

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Teori Dasar Buah Lemon

Lemon (*Citrus limon* burm f) berasal dari Asia Tenggara. Untuk pertama kalinya, itu ditanam di India, Burma Utara, dan Cina. Columbus membawa biji citrus lemon ke Hispaniola pada tahun 1493. Pada pertengahan abad ke-15, orang pertama membudidayakan citrus lemon di genoa di California dan Florida. (Sauls, 1998).

Citrus lemon Mengandung 70% lemonime penine, asam sirat (3,7%), dan minyak atsiri (2,5%). Selain itu, mereka mengandung 145 miligram potassium per 100 gram, 40–50 miligram bioflavonoids, dan 45–50 miligram vitamin C. (Pramesti, M.A. 2020).

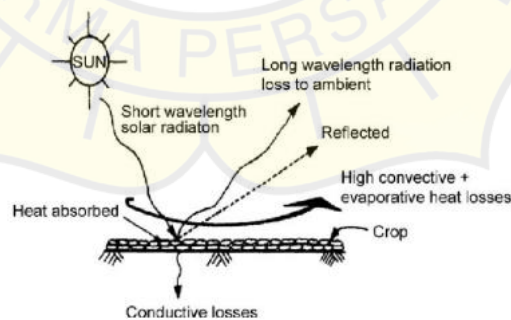
2.2 Pengeringan

Menurut (Syaiful dan Hargono, 2009) Hampir semua produk pertanian dikeringkan dengan proses termal, dan pengering, yang dimaksudkan untuk menurunkan kadar air sampai pada tingkat yang aman untuk penyimpanan atau proses lainnya, adalah salah satu proses pasca panen yang paling umum. Untuk berbagai produk pertanian dan perikanan, pengering surya efek rumah kaca dapat digunakan dalam unit pengolahan kecil.

Dalam kebanyakan kasus, proses pengeringan termal melibatkan penggunaan atau pembangkitan panas dari energi surya, energi panas matahari, energi biomassa, dan sumber energi lainnya melalui aparatus. Demikian pula, sistem pengeringan yang akan dirancang akan menggabungkan energi panas matahari dan surya untuk mencapai kinerja yang optimal dan efisien. (Gede Widayana, 2012).

2.2.1 Pengeringan Surya Terbuka

Pengeringan surya terbuka, yang menggunakan panas langsung surya dan pergerakan udara lingkungan, adalah salah satu metode pengeringan tradisional. Selama siang hari, bahan yang dikeringkan biasanya diletakkan di tanah, tikar, atau lantai semen untuk menerima energi gelombang pendek dari matahari melalui sirkulasi udara alami. Sebagian energi dipantulkan kembali dan sebagian diserap oleh permukaan, yang ditunjukkan oleh warna panga, sehingga meningkatkan suhu bahan. Namun, radiasi gelombang panjang dari permukaan bahan ke udara luar melalui udara lembab menyebabkan kehilangan panas konvektif.



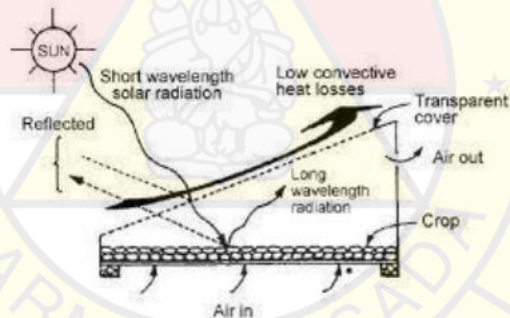
Gambar 2. 1 prinsip kerja sistem pengeringan surya terbuka

(Febriyanto, D. 2023)

Meskipun metode termurah ini membedakannya dari sumber energi lain selain sinar surya, ada beberapa keterbatasan. Sebagian besar pengering sinar matahari langsung tidak memenuhi standar kualitas yang dibutuhkan, dan produk kadang-kadang tidak dapat dijual di pasar internasional. (Mujumdar, 2012).

2.2.2 Pengeringan Surya Langsung

Salah satu contoh pengeringan surya langsung adalah pengering kabinet, di mana udara dimasukkan dari bawah ke atas melalui cerobong dan dikeluarkan dari atas. Selama proses pengeringan, sebagian dari radiasi surya yang menimpa kaca penutup dipancarkan kembali ke atmosfer dan sebagian lagi ditransmisikan ke dalam kabinet. Radiasi yang tersisa kemudian diserap oleh permukaan bahan, yang meningkatkan kualitas udara.



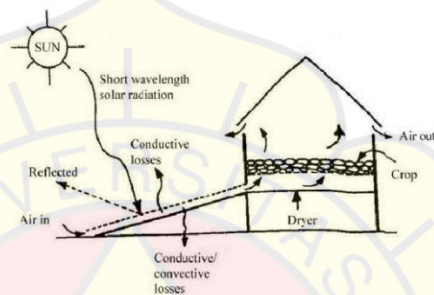
Gambar 2. 2 prinsip kerja sistem pengeringan surya langsung

(Febriyanto, D. 2023)

2.2.3 Pengeringan Surya Tidak Langsung

Pada pengeringan tidak langsung, Bahan diletakkan di rak atau nampan di dalam lemari pengeringan selama pengeringan tidak langsung. Lemari pengeringan adalah bagian yang berbeda dari kolektor surya yang memanaskan udara yang

masuk ke dalam kabinet. Udara panas dapat mengalir melalui bahan basah, menyebabkan panas berpindah antara udara panas dan bahan basah melalui proses yang dikenal sebagai konveksi. Pengeringan terjadi ketika konsentrasi uap air berubah antara udara pengeringan dan udara di sekitar permukaan bahan. (Mujumdar, 2012).



Gambar 2. 3 prinsip kerja sistem pengeringan surya langsung
(Febriyanto, D. 2023)

2.3 Pengeringan Buah Lemon

Pengeringan buah lemon adalah pengurangan jumlah kadar air dari bahan buah lemon yang akan di keringkan, Basis kering dan basah dapat digunakan untuk menentukan kadar air.

Kadar air adalah presentase air dalam bahan yang dapat diletakkan pada dasar basah atau kering. Kadar air berat basah maksimum teoretis adalah 100%, sedangkan kadar air berat kering dapat mencapai lebih dari 100%.

Untuk menghitung kadar air basis basah, rumus berikut digunakan:

$$M_w : \frac{m_w - m_d}{M_w} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

M_w : Kadar air basis basah (%)

m_w : Massa air yang terkandung dalam bahan (Gram)

m_d : Massa total bahan kering (Gram)

Banyaknya jumlah air yang dapat yang diubah menjadi uap dalam satuan waktu disebut sebagai tingkat pengeringan.

Metode yang digunakan untuk menghitung laju pengeringan adalah sebagai berikut :

$$M : \frac{m_{t+1} - m_t}{\Delta T} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

M : Laju proses pengeringan (kg/s)

m_t : Massa awal lemon (kg)

m_{t+1} : Massa akhir lemon (kg)

ΔT : Waktu pengeringan

: $t_{awal} - t_{akhir}$ (s)

2.4 Kolektor Surya Plat Datar

Kolektor surya terdiri dari beberapa plat yang dipasang pada struktur atau bingkai yang terbuat dari bahan yang baik menyerap panas, seperti logam dan kaca. Mereka menyerap dan mengubah energi matahari menjadi panas.

Secara ilmiah, aliran udara dari pengering energi surya masuk ke dalam dan keluar melalui kerapatan (densitas) udara yang berubah karena perbedaan suhu. Suhu udara di dalam pengering lebih rendah dari suhu kolektor tetapi tetap lebih tinggi dari suhu udara keluar. Akibatnya, aliran udara masuk ke dalam pengering dan keluar melalui bahan. (Holman, 1981).

Cara kolektor surya bekerja adalah dengan menyerap radiasi matahari yang jatuh pada permukaannya kemudian mengubah radiasi tersebut menjadi energi panas. Energi panas yang di hasilkan kemudian bisa digunakan untuk berbagai macam keperluan seperti pemanas air, pengeringan bahan, dan sebagainya.

2.4.1 Bagian – bagian Kolektor Surya

Kolektor surya adalah alat yang menyerap radiasi surya dan mengubahnya menjadi energi panas yang bermanfaat. Komponen kolektor surya adalah sebagai berikut :

a. **Penutup Transparan**

Bagian dalam kolektor surya dilindungi dari kotoran dan lingkungan luar. Penutup transparan juga mencegah radiasi panas dan dalam kolektor keluar ke udara luar, yang kemudian menyerap radiasi matahari ke permukaan. Alat solar collector ini ditutup dengan bahan polycarbonate yang transparan.

b. **Plat Penyerap**

Untuk menyerap sebanyak mungkin radiasi matahari dan meminimalkan emisinya, plat penyerap harus memiliki luas permukaan dengan daya serap yang tinggi dan nilai konduktivitas termal yang tinggi. Karena radiasi balik

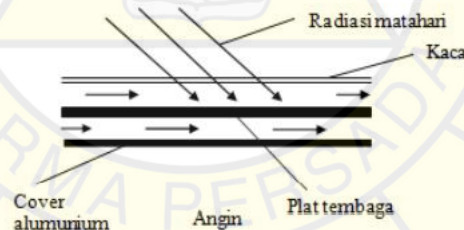
yang paling rendah, bahan dengan emisivitas yang paling rendah harus dipilih.

c. Isolasi

Untuk mencegah panas keluar dari kolektor matahari, Bagian luar kolektor matahari ditutup dengan bagian isolator. Bahan dengan konduktivitas termal yang rendah digunakan sebagai isolator.

2.5 Teori Persamaan Dasar Sistem Kolektor Plat Datar

Dalam kebanyakan kasus, pengering surya terdiri dari kolektor surya yang menyerap sinar matahari dan menyediakan ruang pengering untuk produk yang akan dikeringkan. Untuk memahami bagaimana sebuah kolektor bekerja, Anda harus memahami komponennya terlebih dahulu. Sebuah kolektor terdiri dari casing, kaca, dan absorber, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. 4 Neraca energi pada kolektor surya (Febriyanto, D. 2023)

2.6 Phase Change Material (PCM)

Material perubahan fase (PCM) adalah zat yang memiliki panas fusi yang tinggi yang dapat meleleh dan membeku pada suhu tertentu. Mereka juga memiliki kemampuan untuk menyimpan dan melepaskan banyak energi dalam jangka waktu

yang lama tanpa mengalami perubahan suhu. Ketika material berubah dari padat menjadi cair atau sebaliknya, PCM disebut sebagai penyimpan panas laten (LHS).

Pada solar kolektor plat datar, PCM memiliki waktu penyimpanan panas laten yang lebih lama, yang berarti pelepasan panas dapat ditunda untuk waktu yang lebih lama. Dibandingkan dengan bahan penyimpanan energi konvensional seperti air dan batu, PCM dapat melepas panas lebih dari empat hingga lima kali setiap satuan volume. Suhu dan intensitas radiasi matahari yang mempengaruhi efisiensi solar kolektor plat datar (Izhar, 2019).

2.7 Klasifikasi Phase Change Material (PCM)

Berdasarkan titik leleh dan panas peleburan laten, PCM biasanya dibagi menjadi dua kelompok besar: organik dan anorganik. Namun, karena tidak ada satu bahan pun yang memiliki semua sifat yang diinginkan, PCM dibuat sebagai kombinasi dari dua kelompok ini. (Sharma, 2009).

2.7.1 PCM Organik

PCM organik (yang dapat berupa alifatik atau bahan organik lainnya) biasanya mahal, memiliki panas laten rata-rata per satuan volume, densitas yang rendah, dan mudah terbakar di alam.

a. Paraffin

Parafin terdiri dari campuran sebagian besar rantai lurus $\text{CH}(\text{CH}_2)\text{-CH}_3$ n-alkana. Saat rantai CH_3 terkristalisasi, sejumlah panas laten dilepaskan. Dengan bertambahnya panjang rantai, banyak titik leleh dan panas peleburan laten paraffin meningkat, yang membuatnya lebih baik sebagai

bahan penyimpan panas peleburan karena rentang suhunya yang luas. Tabel

2.1 menunjukkan jumlah panas peleburan laten dan titik leleh paraffin.

Tabel 2. 1 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis paraffin

Jumlah Atom C	Tiitik Leleh (°C)	Panas Peleburan Laten (kJ/kg)
14	5.5	228.0
15	10	205.0
16	16.7	237.1
17	21.7	213.0
18	28.0	244.0
19	32.0	222.0
20	36.7	246.0
21	40.2	200.0
22	44.0	249.0
23	47.5	232.0
24	50.6	255.0
25	49.4	238.0
26	56.3	236.0
27	58.8	253.0
28	61.6	

a. Non-paraffin

Banyak bahan PCM non-paraffin ditemukan dan memiliki banyak variasi sifat. Masing-masing dari bahan ini memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda dari paraffin. Bahan-bahan non-paraffin termasuk, tetapi tidak terbatas pada, esters, asam lemak, alkohol, dan glikol. Sawhney (1994) Kelompok ini biasanya terbagi menjadi dua kelompok: kelompok asam lemak dan kelompok organik non-paraffin lainnya. Kedua kelompok ini mudah menyala dan tidak boleh dibiarkan dekat dengan bahan dan bahan pengoksidasi pada suhu tinggi. Gambar berikut menunjukkan asam lemak dan non-paraffin.

Tabel 2. 2 Menunjukkan titik lebur laten dan panas peleburan beberapa jenis non-paraffin

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
<i>Formic Acid</i>	78.0	247.0
<i>Capric Acid</i>	16.3	149.0
<i>Glycerin</i>	17.9	198.7
<i>a-Latic Acid</i>	26.0	184.0
<i>Methyl Palmitat</i>	29.0	205.0
<i>Phenol</i>	41.0	120.0
<i>Beewax</i>	61.8	177.0
<i>Gyolic Acid</i>	63.0	109.0
<i>Azobenze</i>	67.1	121.0
<i>Acrylic Acid</i>	68.0	115.0
<i>Glutaric Acid</i>	97.5	156.0

<i>Gatechol</i>	104.3	207.0
<i>Quenon</i>	115.0	171.0
<i>Benzoic Acid</i>	124.0	167.0
<i>Benzamide</i>	127.2	169.4
<i>Oxalate</i>	54.3	178.0
<i>Alpha Naphtol</i>	96.0	163.0

Tabel 2. 3 Menunjukkan titik leleh dan panas peleburan laten tertentu dari asam lemak

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
<i>Acetic Acid</i>	16.7	184.0
<i>Poly Ethylene Glycol</i>	20.0-25.0	146.0
<i>Capric Acid</i>	36.0	152.0
<i>Elcadic Acid</i>	47.0	218.0
<i>Luric Acid</i>	49.0	178.0
<i>Pentadecanoic Acid</i>	52.5	178.0
<i>Tristearin</i>	56.0	190.0
<i>Mirystic Acid</i>	58.0	199.0
<i>Palmaric Acid</i>	55.0	163.0
<i>Stearic Acid</i>	69.4	199.0
<i>Acetamid</i>	81.0	141.0

2.7.2 PCM Anorganik

Hidrat (salt hydrate) garam atau logan adalah nama untuk PCM anorganik. Panas peleburannya tidak akan berkurang selama perputaran, dan PCM jenis ini tidak terlalu dingin.

a. Hidrat Garam

Campuran garam anorganik dan air yang membentuk kristal tertentu dari formula umum $AB \cdot nH_2O$ disebut hidrat garam dapur. Hidrat garam biasanya meleleh menjadi hidrat garam dengan mol air yang sangat kecil setelah hidrasi. Pada titik lelehnya, kristal hidrat dapat terpecah menjadi garam anhidrat dan air atau ke dalam hidrat yang lebih rendah dan air. Hidrat garam adalah jenis PCM yang paling penting dan telah dipelajari dalam sistem penyimpanan energi. Panas peleburan laten per unit volume tinggi adalah ciri utama PCM jenis ini.

Beberapa jenis hidrat garam beracun, tetapi banyak yang murah dan digunakan sebagai penyimpan panas. Hidrat garam memiliki konduktivitas panas yang relatif tinggi—hampir dua kali lipat paraffin—dan perubahan volume yang kecil saat meleleh.

Tabel 2. 4 Menunjukkan titik leleh laten dan panas peleburan beberapa jenis hidrat garam

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
$K_2HPO_4 \cdot 6H_2O$	14.0	109.0
$FeBr_3 \cdot 6H_2O$	21.0	105.0
$Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	25.5	148.0

$\text{FeBr}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	27.0	105.0
$\text{CaCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	29.8	174.0
$\text{LiNO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	30.0	296.0
$\text{LiNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	30.0	267.0
$\text{Na}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32.0	241.0
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32.4	173.0
$\text{KFe}(\text{SO}_2)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	33.0	138.0
$\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	34.0	124.0
$\text{LiBr}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	34.0	134.0
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	36.1	223.0

2.7.3 PCM Kombinasi

Beberapa jenis hidrat garam beracun, tetapi banyak yang murah dan digunakan sebagai penyimpan panas. Hidrat garam memiliki konduktivitas panas yang relatif tinggi—hampir dua kali lipat paraffin—dan perubahan volume yang kecil selama meleleh. (George, 1989).

Tabel 2. 5 Titik leleh laten dan panas peleburan beberapa tipe PCM kombinasi

Material	Titik Leleh (°C)	Panas LATEN (kJ/kg)
<i>Gallium-gallium</i>	29.8	-
<i>Antimony Eutectic</i>	-	-
<i>Cerrolow Eutectic</i>	30.0	80.3
<i>Galium</i>	58.0	90.9

Bi-Cd-In <i>Eutectic</i>	61.0	25.0
<i>Cerrobend Eutectic</i>	70.0	32.6
Bi-Pb-In <i>Eutectic</i>	70.0	29.0
Bi-Pb <i>Eutectic</i>	72.0	25,0
Bi-Pb-tin <i>Eutectic</i>	96.0	-
Bi-Pb <i>Eutectic</i>	125.0	-

2.8 Perpindahan Panas Pada Kolektor Surya

Perpindahan panas adalah bidang ilmu teknik termal yang mempelajari cara menghasilkan, menggunakan, mengubah, dan menukar panas di antara sistem fisik. Perpindahan diklasifikasikan menjadi beberapa macam, seperti konduktivitas termal, konveksi termal, radiasi termal, dan perpindahan panas melalui perubahan fasa (Christie, 2003).

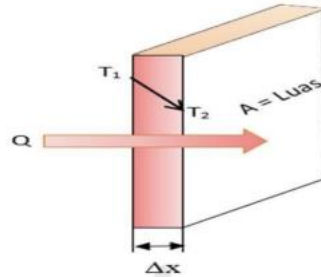
2.8.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan panas konduksi dapat terjadi melalui media benda padat atau fluida statis. Perpindahan kalor dari temperatur tinggi ke temperatur rendah melalui suatu medium terjadi tanpa perpindahan partikel medium (Giancoli, 2001).

Menurut Abbott (2005), ketika temperatur objek berubah sebagai fungsi waktu, terjadi reduksi transien. Transient digunakan dalam sistem ini karena lebih kompleks dan sering digunakan dalam analisis numerik.

Konduksi steady state (hukum fourier) adalah jenis konduksi di mana perbedaan suhu pada konduksi berlangsung secara spontan. Dalam jenis ini, jumlah

panas yang memasuki suatu bagian sama dengan jumlah panas yang keluar dari bagian tersebut.

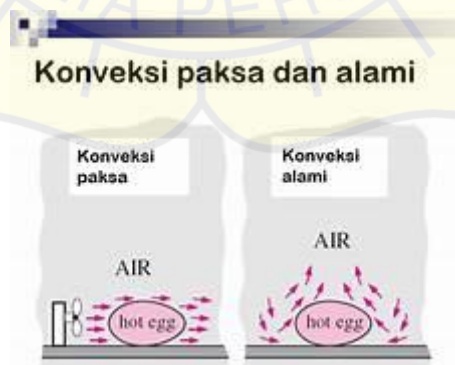


Gambar 2. 5 Perpindahan panas konduksi melalui plat (Muslim, H. 2022)

2.8.2 Perpindahan Panas Secara Konveksi

Konveksi adalah proses di mana kalor ditransfer melalui pergerakan molekul, menurut Shukri dan Suyitno (2022). Ini terjadi karena perpindahan fluida (cair atau gas) yang menerima kalor.

Konveksi tak bebas (paksa) dan konveksi bebas (alami) adalah dua jenis konveksi. Yang pertama terjadi ketika aliran fluida diinduksi oleh benda eksternal seperti kipas, pengaduk, dan pompa, yang menyebabkan konveksi induksi buatan.



Gambar 2. 6 Konveksi paksa dan alami (Shukri dan Suyitno, 2022)

2.8.3 Perpindahan Panas Secara Radiasi

Radiasi termal dilepaskan melalui ruang vakum sebagai gelombang elektromagnetik dan kemudian ditransmisikan melalui foton sebagai gelombang elektromagnetik karena ada tumpukan energi termal di semua benda dengan suhu di atas nol mutlak (Christie, 2003).

Perpindahan panas radiasi panas dapat terjadi di antara dua benda yang lebih panas dipisahkan oleh benda yang lebih rendah, sedangkan perpindahan panas konduksi dan konveksi terjadi ketika suhu naik ke bawah (Irawati, Huda, Kurniawan, 2019).

Menurut (Saputra, 2017), radiasi yang memiliki energi termal dipancarkan oleh permukaan dan berpindah tanpa melalui media perantara. Ini terjadi di ruang hampa.