui pengaruh variasi suhu *oven drying* terhadap kandungan antosianin kulit manggis.
- Mengevaluasi stabilitas senyawa antosianin akibat perlakuan pengeringan.
- Menentukan kondisi pengeringan yang mampu mempertahankan kadar antosianin secara optimal.

3.2.7 Analisis Efisiensi Energi dan Biaya Pengeringan

Analisis efisiensi energi dan biaya dilakukan untuk menilai kinerja proses pengeringan kulit manggis menggunakan metode *oven drying* pada berbagai variasi suhu dan waktu. Parameter ini digunakan untuk mengetahui seberapa efektif energi panas dimanfaatkan dalam proses pengeringan serta seberapa besar biaya operasional yang dibutuhkan dibandingkan dengan kualitas produk yang dihasilkan.

1. Perhitungan Efisiensi Energi

Efisiensi energi dihitung berdasarkan perbandingan antara energi teoritis yang diperlukan untuk menguapkan air dari bahan dengan total energi yang dikonsumsi oleh alat pengering selama proses berlangsung dengan menggunakan persamaan (2.6) [55] yang ada pada bab II.

2. Perhitungan Biaya Operasional

Biaya operasional dihitung berdasarkan konsumsi energi listrik selama proses pengeringan dengan persamaan (2.7) [56] yang ada pada bab II. Nilai biaya ini kemudian dibandingkan antarvariasi suhu dan waktu untuk menentukan kondisi yang paling efisien secara ekonomi.

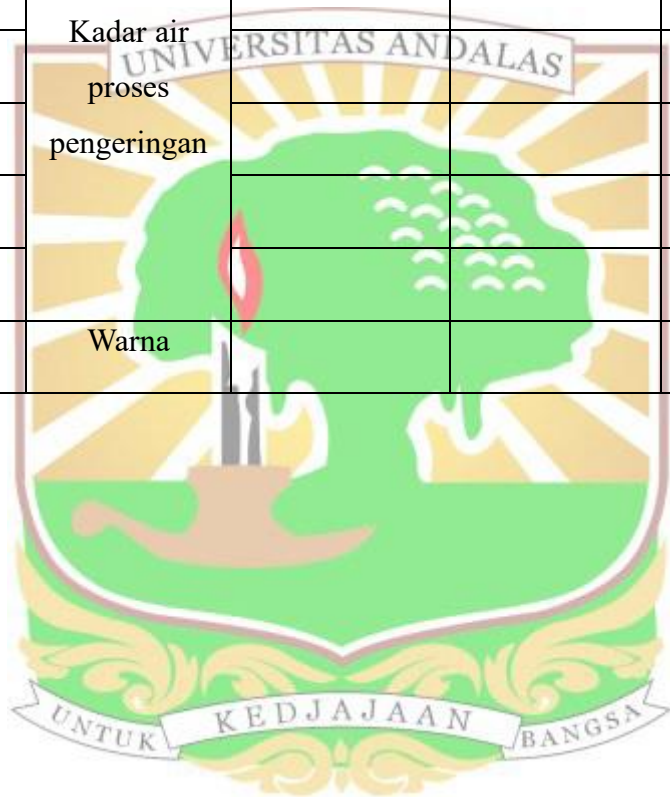
3. Perbandingan dengan Data *freeze drying*

Sebagai pembanding, hasil efisiensi energi dan biaya dari *oven drying* akan dievaluasi terhadap data sekunder dari penelitian Nawawi et al. (2023) (*Foods*, 12(12):2351, yang melaporkan karakteristik energi dan mutu kulit manggis hasil pengeringan menggunakan metode *freeze drying* pada suhu $-44\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan tekanan $<0,1\text{ mbar}$ selama 24 jam. Perbandingan ini dilakukan secara deskriptif untuk melihat sejauh mana metode *oven drying* dapat menghasilkan mutu yang mendekati hasil *freeze drying* dengan biaya energi yang lebih rendah.

3.2.8 Tabel Penelitian

Tabel 3.1 Tabel Penelitian

Waktu (menit)	Parameter	<i>Oven drying</i> (35°C)	<i>Oven drying</i> (40°C)	<i>Oven drying</i> (50°C)
	Kadar air awal			
	Kadar air proses pengeringan			
	Warna			



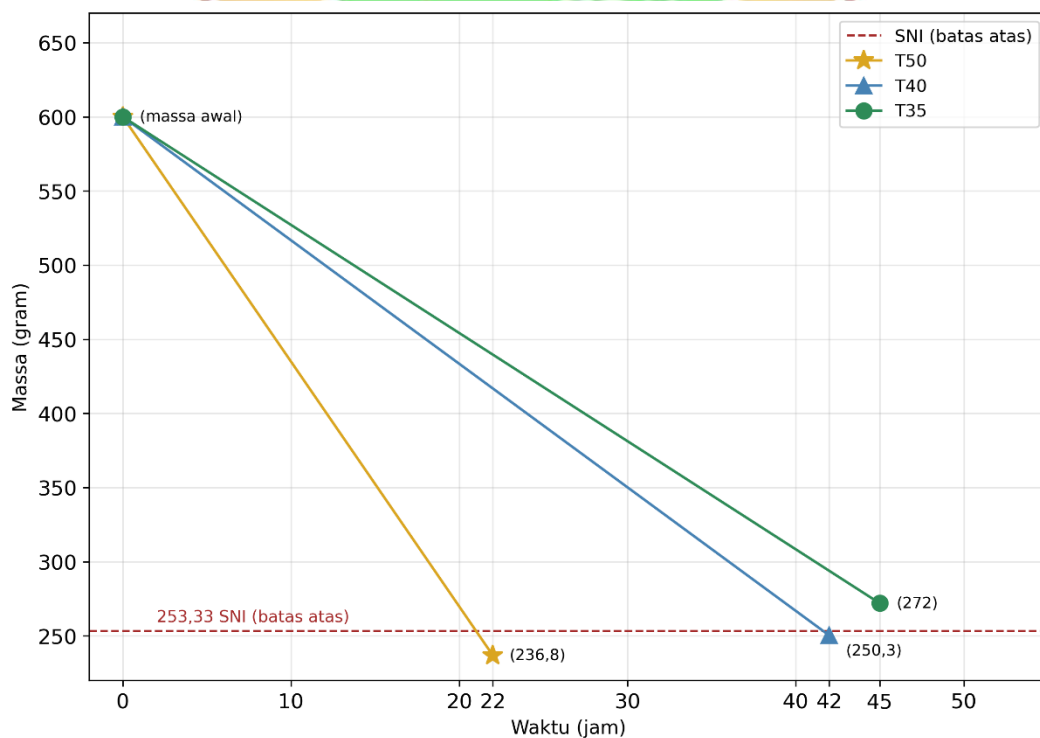
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi Suhu *Oven Drying* terhadap Proses Pengeringan Kulit Manggis

Pada penelitian ini dilakukan pengeringan kulit manggis menggunakan metode *oven drying* dengan variasi suhu 35°C, 40°C, dan 50°C untuk mengetahui pengaruhnya terhadap proses pengeringan. Parameter yang diamati meliputi perubahan massa, kadar air, dan waktu pengeringan. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik untuk memperlihatkan hubungan antara suhu dan parameter yang diamati, sehingga tren perubahan dapat dianalisis dengan lebih jelas.

4.1.1 Pengaruh Suhu terhadap Massa Akhir



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Massa Akhir Hasil Pengeringan

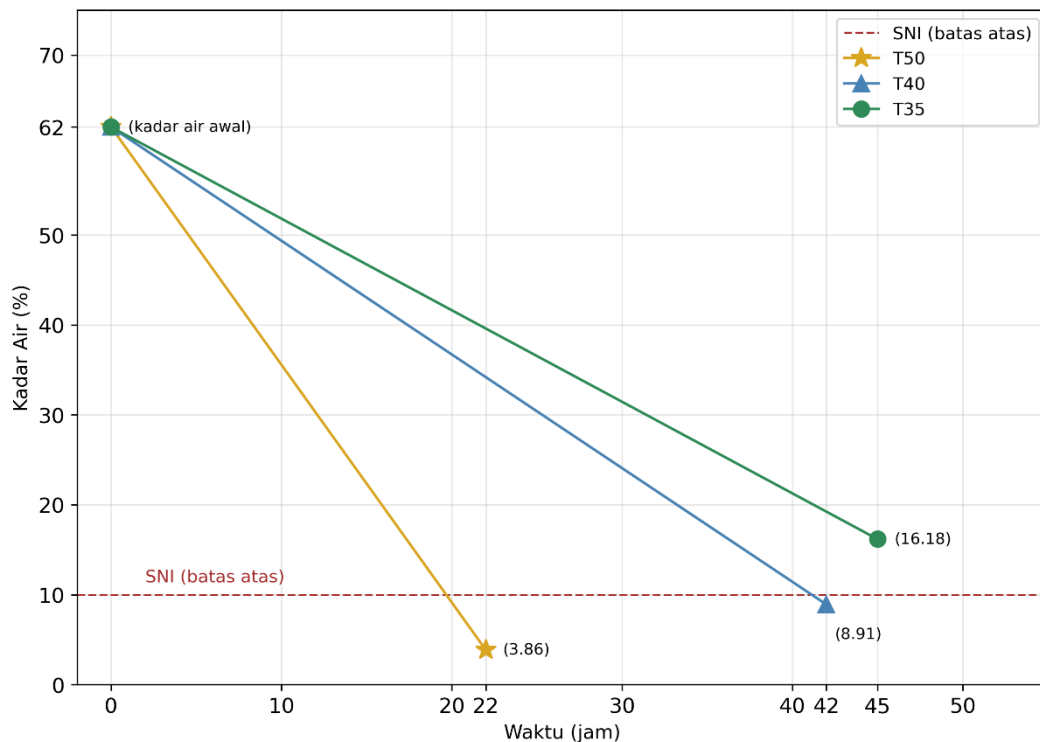
Pada penelitian ini, massa awal sampel yang digunakan adalah sebesar 600 gram. Setelah proses pengeringan, pada suhu 35°C diperoleh massa akhir sebesar 272 gram, kemudian menurun menjadi 250,3 gram pada suhu 40°C, dan mencapai nilai terendah sebesar 236,8 gram pada suhu 50°C seperti yang ditunjukkan pada

Gambar 4.1. Hal ini menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara suhu pengeringan dan massa akhir yang dihasilkan.

Penurunan massa akhir tersebut berkaitan dengan berkurangnya kandungan air dalam bahan selama proses pengeringan. Peningkatan suhu menyebabkan energi panas yang diterima bahan semakin besar, sehingga mempercepat proses perpindahan panas dan meningkatkan laju penguapan air. Kondisi ini menyebabkan air pada kulit manggis, baik yang berada di permukaan maupun yang terikat dalam jaringan bahan, lebih mudah keluar sehingga massa akhir yang diperoleh menjadi lebih rendah.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu pengeringan berpengaruh signifikan terhadap massa akhir hasil pengeringan. Semakin tinggi suhu yang digunakan, semakin efektif proses penghilangan air yang terjadi, sehingga menghasilkan massa akhir yang lebih kecil.

4.1.2 Pengaruh Suhu terhadap Kadar Air



Gambar 4.2 Perbandingan Kadar Air Akhir Hasil Pengeringan

Berdasarkan **Gambar 4.2**, kadar air akhir kulit manggis menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan peningkatan suhu pengeringan. Pada penelitian ini, kadar air awal bahan sebesar 62%. Setelah proses pengeringan, pada suhu 35°C diperoleh kadar air sebesar 16,18%, kemudian menurun menjadi 8,91% pada suhu 40°C, dan mencapai nilai terendah sebesar 3,86% pada suhu 50°C. Hal ini menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara suhu pengeringan dan kadar air akhir yang dihasilkan.

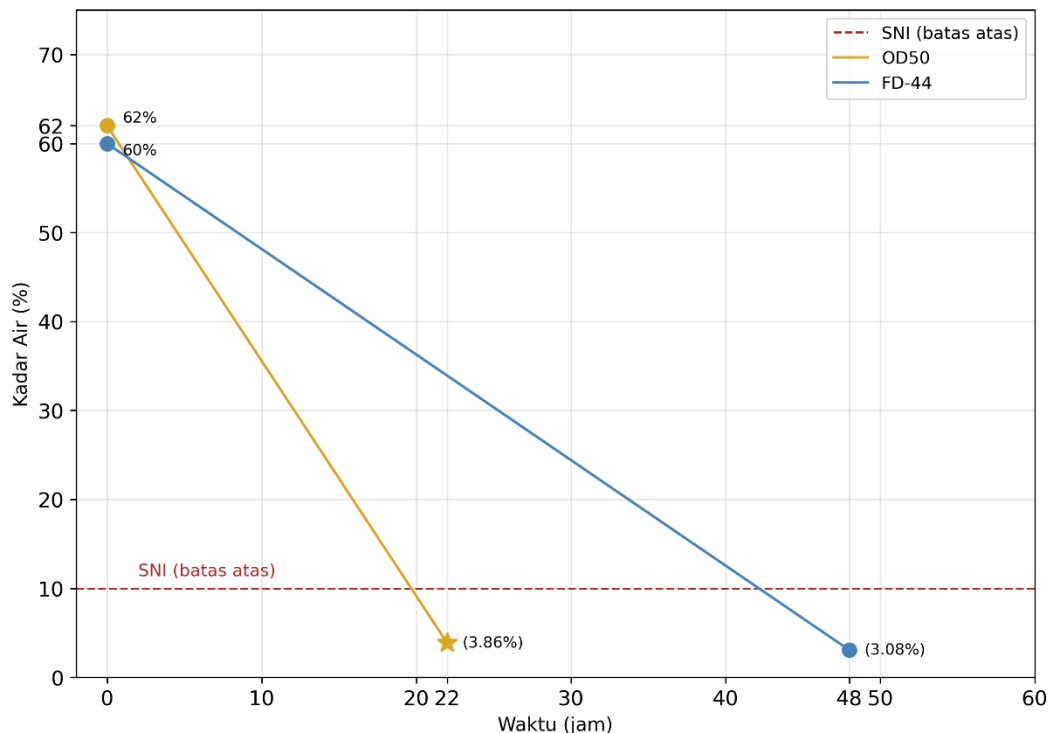
Penurunan kadar air tersebut terjadi akibat meningkatnya energi panas yang diterima bahan pada suhu yang lebih tinggi. Kondisi ini mempercepat perpindahan panas ke dalam bahan serta meningkatkan laju evaporasi air. Selain itu, perbedaan tekanan uap antara bahan dan lingkungan menjadi lebih besar, sehingga mempercepat perpindahan air dari dalam bahan ke permukaan untuk kemudian diuapkan. Akibatnya, baik air bebas maupun sebagian air terikat dapat dikeluarkan secara lebih efektif.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu pengeringan berpengaruh signifikan terhadap kadar air akhir. Semakin tinggi suhu yang digunakan, semakin efektif proses pengeringan dalam menurunkan kadar air sehingga menghasilkan bahan yang memenuhi standar kualitas yang ditetapkan.

4.2 Perbandingan Hasil Pengeringan *Oven drying* dengan *Freeze drying*

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), kadar air maksimum yang diperbolehkan untuk bahan kering adalah sebesar 10%. Berdasarkan **Gambar 4.3** memperlihatkan bahwa kadar air akhir pengeringan kulit manggis, baik dengan metode *oven drying* 50°C dan *freeze drying* -44°C telah memenuhi standar SNI. Analisis perbandingan dalam penelitian ini difokuskan pada kondisi *oven drying* pada suhu 50°C dan *freeze drying* dengan waktu pengeringan selama 48 jam, karena kedua kondisi tersebut menghasilkan kadar air akhir paling rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Selain itu, kondisi tersebut dianggap paling representatif dalam menggambarkan efektivitas masing-masing metode pengeringan terhadap

penurunan kadar air kulit manggis. Data perbandingan tersebut disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 4.3** sebagai berikut:



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Hasil *Oven drying* dan *Freeze drying*

Berdasarkan grafik perbandingan metode *oven drying* dan *freeze drying*, diketahui bahwa kedua metode memiliki kadar air awal yang relatif sama, yaitu sebesar 62% pada *oven drying* dan 60% pada *freeze drying*. Kondisi ini menunjukkan bahwa bahan baku yang digunakan memiliki karakteristik awal yang hampir seragam sebelum dilakukan proses pengeringan.

Pada parameter waktu pengeringan, metode *oven drying* pada suhu 50°C membutuhkan waktu selama 22 jam, sedangkan metode *freeze drying* membutuhkan waktu yang lebih lama, yaitu 48 jam. Perbedaan waktu pengeringan tersebut dipengaruhi oleh mekanisme pengeringan yang berbeda. Metode *oven drying* menggunakan suhu yang lebih tinggi sehingga proses penguapan air (*evaporasi*) berlangsung lebih cepat. Sementara itu, metode *freeze drying* bekerja pada suhu rendah dan kondisi vakum melalui proses sublimasi, sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama dalam menghilangkan kadar air pada bahan.

Pada kadar air akhir, metode *freeze drying* menghasilkan kadar air yang lebih rendah yaitu sebesar 3,08%, sedangkan metode *oven drying* menghasilkan kadar air akhir sebesar 3,86%. Hal ini menunjukkan bahwa metode *freeze drying* memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menurunkan kadar air hingga tingkat yang lebih rendah karena proses sublimasi mampu menghilangkan air secara lebih optimal tanpa merusak struktur bahan.

Meskipun demikian, selisih kadar air akhir antara kedua metode relatif kecil, sedangkan perbedaan waktu pengeringan cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa metode *oven drying* lebih efisien dari segi waktu proses dan biaya operasional, sedangkan metode *freeze drying* lebih unggul dalam menghasilkan kadar air akhir yang lebih rendah. Secara keseluruhan, metode *oven drying* pada suhu 50°C dapat menjadi alternatif pengeringan yang efektif karena mampu menghasilkan kadar air yang mendekati metode *freeze drying* dengan waktu proses yang lebih singkat.

4.3 Analisis Karakteristik Fisik Kulit Manggis Hasil Pengeringan

Analisis karakteristik fisik dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu pengeringan terhadap perubahan warna dan tekstur dari kulit manggis. Pengamatan dilakukan secara visual dengan membandingkan warna dan tekstur hasil pengeringan pada setiap variasi suhu terhadap sampel segar. Hasil pengamatan visual tersebut disajikan pada **Gambar 4.4** sebagai berikut:



Gambar 4.4 Karakteristik Warna dan Tesktur Kulit Manggis Hasil Pengeringan

Hasil pengamatan visual pada **Gambar 4.4** menunjukkan bahwa variasi suhu pengeringan berpengaruh terhadap karakteristik fisik kulit manggis, khususnya warna dan tekstur.

Dari aspek warna, sampel pada suhu 50°C (OD50) menghasilkan warna yang lebih cerah dan mendekati kondisi segar dibandingkan perlakuan lainnya. Pada suhu 40°C (OD40), warna cenderung lebih gelap, sedangkan pada 35°C (OD35) menghasilkan warna paling gelap. Perubahan ini berkaitan dengan stabilitas antosianin sebagai pigmen alami kulit manggis yang sensitif terhadap suhu dan lama pemanasan. Waktu pengeringan yang lebih lama pada suhu rendah berpotensi mempercepat degradasi antosianin serta memicu reaksi pencoklatan.

Dari aspek tekstur, sampel pada suhu 50°C memiliki struktur yang lebih rapuh sehingga mudah dihaluskan. Pada suhu 40°C, tekstur relatif lebih keras, sedangkan pada 35°C menunjukkan tekstur paling keras dan sulit dihancurkan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu mempercepat penguapan air sehingga menghasilkan tekstur yang lebih kering dan rapuh. Secara keseluruhan, suhu 50°C memberikan karakteristik fisik terbaik, ditinjau dari warna yang lebih mendekati kondisi segar serta tekstur yang lebih mudah diolah.

4.4 Analisis Senyawa Bioaktif Kulit Manggis Menggunakan Spektrofotometri

Analisis kandungan antosianin pada kulit manggis dilakukan menggunakan metode spektrofotometri terhadap dua jenis sampel, yaitu sampel segar dan sampel hasil pengeringan pada suhu 50°C. Pemilihan suhu 50°C didasarkan pada hasil sebelumnya yang menunjukkan kualitas terbaik dibandingkan variasi suhu lainnya. Pengukuran dilakukan berdasarkan nilai absorbansi pada panjang gelombang maksimum antosianin. Data hasil analisis antosianin disajikan pada **Tabel 4.1** sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Senyawa Antosianin Menggunakan Spektrofotometri

No.	Parameter	Jenis sampel	Pengujian 1 (mg/kg)	Pengujian 2 (mg/kg)	Rata-rata
1.	Antosianin	Sampel segar	10.75	9.77	10.26 ± 0.69
2.		Sampel kering	177.57	176.56	177.06 ± 0.71

Berdasarkan hasil analisis, kandungan antosianin pada sampel kering lebih tinggi dibandingkan sampel segar, meskipun berat sampel yang digunakan sama yaitu 1 gram. Perbedaan ini disebabkan oleh kandungan air yang masih tinggi pada sampel segar, sehingga sebagian besar massa terdiri dari air.

Sebaliknya, pada sampel kering, sebagian besar air telah dihilangkan selama proses pengeringan, sehingga kandungan senyawa padatan, termasuk antosianin, menjadi lebih terkonsentrasi. Hal ini menyebabkan nilai antosianin yang terukur lebih tinggi pada sampel kering.

Dengan demikian, peningkatan yang terjadi merupakan peningkatan konsentrasi relatif akibat berkurangnya kadar air, bukan karena adanya penambahan jumlah senyawa antosianin.

4.5 Perbandingan Kandungan Antosianin *Oven drying* dengan *Freeze drying*

Untuk mengevaluasi hasil penelitian yang telah dilakukan, hasil *oven drying* dibandingkan dengan metode *freeze drying*. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan efektivitas metode pengeringan yang digunakan untuk mempertahankan kandungan senyawa bioaktif berupa antosianin. Data hasil perbandingan antara metode *oven drying* dengan metode *freeze drying* disajikan pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil *Oven Drying* dengan *Freeze Drying*

No.	Parameter	<i>Oven drying</i>	<i>Freeze drying</i>
1.	Massa awal sampel	600 gram	600 gram
2.	Suhu (°C)	50°C	-44°C
3.	Waktu pengeringan (jam)	22 jam	48 jam
4.	Kadar air (%)	3,86%	3,08%
5.	Kandungan antosianin	177,06 mg/kg	100 mg/kg
6.	Mekanisme	Evaporasi	Sublimasi

Berdasarkan Tabel 4.2, perbedaan hasil antara metode *oven drying* dan *freeze drying* dipengaruhi oleh perbedaan suhu dan mekanisme pengeringan. *oven drying* menggunakan suhu tinggi sehingga mempercepat evaporasi dan menghasilkan

waktu pengeringan yang lebih singkat, sedangkan *freeze drying* berlangsung melalui sublimasi pada suhu rendah sehingga membutuhkan waktu lebih lama namun mampu menghasilkan kadar air yang lebih rendah.

Kandungan antosianin pada *oven drying* yang lebih tinggi disebabkan oleh berkurangnya kadar air sehingga terjadi peningkatan konsentrasi relatif senyawa dalam bahan kering, serta waktu pengeringan yang lebih singkat yang mengurangi degradasi oksidatif.

Selain itu, perbedaan nilai antosianin juga dapat dipengaruhi oleh kualitas bahan baku, seperti tingkat kematangan dan kandungan awal senyawa bioaktif. Dengan demikian, perbedaan hasil dipengaruhi oleh kombinasi faktor suhu, waktu, mekanisme pengeringan, dan karakteristik bahan awal.

4.6 Analisis Kinerja dan Konsumsi Energi *Oven drying*

Analisis efisiensi energi dan biaya dilakukan untuk mengevaluasi kinerja metode *oven drying* dibandingkan dengan metode *freeze drying* berdasarkan penelitian terdahulu. Parameter yang dianalisis meliputi konsumsi energi listrik dan biaya operasional selama proses pengeringan berlangsung. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai tingkat efisiensi metode tidak hanya dari sisi hasil pengeringan, tetapi juga dari aspek ekonomi. Hasil perbandingan konsumsi energi dan biaya pengeringan disajikan pada **Tabel 4.3** sebagai berikut.

Tabel 4.3 Hasil Perbandingan Biaya Metode *Oven Drying* dan *Freeze Drying*

Parameter	<i>Oven drying</i>	<i>Freeze drying</i>
Konsumsi Energi (kWh)	0,8 kW	1,5-2 kW
biaya	25.426,72 Rp/Kg	104.018,4 Rp/Kg

Berdasarkan hasil penelitian, metode *oven drying* terbukti efektif dalam menurunkan kadar air kulit manggis hingga memenuhi standar yang ditetapkan dengan waktu pengeringan yang relatif lebih singkat. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *oven drying* memiliki potensi untuk diterapkan secara praktis di tingkat lapangan. Penerapannya sangat relevan bagi petani manggis, khususnya di kawasan Kampung Tematik Manggis Limau Manis, karena didukung oleh penggunaan

peralatan yang sederhana, biaya operasional yang lebih ekonomis, serta proses yang lebih efisien dibandingkan metode *freeze drying*.

Perawatan alat *oven drying* disisi lain relatif lebih mudah dibandingkan perawatan alat *freeze drying*, sehingga lebih sesuai untuk penggunaan jangka panjang di tingkat masyarakat. Kemampuan metode ini dalam menghasilkan kadar air yang sesuai standar juga dapat meningkatkan kualitas bahan, memperpanjang masa simpan, serta mendukung pengembangan produk olahan berbasis kulit manggis. Oleh karena itu, *oven drying* dapat menjadi alternatif teknologi pengeringan yang aplikatif, efisien, dan ekonomis bagi masyarakat setempat.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengeringan kulit manggis menggunakan metode *oven drying* serta analisis yang telah dibahas pada Bab IV, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi suhu pada metode *oven drying* berpengaruh signifikan terhadap mutu kulit manggis, dimana peningkatan suhu pengeringan mampu mempercepat proses pengeringan serta menurunkan kadar air hingga memenuhi standar yang ditetapkan.
2. Pengeringan menggunakan metode *oven drying* pada suhu 50°C menghasilkan kadar air akhir terendah sebesar 3,86% dengan massa akhir sebesar 236,8 gram. Hasil tersebut mendekati metode *freeze drying* yang menghasilkan kadar air akhir sebesar 3,08%, sehingga metode *oven drying* pada suhu 50°C dinilai mampu memberikan hasil pengeringan yang cukup baik.
3. Metode *oven drying* berpotensi untuk diterapkan pada skala masyarakat, khususnya bagi petani manggis di kawasan Kampung Tematik Manggis Limau Manis.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, maka saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji pemanfaatan kulit manggis hasil *oven drying* sebagai bahan baku produk herbal dalam bentuk sediaan tertentu, seperti teh herbal, kapsul, atau ekstrak.
2. Perlu dilakukan pengujian daya simpan terhadap kulit manggis hasil pengeringan untuk mengetahui kestabilan mutu bahan baku herbal selama proses penyimpanan.

3. Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis senyawa bioaktif lainnya, seperti xanton, flavonoid, dan tanin, guna melengkapi informasi kualitas kulit manggis hasil pengeringan selain kandungan antosianin.
4. Perlu dilakukan analisis ekonomi yang lebih rinci untuk mengetahui potensi penerapan metode *oven drying* pada skala industri.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, *Statistik Produksi Hortikultura Indonesia 2022*, Jakarta: BPS, 2023.
- [2] Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Barat, *Produksi Tanaman Buah-Buahan Menurut Jenisnya Di Sumatera Barat 2022*, Padang: BPS Sumbar, 2023.
- [3] S. Syafrizal, R. Rahmawati, And T. Indrawati, “Analisis Potensi Pengembangan Manggis Di Sumatera Barat,” *Jurnal Hortikultura Indonesia*, vol. 12, no. 2, pp. 95–104, 2021.
- [4] Pemerintah Kota Padang, *Surat Keputusan Wali Kota Padang Nomor 286 Tahun 2021 Tentang Penetapan Kampung Tematik Manggis Limau Manis*, 2021.
- [5] W. J. Lee, Et Al., “Supercritical Carbon Dioxide Extraction Of α -Mangostin From Mangosteen Pericarp With Virgin Coconut Oil As Co-Extractant And In-Vitro Bio-Accessibility Measurement,” *Process Biochemistry*, vol. 87, pp. 213–220, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.procbio.2019.09.009.
- [6] J. Pedraza-Chaverri, N. Cárdenas-Rodríguez, M. Orozco-Ibarra, And J. M. Pérez-Rojas, “Medicinal Properties Of Mangosteen (*Garcinia Mangostana*),” *Food And Chemical Toxicology*, 2008, doi: 10.1016/j.fct.2008.07.024.
- [7] N. M. Widhyastini, *Kajian Kandungan Proksimat Dan Senyawa Bioaktif Kulit Manggis Berdasarkan Metode Pengeringan*, Skripsi, Universitas Udayana, 2017.
- [8] M. C. Karam, J. Petit, D. Zimmer, E. B. Djantou, And J. Scher, “Effects Of Drying And Grinding In Production Of Fruit And Vegetable Powders: A Review,” *Journal Of Food Engineering*, vol. 188, pp. 32–49, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001.
- [9] D. Obolskiy, I. Pischel, N. Siriwatanametanon, And M. Heinrich, “*Garcinia Mangostana* L.: A Phytochemical And Pharmacological

Review,” *Phytotherapy Research*, vol. 23, pp. 1047–1065, 2009, doi: 10.1002/ptr.

- [10] P. Suvarnakuta, C. Chaweerungrat, And S. Devahastin, “Effects Of Drying Methods On Assay And Antioxidant Activity Of Xanthones In Mangosteen Rind,” *Food Chemistry*, vol. 125, no. 1, pp. 240–247, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.09.015.
- [11] N. Thitilertdecha, A. Teerawutgulrag, And N. Rakariyatham, “Antioxidant And Antibacterial Activities Of *Nephelium Lappaceum* L. Extracts,” *LWT*, vol. 41, no. 10, pp. 2029–2035, 2008, doi: 10.1016/j.lwt.2008.01.017.
- [12] S. Pawestri And F. Syahbanu, “Karakterisasi Metode Pengeringan Beku Pada Pangan Nabati,” *Jurnal Teknologi Pangan Indonesia*, 2019.
- [13] N. I. M. Nawawi, Et Al., “Influence Of Different Drying Methods On Anthocyanins Composition And Antioxidant Activities Of Mangosteen (*Garcinia Mangostana* L.) Pericarps,” *Foods*, vol. 12, no. 12, Jun. 2023, doi: 10.3390/foods12122351.
- [14] D. Nugroho, Et Al., “Analysis Of Added Value And Economic Feasibility In Mangosteen Derivative Products And Alternative Products In Leuwiliang Agropolitan Area,” *Scitepress*, pp. 31–36, Nov. 2020, doi: 10.5220/0009991900310036.
- [15] A. Soontornwat, Et Al., “Mangosteen Pericarp Processing Technology To Create Economic Value And Reduce Biowaste,” *Foods*, vol. 13, no. 14, Jul. 2024, doi: 10.3390/foods13142286.
- [16] N. Jaisupa, Et Al., “Mangosteen Peel Extract Exhibits Cellular Antioxidant Activity By Induction Of Catalase And Heme Oxygenase-1 mRNA Expression,” *Journal Of Food Biochemistry*, vol. 42, no. 3, Jun. 2018, doi: 10.1111/jfbc.12511.
- [17] H. Ningrum, D. Kusnaman, And S. Situmorang, “Competitiveness Analysis And Factors Affecting Indonesia’s Export Of Mangosteen In

The International Market,” *Journal Of Agri Socio Economic And Business*, vol. 6, no. 1, pp. 95–112, 2024, doi: 10.31186/jaseb.6.1.95-112.

- [18] R. Li, B. S. Inbaraj, And B. H. Chen, “Quantification Of Xanthone And Anthocyanin In Mangosteen Peel By UPLC-MS/MS And Preparation Of Nanoemulsions For Studying Their Inhibition Effects On Liver Cancer Cells,” *International Journal Of Molecular Sciences*, vol. 24, no. 4, Feb. 2023, doi: 10.3390/ijms24043934.
- [19] R. Yang, Et Al., “Xanthoness From The Pericarp Of Garcinia Mangostana,” *Molecules*, vol. 22, no. 5, May 2017, doi: 10.3390/molecules22050683.
- [20] P. Kasemwattanaoj, Et Al., “Immunomodulatory Activities Of α -Mangostin On Peripheral Blood Mononuclear Cells,” 2013.
- [21] H. E. Khoo, A. Azlan, S. T. Tang, And S. M. Lim, “Anthocyanidins And Anthocyanins: Colored Pigments As Food, Pharmaceutical Ingredients, And The Potential Health Benefits,” *Food & Nutrition Research*, 2017, doi: 10.1080/16546628.2017.1361779.
- [22] T. C. Wallace And M. M. Giusti, “Anthocyanins,” *Advances In Nutrition*, vol. 6, no. 5, pp. 619–622, 2015, doi: 10.3945/an.115.009233.
- [23] A. N. Panche, A. D. Diwan, And S. R. Chandra, “Flavonoids: An Overview,” *Journal Of Nutritional Science*, Jan. 2016, doi: 10.1017/jns.2016.41.
- [24] S. Kumar And A. K. Pandey, “Chemistry And Biological Activities Of Flavonoids: An Overview,” *The Scientific World Journal*, 2013, doi: 10.1155/2013/162750.
- [25] S. Melia, D. Novia, I. Juliyarsi, And E. Purwati, “The Characteristics Of The Pericarp Of Garcinia Mangostana (Mangosteen) Extract As Natural Antioxidants In Rendang,” *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, Aug. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/287/1/012028.

- [26] K. Moosophon, T. Wetthaisong, L.-O. Seeratchakot, And W. Kokluecha, "Tannin Extraction From Mangosteen Peel For Protein Precipitation In Wine," 2010.
- [27] B. Rahmatari, A. Subiwahjudi, And C. G. J. Lunardhi, "The Antibacterial Potential Of Tannin From Mangosteen Pericarp Extract Against *Lactobacillus Casei*," [Online]. Available: <https://e-journal.unair.ac.id/CDJ>
- [28] K. K., A. Sunaka, B. U. A.-Saba'iy, R. N. Siregar, And I. Hernaman, "Utilization Of *Garcinia Mangostana* L. Peel Extract Which Contains Tannin In Protecting Tofu Cake Protein," *Majalah Ilmiah Peternakan*, vol. 25, no. 1, p. 18, Feb. 2022, doi: 10.24843/mip.2022.v25.i01.p04.
- [29] N. Thi, H. Dinh Hoa, M. Tu, And N. T. Hien, "Study Of Ultrasound And Enzyme Assisted Extraction Of Tannins From Mangosteen Peel In Vietnam," *Food Science And Applied Biotechnology*, vol. 2, no. 2, pp. 130–139, 2019, doi: 10.30721/fsab2019.v2.i2.
- [30] F. Que, L. Mao, X. Fang, And T. Wu, "Comparison Of Hot Air-Drying And Freeze-Drying On The Physicochemical Properties And Antioxidant Activities Of Pumpkin (*Cucurbita Moschata* Duch.) Flours," *International Journal Of Food Science And Technology*, vol. 43, no. 7, pp. 1195–1201, Jul. 2008, doi: 10.1111/j.1365-2621.2007.01590.x.
- [31] S. Kittibunchakul, P. Temviriyanyukul, P. Chaikham, And V. Kemsawasd, "Effects Of freeze drying And Convective Hot-Air Drying On Predominant Bioactive Compounds, Antioxidant Potential And Safe Consumption Of Maoberry Fruits," *LWT*, vol. 184, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.lwt.2023.114992.
- [32] Editorial, "Editorial," *International Journal Of Refrigeration*, May 2010, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2010.01.001.
- [33] H. M. I. Pousinho, V. M. F. Mendes, And J. P. S. Catalão, "Scheduling Of A Hydro Producer Considering Head-Dependency, Price Scenarios And

Risk-Aversion,” *Energy Conversion And Management*, vol. 56, pp. 96–103, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.enconman.2011.11.020.

- [34] A. S. Mujumdar And S. Devahastin, “Fundamental Principles Of Drying,” 2010.
- [35] S. H. Kim, F. Tanaka, And F. Tanaka, “Drying Kinetics And Determination Of Effective Moisture Diffusivity And Activation Energy In Cucumber Pericarp Tissues Using Thin-Layer Drying Models,” *Food Science And Technology Research*, vol. 27, no. 2, pp. 181–192, 2021, doi: 10.3136/FSTR.27.181.
- [36] Z. Erbay And F. Icier, “A Review Of Thin Layer Drying Of Foods: Theory, Modeling, And Experimental Results,” *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, May 2010, doi: 10.1080/10408390802437063.
- [37] W. Suttirak And S. Manurakchinakorn, “In Vitro Antioxidant Properties Of Mangosteen Peel Extract,” *Journal Of Food Science And Technology*, Dec. 2014, doi: 10.1007/s13197-012-0887-5.
- [38] R. Assawarachan, W. Satong-Aun, R. Assawarachan, And A. Noomhorm, “The Influence Of Drying Temperature And Extraction Methods On α -Mangostin In Mangosteen Pericarp,” 2011. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/268406389>
- [39] K. Košić, T. Pivac, J. Romelić, L. Lazić, And V. Stojanović, “Characteristics Of Thermal-Mineral Waters In Backa Region (Vojvodina) And Their Exploitation In Spa Tourism,” *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2010.09.004.
- [40] X. Yin Et Al., “Impacts Of Five Different Drying Methods On Volatile Organic Compounds In Mulberry Fruits,” *Foods*, vol. 13, no. 21, Nov. 2024, doi: 10.3390/foods13213514.
- [41] M. A. Tawfik, K. M. Oweda, M. K. Abd El-Wahab, And W. E. Abd Allah, “A New Mode Of A Natural Convection Solar Greenhouse Dryer For Domestic Usage: Performance Assessment For Grape Drying,”

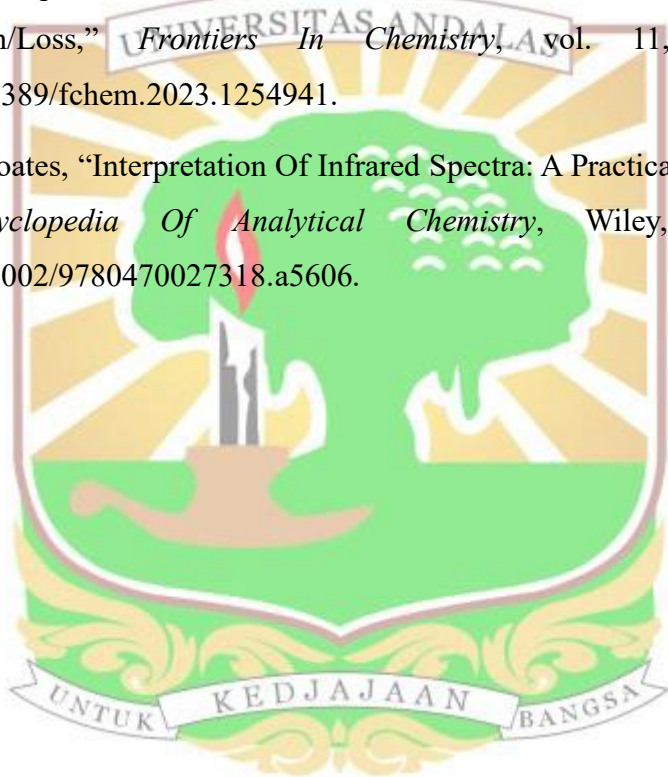
Agriculture (Switzerland), vol. 13, no. 5, May 2023, doi: 10.3390/agriculture13051046.

- [42] B. Y. B., “Alterations In Fruit And Vegetable β -Carotene And Vitamin C Content Caused By Open-Sun Drying, Visqueen-Covered And Polyethylene-Covered Solar-Dryers,” 2004.
- [43] K. Venkateswarlu And S. V. K. Reddy, “Recent Trends On Energy-Efficient Solar Dryers For Food And Agricultural Products Drying: A Review,” *Environmental Science And Pollution Research*, Sep. 2024, doi: 10.1007/s42768-024-00193-3.
- [44] N. N. Mbondo, W. O. Owino, J. Ambuko, And D. N. Sila, “Effect Of Drying Methods On The Retention Of Bioactive Compounds In African Eggplant,” *Food Science And Nutrition*, vol. 6, no. 4, pp. 814–823, Jun. 2018, doi: 10.1002/fsn3.623.
- [45] D. Nowak And E. Jakubczyk, “The Freeze-Drying Of Foods: The Characteristic Of The Process Course And The Effect Of Its Parameters On The Physical Properties Of Food Materials,” *Foods*, Oct. 2020, doi: 10.3390/foods9101488.
- [46] E. L. Septiani, Q. A’yunina Maulida, O. Arifianti, And A. Rahmat, “Metode *freeze drying* Untuk Pengolahan Produk Kefir Di Puri Farm Living, Kabupaten Tuban,” *Agrokreatif*, vol. 6, no. 3, 2020.
- [47] K. Żbik, E. Górska-Horczyzak, A. Onopiuk, M. Kurek, And M. Zalewska, “Vacuum And Convection Drying Effects On Volatile Compounds Profile And Physicochemical Properties Of Selected Herbs From Lamiaceae Family,” *European Food Research And Technology*, vol. 249, no. 10, pp. 2569–2581, Oct. 2023, doi: 10.1007/s00217-023-04309-7.
- [48] S. Tan Et Al., “Effects Of Three Drying Methods On Polyphenol Composition And Antioxidant Activities Of *Litchi Chinensis* Sonn.,” *Food Science And Biotechnology*, vol. 29, no. 3, pp. 351–358, Mar. 2020, doi: 10.1007/s10068-019-00674-w.

- [49] D. Hu, X. Liu, Y. Qin, J. Yan, R. Li, And Q. Yang, "The Impact Of Different Drying Methods On The Physical Properties, Bioactive Components, Antioxidant Capacity, Volatile Components And Industrial Application Of Coffee Peel," *Food Chemistry: X*, vol. 19, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.fochx.2023.100807.
- [50] L. Y. Wen Chua Et Al., "Characterisation Of The Convective Hot-Air Drying And Vacuum Microwave Drying Of *Cassia Alata*: Antioxidant Activity, Essential Oil Volatile Composition And Quality Studies," *Molecules*, vol. 24, no. 8, Apr. 2019, doi: 10.3390/molecules24081625.
- [51] M. Aznury Et Al., "Rancang Bangun Alat Vacuum Drying Dalam Proses Pembuatan Tepung *Moringa Oleifera* Lamk," 2019.
- [52] A. Gharsallaoui, G. Roudaut, O. Chambin, A. Voilley, And R. Saurel, "Applications Of Spray-Drying In Microencapsulation Of Food Ingredients: An Overview," *Food Research International*, Nov. 2007, doi: 10.1016/j.foodres.2007.07.004.
- [53] K. Sakulnarmrat, W. Sittiwong, And I. Konczak, "Encapsulation Of Mangosteen Pericarp Anthocyanin-Rich Extract By Spray Drying," *International Journal Of Food Science And Technology*, vol. 57, no. 2, pp. 1237–1247, Feb. 2022, doi: 10.1111/ijfs.15508.
- [54] R. V. Tonon, C. Brabet, And M. D. Hubinger, "Influence Of Process Conditions On The Physicochemical Properties Of Açai (*Euterpe Oleraceae* Mart.) Powder Produced By Spray Drying," *Journal Of Food Engineering*, vol. 88, no. 3, pp. 411–418, Oct. 2008, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029.
- [55] M. A. Rao, S. S. H. Rizvi, And A. K. Datta, *Engineering Properties Of Foods*. Taylor & Francis, 2005.
- [56] A. A. Martynenko And G. N. Alves Vieira, "Sustainability Of Drying Technologies: System Analysis," Royal Society Of Chemistry, Jun. 2023, doi: 10.1039/d3fb00080j.

- [57] M. H. Patil, G. Tanguy, C. Le Floch-Fouéré, R. Jeantet, And E. G. Murphy, "Energy Usage In The Manufacture Of Dairy Powders: Advances In Conventional Processing And Disruptive Technologies," *Drying Technology*, vol. 39, no. 11, pp. 1595–1613, 2021, doi: 10.1080/07373937.2021.1903489.
- [58] D. Nowak And E. Jakubczyk, "The Freeze-Drying Of Foods: The Characteristic Of The Process Course And The Effect Of Its Parameters On The Physical Properties Of Food Materials," MDPI AG, Oct. 2020, doi: 10.3390/foods9101488.
- [59] World Health Organization, *Quality Control Methods For Herbal Materials*. WHO, 2011.
- [60] E. Reni Yuslianti Et Al., "Standardisasi Farmasitik Bahan Alam Menuju Fitofarmaka Untuk Pengembangan Obat Tradisional Indonesia."
- [61] R. ElGamal, C. Song, A. M. Rayan, C. Liu, S. Al-Rejaie, And G. ElMasry, "Thermal Degradation Of Bioactive Compounds During Drying Process Of Horticultural And Agronomic Products: A Comprehensive Overview," MDPI, Jun. 2023, doi: 10.3390/agronomy13061580.
- [62] Badan Standardisasi Nasional (BSN), *SNI 3211:2009 – Simplisia Nabati: Bahan Baku Obat Tradisional*. Jakarta: BSN, 2009.
- [63] Badan Pengawas Obat Dan Makanan (BPOM), *Peraturan Kepala BPOM Nomor 32 Tahun 2019 Tentang Persyaratan Keamanan Dan Mutu Obat Tradisional*. BPOM, 2019.
- [64] M. Sulistyani And N. Huda, "Perbandingan Metode Transmisi Dan Reflektansi Pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier Transform Infrared," *Indonesian Journal Of Chemical Science*, 2018. [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>

- [65] “Skripsi Potensi Penggunaan FTIR (Fourier Transform Infrared) Dalam Pendugaan Sifat Fisik Dan Kimia Cuko Pempek Berbasis Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi).”
- [66] A. B. D. Nandiyanto, R. Oktiani, And R. Ragadhita, “How To Read And Interpret FTIR Spectroscopy Of Organic Material,” *Indonesian Journal Of Science And Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 97–118, 2019, doi: 10.17509/ijost.v4i1.15806.
- [67] S. Cichosz, A. Masek, And K. Dems-Rudnicka, “Analysis Of Classical Techniques Precision On The Measurement Of Cellulose Moisture Gain/Loss,” *Frontiers In Chemistry*, vol. 11, 2023, doi: 10.3389/fchem.2023.1254941.
- [68] J. Coates, “Interpretation Of Infrared Spectra: A Practical Approach,” in *Encyclopedia Of Analytical Chemistry*, Wiley, 2000, doi: 10.1002/9780470027318.a5606.



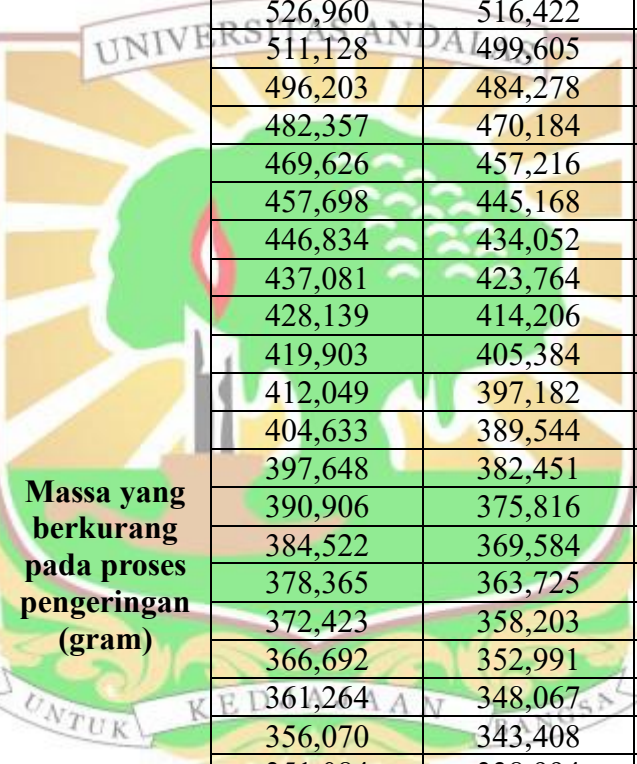




LAMPIRAN A

TABEL DATA WAKTU PROSES PENGERINGAN

Pengujian 1

Waktu (menit)	Parameter	<i>oven drying</i> (35°C)	<i>oven drying</i> (40°C)	<i>oven drying</i> (50°C)
	Kadar air awal (%)	62%	62%	62%
	Massa awal (gram)	600	600	600
0-30	 Massa yang berkurang pada proses pengeringan (gram)	580,443	576,842	567,482
30-60		561,5	554,937	537,614
60-90		543,674	534,816	510,421
90-120		526,960	516,422	485,726
120-150		511,128	499,605	463,308
150-180		496,203	484,278	442,946
180-210		482,357	470,184	424,442
210-240		469,626	457,216	407,618
240-270		457,698	445,168	392,310
270-300		446,834	434,052	378,372
300-330		437,081	423,764	365,671
330-360		428,139	414,206	354,086
360-390		419,903	405,384	343,507
390-420		412,049	397,182	333,834
420-450		404,633	389,544	324,976
450-480		397,648	382,451	316,852
480-510		390,906	375,816	309,390
510-540		384,522	369,584	302,525
540-570		378,365	363,725	296,199
570-600		372,423	358,203	290,359
600-630		366,692	352,991	284,958
630-660		361,264	348,067	279,952
660-690		356,070	343,408	275,303
690-720		351,084	338,994	270,974
720-750		346,331	334,806	266,934
750-780		341,803	330,828	263,153
780-810		337,487	327,045	259,606
810-840		333,379	323,444	256,269
840-870		329,455	320,013	253,123
870-900		325,638	316,742	250,149
900-930		321,944	313,621	247,333
930-960		318,362	310,642	244,662
960-990		314,891	307,799	242,124
990-1020		311,527	305,086	239,711
1020-1050		308,269	302,497	238,264
1050-1080		305,123	300,027	237,846
1080-1110		302,051	297,670	237,522

1110-1140		299,066	295,421	237,301
1140-1170		296,152	293,275	237,144
1170-1200		293,310	291,228	237,032
1200-1230		290,524	289,276	236,956
1230-1260		287,810	287,416	236,901
1260-1290		285,152	285,643	236,861
1290-1320		282,568	283,955	236,800
1320-1350		280,052	282,347	
1350-1380		277,605	280,817	
1380-1410		275,223	279,361	
1410-1440		272,909	277,977	
1440-1470		272,825	276,660	
1470-1500		272,753	275,409	
1500-1530		272,691	274,220	
1530-1560		272,630	273,091	
1560-1590		272,551	272,019	
1590-1620		272,513	271,001	
1620-1650		272,465	270,034	
1650-1680		272,428	269,116	
1680-1710		272,396	268,244	
1710-1740		272,372	267,416	
1740-1770		272,351	266,629	
1770-1800		272,330	265,882	
1800-1830		272,298	265,172	
1830-1860		272,276	264,498	
1860-1890		272,248	263,858	
1890-1920		272,221	263,250	
1920-1950		272,198	262,672	
1950-1980		272,176	262,123	
1980-2010		272,159	261,602	
2010-2040		272,143	261,106	
2040-2070		272,129	260,636	
2070-2100		272,118	260,189	
2100-2130		272,107	259,765	
2130-2160		272,097	259,362	
2160-2190		272,089	258,980	
2190-2220		272,081	258,617	
2220-2250		272,074	258,273	
2250-2280		272,068	257,946	
2280-2310		272,062	257,636	
2310-2340		272,057	257,342	
2340-2370		272,053	257,063	
2370-2400		272,049	256,798	
2400-2430		272,046	256,547	
2430-2460		272,043	256,308	
2460-2490		272,041	256,082	

2490-2520		272,040	250,3	
2520-2550		272,039		
2550-2580		272,038		
2580-2610		272,037		
2610-2640		272,036		
2640-2670		272,035		
2670-2700		272		
	Massa akhir (gram)	272	250,3	236,8
	Kadar air akhir (%)	16,18	8,91	3,86





LAMPIRAN B

DATA PENGUJIAN SENYAWA

ANTOSIANIN