

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 gram
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

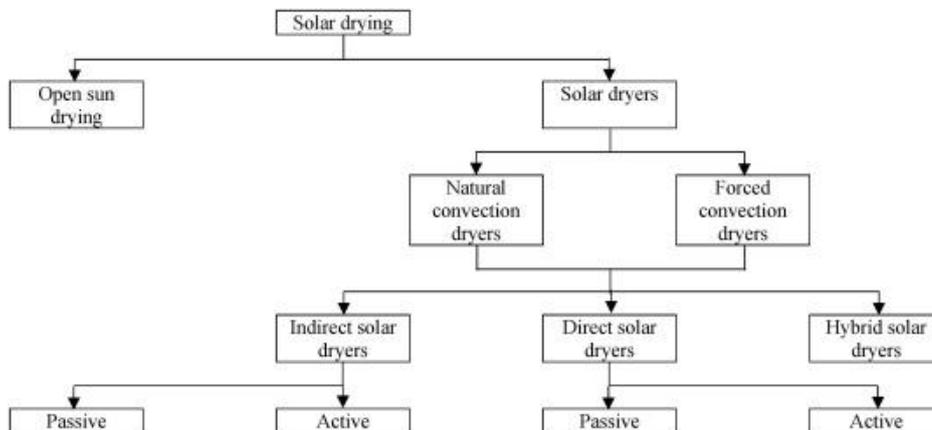
Jambu kristal segar memiliki kadar vitamin C yang tinggi yaitu 116 mg/100gr.

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.

2.1. 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).

2.2. *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).

2.3. *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).

2.4. *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)

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)

2.5. 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

2.6. 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).

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

2.7. 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.

2.8. *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

$$MR = aexp^{-kt}$$

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 kosntanta

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

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

2.9. *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)

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

