

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Buah merupakan salah satu sumber berbagai vitamin, serat, dan mineral yang dibutuhkan manusia. *World Health Organization* (WHO) merekomendasikan kepada masyarakat agar mengkonsumsi minimal 400 gram buah dan sayur dalam sehari (*World Health Organization, 2019*). Mengkonsumsi buah dan sayur secara teratur dapat mengurangi resiko masalah kesehatan diantaranya serangan jantung, stroke, dan kanker. Salah satu cara praktis untuk mendapatkan nutrisi dari buah yaitu dengan mengkonsumsi buah dalam bentuk *Dried Fruit* (Bjarnadottir, 2017).

Jambu kristal (*Psidium guajava*) merupakan salah satu komoditas unggulan di wilayah pesisir pantai selatan Kabupaten Kebumen. Salah satunya di Desa Wergonayan, Kecamatan Mirit dalam satu tahun dapat memproduksi sekitar 115.200 kg jambu kristal yang bernilai sekitar Rp806.000.000 dari area luas 6 hektar (Krisnha, 2019). Harga jual jambu kristal saat puncaknya yaitu Rp12.000,00 per kg namun saat terjadi panen raya paling rendah mencapai Rp2.500,00 sampai Rp4.000,00 per kg dari petani. Sebagai inovasi mengatasi rendahnya harga jual jambu kristal maka dapat dilakukan pengolahan menjadi *dried guava* untuk meningkatkan nilai jual jambu kristal.

Proses pengeringan pada hasil pertanian termasuk buah merupakan metode pengawetan yang telah lama dilakukan masyarakat. Pengeringan dimaksudkan untuk mengurangi kadar air sehingga pertumbuhan mikroorganisme terhambat.

Selain itu metode pengeringan juga dapat menurunkan massa dan volume produk sehingga efektif untuk disimpan dan didistribusikan. Pada proses pembuatan buah kering yang dilakukan pada umumnya dengan memanfaatkan penyinaran matahari langsung dengan terbuka (*open sun drying*) atau menggunakan *drying oven*.

Pengeringan menggunakan metode penyinaran matahari langsung secara terbuka dapat mengakibatkan produk terkena polusi yang dapat menurunkan kualitas, menyebabkan perubahan warna menjadi pucat, serta membuat kandungan vitamin C mengalami penurunan yang tinggi (Ali *et al.*, 2016). Sementara itu pengeringan menggunakan *drying oven* membutuhkan biaya investasi dan operasional yang tinggi. Salah satunya *drying oven* tipe UN110 dengan dimensi ruang pengering 560 x 480 x 400 mm membutuhkan daya 1800 W dan dengan nilai investasi mencapai Rp35.000.000,00 (Saputra *et al.*, 2020). Pada penelitian sebelumnya juga dilakukan pengeringan jambu menggunakan *indirect solar dryer* yang berkapasitas 5 kg jambu segar dengan material utama aluminium membutuhkan investasi sebesar Rp6.372.756,00 (Mugi & V.P., 2022). Nilai investasi ini cukup besar untuk dapat diaplikasikan oleh petani jambu kristal di wilayah Kebumen.

Penelitian ini akan merancang dan mengimplementasikan *low-cost solar dryer* yang efisien dan terjangkau oleh petani jambu kristal dan UMKM dengan nilai *payback period* yang layak dengan memanfaatkan material utama yaitu kayu yang banyak tersedia di lingkungan petani jambu kristal Kebumen. Kemudian *low-cost solar dryer* akan diuji coba dengan objek jambu kristal di wilayah Kabupaten Kebumen. Diharapkan dengan *low-cost solar dryer* yang didesain menggunakan material yang terjangkau ini, dapat efisien untuk memproduksi *sun dried guava*

dengan kandungan vitamin C yang tetap tinggi karena vitamin C merupakan salah satu nutrisi yang dengan kandungan tertinggi pada jambu kristal dan memiliki warna yang tidak pucat agar tetap menjaga kualitas yang diminati konsumen.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang tersusun dari latar belakang penelitian ini adalah:

1. Bagaimana desain *low-cost solar dryer* untuk proses produksi *sun dried guava* menggunakan material utama kayu?
2. Bagaimana analisis kinerja *low-cost solar dryer* untuk proses produksi *sun dried guava*?
3. Bagaimana analisis warna dan vitamin C pada produk *sun dried guava* yang dihasilkan *low-cost solar dryer*?
4. Bagaimana analisis keekonomian produksi *sun dried guava* menggunakan *low-cost solar dryer*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah adalah:

1. Membuat desain *low-cost solar dryer* untuk proses *sun dried guava* dengan material utama kayu.
2. Menganalisis kinerja *low-cost solar dryer* untuk proses *sun dried guava*.
3. Menganalisis warna dan vitamin C pada produk *sun dried guava* yang dihasilkan *low-cost solar dryer*.
4. Menganalisis keekonomian produksi *sun dried guava* menggunakan *low-cost solar dryer*.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan referensi metode produksi *sun dried guava* yang terjangkau dan efisien terutama untuk skala UMKM dengan menggunakan material lokal.
2. Mendapatkan hasil *sun dried guava* yang dapat meningkatkan nilai jual jambu kristal.

1.5. Originalitas Penelitian

Berdasarkan penelitian sebelumnya terkait audit energi maka diperoleh gap analisis penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Hasil dan Gap Penelitian Terdahulu

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1.	(Sureandhar <i>et al.</i> , 2021)	<i>A review on solar greenhouse dryer: Design, thermal modelling, energy, economic and environmental</i>	<ul style="list-style-type: none">• Bentuk atap <i>solar dryer</i> direkomendasikan <i>even span</i> atau <i>quonset</i>• Bentang posisi timur-barat direkomendasikan untuk efisiensi pengeringan	<ul style="list-style-type: none">• Desain dan material• Lokasi penelitian• Objek penelitian• Analisis Ekonomi

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
		<i>aspects</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Modul PV untuk memberi daya pada kipas buang dapat meningkatkan kinerja pengeringan 	
2.	(Moghimi <i>et al.</i> , 2021)	<i>Experimental and numerical optimal design of a household solar fruit and vegetable dryer</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Kombinasi sistem <i>Solar Dryer</i> tipe langsung dan tidak langsung (rak bersusun) dapat meningkatkan efisiensi dan kuantitas produk • Plat berwarna hitam sebagai penyerap panas dan <i>tray</i> berbentuk sarang lebah efektif untuk pengeringan • Sirkulasi udara dengan kipas dc 	<ul style="list-style-type: none"> • Desain • Lokasi penelitian • Objek penelitian • Analisis Ekonomi

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
			<p>berkecepatan variabel (disarankan tiga kipas) dipasang di outlet ruang pengering untuk menyedot udara panas di atas baki pengering.</p> <ul style="list-style-type: none"> Kecepatan kipas berkisar 0,5 m/s hingga 1,5 m/s untuk mengeringkan baki lewat udara. 	
3.	(Malakar <i>et al.</i> , 2021)	<i>Design and performance evaluation of an evacuated tube solar dryer for drying garlic clove</i>	<ul style="list-style-type: none"> <i>Solar dryer</i> berkinerja lebih baik dan pada kecepatan aliran udara 2 m/s selama proses pengeringan Suhu tertinggi yang dicapai adalah 86,7°C di ruang pengering pada radiasi matahari 	<ul style="list-style-type: none"> Desain dan material Lokasi penelitian Objek penelitian Analisis Ekonomi

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
			<p>maksimum 1204 W/m²</p> <ul style="list-style-type: none"> Efisiensi kolektor maksimum dan efisiensi pengering ditemukan masing-masing 45,86% dan 56% pada kecepatan aliran udara 2 m/s. Efisiensi eksergi rata-rata dan kehilangan eksergi rata-rata terendah diperkirakan masing-masing sebesar 56,59% pada kecepatan aliran udara 2 m/s dan 4,74 W pada kecepatan aliran udara 1 m/s. 	

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
4.	(Etim <i>et al.</i> , 2020)	<i>Design and development of an active indirect solar dryer for cooking banana</i>	<ul style="list-style-type: none"> Efisiensi pengeringan meningkat jika luas <i>air inlet</i> semakin besar Pengeringan dengan metode <i>indirect solar dryer</i> dapat meningkat hingga 48% disbanding dengan <i>direct solar dryer</i> yaitu hingga 34%. Luas <i>air inlet</i> berpengaruh signifikan terhadap kinerja pengering. 	<ul style="list-style-type: none"> Desain dan material Lokasi penelitian Objek penelitian Analisis Ekonomi
5.	(Sotoodeh <i>et al.</i> , 2021)	<i>Experimental Studies of Drying Pineapple with An Active Indirect Solar</i>	<ul style="list-style-type: none"> <i>Active solar tunnel dryer</i> dapat memproduksi nanas kering dengan kualitas baik dan terhindar dari 	<ul style="list-style-type: none"> Desain dan material Lokasi penelitian Objek

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
		<i>Tunnel Dryer in Malaysia</i>	<p>polutan</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Active solar tunnel dryer</i> dapat menurunkan kadar air irisan nanas dari 89% menjadi 12,5% dalam waktu 9 jam • Perbedaan suhu maksimum dan minimum terbesar yaitu sebesar 37°C dan 36°C pada pukul 12 p.m. dan 6 p.m. • <i>Active solar tunnel dryer</i> cocok digunakan di daerah tropis 	<p>penelitian</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analisis Ekonomi
6.	(Ssemwanga et al., 2020)	<i>Performance analysis of an improved solar</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Solar Photovoltaic Electric (SPE) dryer</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Desain dan material • Lokasi

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
		<p><i>dryer integrated with multiple metallic solar concentrators for drying fruits</i></p>	<p>memiliki efisiensi pengeringan tertinggi dibandingkan dengan <i>Hybrid Indirect Passive (HIP)</i> dan <i>traditional open sun drying (OSD)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Pelat kolektor surya dengan beberapa konsentrator surya logam digabungkan dengan bahan dinding rumah kaca yang dimodifikasi pada kabinet pengering dalam pengering pasif tidak langsung yang digerakkan oleh tenaga surya meningkatkan kinerja pengeringan makanan 	<p>penelitian</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objek penelitian • Analisis Ekonomi

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
7.	(Kamarulzaman <i>et al.</i> , 2021)	<i>Global advancement of solar drying technologies and its future prospects: A review</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pengering surya adalah metode inovatif dalam pengeringan produk pertanian dengan efisiensi pengering maksimum dan efisiensi kolektor surya masing-masing sebesar 54% dan 81%. Dilaporkan bahwa produk yang dikeringkan dengan pengering surya memiliki kualitas yang lebih baik daripada yang dikeringkan dengan pengering surya terbuka. • Dengan memiliki periode pengembalian 0,54 hingga 4,69 tahun, pengering surya dianggap hemat biaya 	<ul style="list-style-type: none"> • Desain dan material • Lokasi penelitian • Objek penelitian • Analisis Ekonomi

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
			<p>jika dibandingkan dengan masa pakai yang diharapkan.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan energi matahari dalam aplikasi pengeringan dapat mengurangi 34% emisi CO₂ ke atmosfer dengan konsumsi bahan bakar fosil yang lebih sedikit. • Sistem pengeringan pasif digunakan untuk mengeringkan tanaman pangan, buah-buahan, sayuran dan mengawetkan ikan dalam jumlah kecil pada kisaran suhu 40°C hingga 50°C. 	

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
			<ul style="list-style-type: none"> • Sistem pengeringan aktif digunakan untuk pengeringan tanaman pangan, buah-buahan, sayuran dan pengawetan ikan pada suhu antara 40°C hingga 70°C. • Dalam sistem pengeringan normal, perkiraan suhu berkisar antara 40°C hingga 70°C yang bergantung pada pengeringan tanaman pangan, buah-buahan, sayuran dan pengawetan ikan serta proses produksi. • Pengereng surya berbasis pelat datar cocok untuk pengering 	

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
			<p>skala kecil, yang beroperasi pada rentang suhu 30°C hingga 70°C.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Untuk aplikasi suhu yang lebih tinggi, pengering surya berbasis tabung hampa dan palung parabola lebih efisien untuk aplikasi pengeringan di sektor industri pada kisaran suhu 50°C hingga 250°C. • Untuk peningkatan efisiensi kinerja sistem pengeringan surya, peningkatan desain penyerap surya, konfigurasi dan bahan, integrasi penyimpanan 	

No.	Penelitian (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
			<p>termal dan aplikasi cairan termos yang berbeda merupakan faktor yang menjanjikan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Makalah tinjauan ini akan membantu pengambil keputusan untuk mengembangkan kerangka kerja dan peta jalan untuk mengatasi masalah energi dan integrasi sistem pengeringan surya dalam pembangunan berkelanjutan secara global 	

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebagaimana disebutkan pada tabel 1.1, penelitian ini akan merancang dan mengimplementasikan *solar dryer* dengan desain yang berbeda yaitu dengan menggunakan material utama kayu

untuk mendapatkan nilai investasi yang lebih rendah dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan dengan tetap mempertahankan kinerja pengeringan yang efisien. Kemudian *low-cost solar dryer* dapat menghasilkan produk *sun dried guava* yang memiliki kualitas baik yaitu warna dan kandungan vitamin C melalui pengujian. Penelitian dilakukan di wilayah Kabupaten Kebumen yang memiliki potensi produksi jambu kristal yang tinggi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jambu Kristal

Jambu kristal mulai diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1991 oleh Misi Teknik Taiwan yang bekerja sama dengan Institut Pertanian Bogor (IPB). Dikenal memiliki sedikit biji yang hanya 3% dari bagian buah dengan massa 250–500 g per buah. Warna kulit luar hijau muda sedangkan daging buah putih. Tekstur daging buah renyah saat hampir matang dan empuk saat di puncak kematangan. Rasa manis dengan kadar kemanisan 1–120 briks. Tingkat kematangan buah 70% menyebabkan jambu kristal bisa tahan sampai hingga 1 bulan pada suhu pendingin 10–15°C (Syariefa, 2014).

Tabel 2.1 Kandungan gizi jambu kristal

Komponen gizi	Unit	Komposisi tiap 100
Air	gram	82,8
Energi	kal	61
Protein	gram	0,9
Lemak	gram	0,3
Karbohidrat	gram	15,4
Serta	gram	4,5
Abu	gram	0,6
Kalsium	mg	31
Fosfor	mg	41
Zat Besi	mg	0,2
Natrium	mg	20
Kalium	mg	103
Tembaga	mg	0,04
Zinc	mg	0,5
Beta Karoten	mcg	53
Karoten	mcg	18
Vitamin B1	mg	1,02

Vitamin B2	mg	0,06
Niasin	mg	1,3
Vitamin C	mg	116

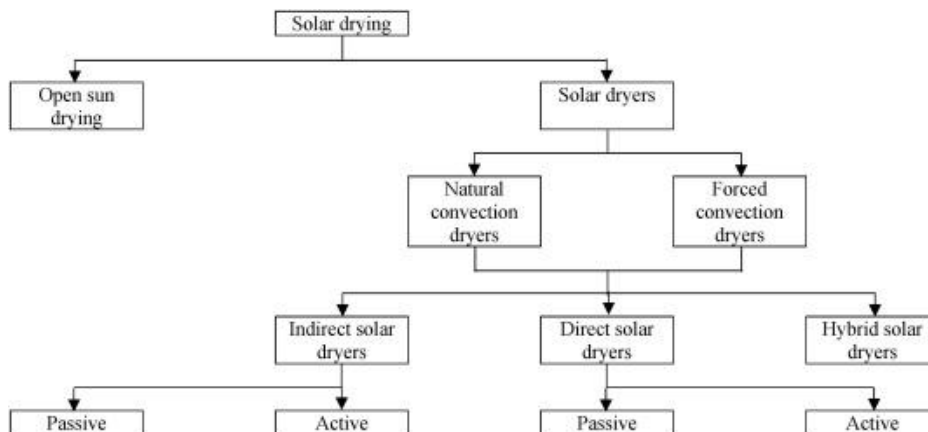
Jambu kristal segar memiliki kadar vitamin C yang tinggi yaitu 116 mg/100gr.

Jambu kristal selain dapat dikonsumsi secara langsung juga dapat diolah menjadi *dried fruit*. Pada penelitian ini akan mengolah jambu kristal menjadi *dried fruit* dengan menjaga kadar vitamin C yang terkandung.

2.2. Teknologi Pengeringan Tenaga Surya

Pengeringan merupakan metode lama yang telah digunakan manusia dalam proses pengawetan hasil pertanian dan bahan makanan. Pengeringan dimaksudkan untuk mengurangi kadar air pada produk sehingga dapat menghambat pembusukan dengan proses yang kompleks yaitu perpindahan panas dan massa yang bergantung pada parameter eksternal seperti suhu, kelembaban, dan kecepatan aliran udara. Selain itu terdapat juga faktor sifat bahan yaitu berupa karakteristik permukaan, komposisi kimia, dan struktur fisik (Kamarulzaman *et al.*, 2021).

Pengeringan tenaga surya merupakan metode pengeringan termurah dan sederhana jika dibandingkan dengan metode pengeringan lain karena pengeringan tenaga surya memanfaatkan energi termal dari matahari (Poonia *et al.*, 2019). Dalam perkembangannya pengeringan tenaga surya dapat secara umum dapat diklasifikasikan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Klasifikasi teknologi solar drying (Udomkun *et al.*, 2020)

Menurut Claudia Cavallaro Pejnovic (2021) secara sederhana konsep dari *solar dryer* dapat dibagi menjadi 3:

- a. Penyerapan energi: energi termal dari sinar matahari ditangkap oleh objek secara langsung atau komponen dengan permukaan berwarna hitam (*solar heat collector*).
- b. Perangkat energi kalor: langkah selanjutnya yaitu menjebak panas agar dapat digunakan untuk mengeringkan objek. Udara yang meningkat suhunya diisolasi di dalam pengering dan dipisahkan dari udara luar.
- c. Perpindahan energi kalor: langkah terakhir yaitu proses konveksi. Udara panas di dalam *cabinet* akan mengalir menuju keluar melalui celah udara secara alami atau paksa menggunakan kipas dengan membawa uap air dari objek (Pejnovic, 2021).

2.3. Active Solar Dryer

Berdasarkan perpindahan kalor yang melalui udara di dalam *cabinet*, *solar dryer* dibagi menjadi *active* dan *passive*. *Active solar dryer* atau sering disebut sebagai *forced convection* menggunakan kipas untuk mengalirkan dan mempercepat

sirkulasi udara untuk mengoptimalkan suhu dan kelembaban udara dalam *cabinet*. *Active solar dryer* dapat mempercepat waktu pengeringan hingga 3 kali dan mengurangi kebutuhan luas kolektor surya hingga 50%. Oleh karena itu jika dibandingkan dengan konveksi alami, *forced convection* memiliki keandalan yang lebih baik dan sering digunakan untuk objek dengan kadar air yang tinggi salah satunya buah-buahan. *Active solar dryer* yang menggunakan kipas membutuhkan daya yang bisa didapatkan melalui listrik dari panel surya untuk meminimalisir biaya operasional (Etim *et al.*, 2020).

2.4. Indirect Solar Dryer

Berdasarkan cara kontak objek yang dikeringkan dengan sinar matahari maka *solar dryer* dibagi menjadi *direct* dan *indirect*. Untuk mengeringkan beberapa objek tertentu biasanya produk dengan kadar air yang tinggi seperti buah-buahan, *direct solar dryer* cenderung menurunkan kualitas produk karena objek mudah berubah warna menjadi lebih gelap dan pucat dibandingkan menggunakan *indirect solar dryer*. *Indirect solar dryer* membutuhkan solar kolektor yang berfungsi menyerap energi panas matahari. Kemudian energi panas ini disirkulasikan di dalam *cabinet* untuk mengeringkan objek (Etim *et al.*, 2020).

2.5. Solar Thermal Collector dan Keseimbangan Energi

Solar Dryer

Solar thermal collector berfungsi mengkonversi radiasi matahari menjadi energi panas yang disimpan pada medium tertentu. Prinsipnya adalah menyerap sebanyak mungkin radiasi matahari dengan sedikit mungkin kehilangan energi. Untuk menerapkan prinsip tersebut biasanya digunakan tiga metode yaitu:

memilih permukaan yang absorptif, mengisolasi untuk meminimalisasikan kehilangan panas akibat konveksi dan konduksi, dan memfokuskan radiasi matahari (Wang *et al.*, 2019). Keseimbangan energi pada kolektor surya diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 2.2 Keseimbangan energi pada kolektor (Hossain *et al.*, 2018)

Kesetimbangan energi pada kolektor surya menggunakan persamaan (Mugi & V.P., 2022)

$$Q_u = m_a c_{pa} (T_{atm} - T_o)$$

$$Q_i = I_{sr} A$$

Q_u : output kalor dari kolektor surya (W)

m_a : laju aliran massa udara (kg/s)

c_{pa} : kalor jenis udara (kJ/kg K⁻¹)

T_{clo} : suhu output kolektor surya (K)

T_{cli} : suhu input kolektor surya (K)

Q_i : input kalor solar kolektor (W)

I_{sr} : radiasi cahaya matahari (W/m²)

A : luas kolektor surya (m²)

Untuk mendapatkan nilai dari laju aliran massa udara digunakan persamaan

$$m_a = \rho_{air} v_{air} A$$

m_a : laju aliran massa udara (kg/s)

ρ_{air} : massa jenis udara (1,2 kg/m³)

v_{air} : kecepatan udara (m/s)

A : luas penampang aliran udara (m²)

Efisiensi kolektor surya (η_{coll}) dan efisiensi pengeringan (η_{dry}), dapat dihitung dengan persamaan

$$\eta_{coll} = \frac{Q_u}{Q_i}$$

dengan persamaan

$$\eta_{dry} = \frac{m_w L_w}{Q_i}$$

m_w : massa air yang hilang pada objek (kg)

L_w : kalor laten air (J/kg)

Kinerja pengering surya dapat dianalisis menggunakan banyak cara salah satunya menggunakan *specific energy consumption* (SEC) yang ditanyakan dalam kWh/kg (Ebrahimi *et al.*, 2021), dengan persamaan

$$SEC = \frac{E_{in}}{m_w}$$

$$E_{in} = I_{sr} A t_{dt}$$

E_{in} : *Energy input* (kWh)

t_{dt} : durasi pengeringan (h)

2.6. Kadar Air

Kadar air merupakan banyaknya air yang terkandung dalam bahan yang dinyatakan dalam persen. Kadar air dalam bahan pangan menjadi salah satu faktor yang menentukan kesegaran dan daya awet bahan pangan tersebut. Kadar air bahan sering dinyatakan berdasar berat basah (*wet basis*) atau berdasarkan berat kering (*dry basis*). Kadar air *wet basis* dinyatakan dalam persentase terhadap berat basah bahan (gram air/100 gram sampel). Sementara kadar air *dry basis* adalah rasio air bahan terhadap berat kering bahan. Kadar air pada proses pengeringan dapat diformulasikan sebagai berikut (Saputra *et al.*, 2020).

$$M_{wb} = \frac{W_0 - W_d}{W_0}$$

$$\%M_{wb} = M_{wb} \times 100\%$$

$$M_{db} = \frac{W_0 - W_d}{W_d}$$

$$\%M_{db} = M_{db} \times 100\%$$

M_{wb} : kadar air (*wet basis*)

M_{db} : kadar air (*dry basis*)

W_0 : berat awal objek sebelum dikeringkan

W_d : berat akhir objek setelah dikeringkan

2.7. Analisis Energi pada Proses Pengeringan

Solar dryer menerima energi termal dari radiasi matahari kemudian energi tersebut digunakan untuk menguapkan kandungan air pada objek. Berikut persamaan keseimbangan energi pada solar dryer.

$$m_1 h_1 + m_w h_w = m_2 h_2 + Q$$

m_1 : massa udara kering masuk ke sistem (kg/jam)

m_w : massa air yang dikeluarkan dari bahan yang dikeringkan (kg/jam)

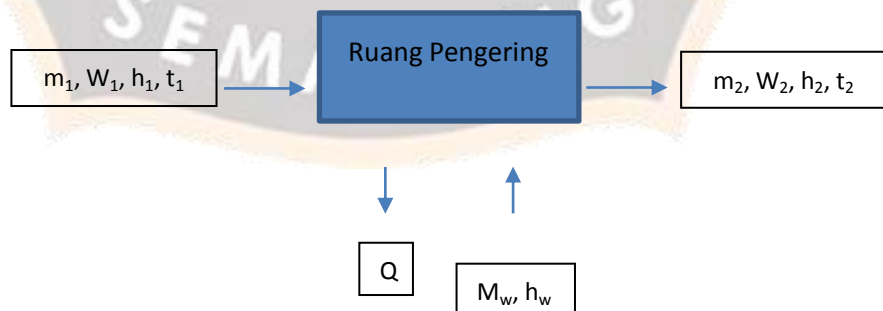
m_2 : massa udara kering keluar dari sistem (kg/jam)

h_1 : entalpi udara masuk ke sistem (kJ/kg)

h_w : entalpi penguapan air (kJ/kg)

h_2 : entalpi udara masuk dari sistem (kJ/kg)

Q : kalor untuk pengeringan (kJ/jam)



Gambar 2.3 Keseimbangan Massa dan Energi pada Proses Pengeringan

(Shiksha, 2012)

$$m_1 W_1 + m_w = m_2 W_2 \ ; \ m_1 = m_2 = m$$

$$m_w = m(W_2 - W_1)$$

Besarnya energi total (Q_T) pada proses pengeringan sangat tergantung pada kadar air bahan, kadar air akhir yang diinginkan, massa bahan yang akan dikeringkan, energi yang digunakan menaikkan suhu bahan (Q_k), energi untuk menaikkan suhu air di dalam bahan (Q_m), energi untuk menguapkan kandungan air dalam bahan (Q_e), dan energi untuk menaikkan uap air (Q_v).

$$Q_T = Q_k + Q_m + Q_e + Q_v$$

2.8. Pengeringan Jambu dengan *Solar Dryer*

Pengeringan adalah metode paling efisien untuk mengawetkan produk hasil pertanian termasuk untuk jambu kristal. Pada penelitian (Tlatelpa-Becerro *et al.*, 2018) dilakukan pengeringan pada jambu (*Psidium guajava L.*) dengan metode *indirect solar dryer* dan *forced convection* menggunakan 2 buah kipas (12 V; 0,3 A). Desain *solar dryer* ini memiliki luas kolektor surya 2,16 m² dan volume *chamber* 0,575 m³ menggunakan material utama *stainless steel*. Jambu yang telah dipotong dengan ketebalan 3 mm kemudian dimasukkan ke dalam *chamber*. Setelah pengeringan pada pukul 11.00 AM – 15.00 PM jambu mengalami

penurunan kadar air rata-rata 57,95%.

Kemudian pada penelitian (Islam *et al.*, 2019) dilakukan pengujian pada jambu (*Psidium guajava L.*) menggunakan metode *direct solar dryer* yang menggunakan material kayu dan kaca dengan ketebalan 3 mm sebagai penutupnya. Hasil penurunan kadar air terbaik yaitu dengan metode natural convection yang menghasilkan penurunan hingga 58% mulai pukul 10.00 AM – 16.00 PM.

Dari kedua penelitian di atas dapat diambil kesimpulan pemilihan material kayu dibandingkan *stainless steel* tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada hasil pengeringan namun pemilihan material seharusnya tetap menyesuaikan kriteria *food grade* sehingga biaya pembuatan *solar dryer* dapat diminimalisir.

2.9. Drying Kinetics

Drying kinetics mengacu pada studi tentang laju di mana uap air dihilangkan dari suatu bahan selama proses pengeringan. Ini melibatkan pemahaman perubahan kadar air bahan dari waktu ke waktu saat terkena media pengering (seperti udara atau permukaan yang dipanaskan) untuk mengurangi kadar airnya ke tingkat yang diinginkan. *Drying kinetics* suatu bahan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kadar air awal bahan, suhu dan kelembaban media pengering, laju aliran udara, dan sifat fisik bahan (misalnya porositas, luas permukaan, dan komposisi) (Erick César *et al.*, 2020).

Studi tentang *Drying kinetics* sangat penting di berbagai industri, termasuk pertanian, pengolahan makanan, farmasi, dan keramik, di mana pengendalian proses pengeringan sangat penting untuk menjaga kualitas produk, meningkatkan

umur simpan, atau mengoptimalkan proses produksi.

Salah satu model matematika pada *drying kinetics* adalah Model *Henderson & Pabis* (Erick César *et al.*, 2020) yang menyatakan persamaan

$$MR = a \exp^{-kt}$$

dengan,

MR : Kadar air (*dry basis*) pada produk pada waktu “t”

a : kadar air (*dry basis*) pada produk

k : konstanta laju pengeringan

t : waktu pengeringan (sekon)

Kemudian untuk menguji hasil penelitian dengan model matematika Henderson & Pabis dilakukan pengujian parameter statistik yaitu *Coefficient of Determination* (R^2), *Chi-Square* (χ^2), dan *Root Mean Square Error* (RMSE).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i})^2}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N - z}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}$$

dengan,

N : jumlah data dalam eksperimen

z : jumlah konstanta

MR_{pre} : kadar air (*dry basis*) prediksi

MR_{exp} : kadar air (*dry basis*) pengujian

2.10. Payback Period

Payback period adalah salah satu metode analisis ekonomi pada suatu produk untuk menentukan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi awal. *Payback period* dihitung dengan cara membandingkan arus kas dengan nilai investasi awal. Menganalisis *payback period* dapat dilakukan untuk mempertimbangkan rencana investasi pada suatu produk. Semakin kecil nilai *payback period* maka semakin cepat nilai investasi awal dapat kembali (Kagan, 2023)

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Cost of Investment}}{\text{Average Annual Cash Flow}}$$